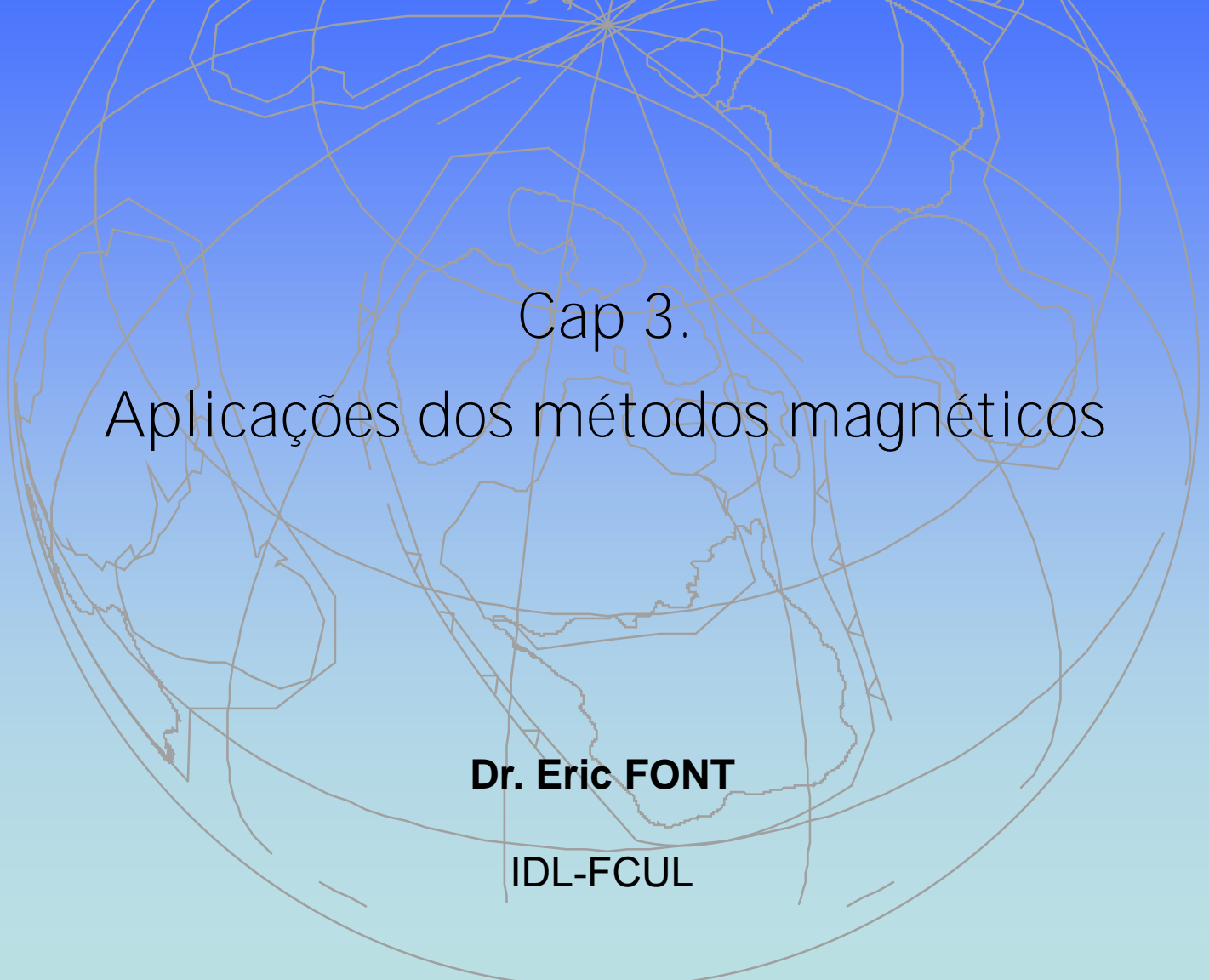




INSTITUTO GEOFISICO DO INFANTE DOM LUIZ
CENTRO DE GEOFISICA DA UNIVERSIDADE DE LISBOA



Cap 3.
Aplicações dos métodos magnéticos

Dr. Eric FONT

IDL-FCUL

Geomagnetismo

Externo (= aeronomia)

Interno (= Geofísica interna)

Paleomagnetismo

Magnetismo
de rocha

Geofísica
aplicada

Paleogeografia e
Tectónica de placa

Magnetostratigrafia

Magnetismo ambiental

Biomagnetismo

Arqueomagnetismo

Paleoclima

Electromagnetismo

Levantamentos
magnéticos

Petrofísica

Aplicações dos métodos magnéticos

1. Levantamentos magnéticos

2. Perfilagens magnéticas

3. Petrofísica

Prospecção geofísica

4. Biomagnetismo

5. Arqueomagnetismo

6. Magnetismo ambiental

7. Cinemática das placas

8. Magneto-estratigrafia

1. Levantamentos magnéticos

➔ Levantamentos aeromagnéticos baseados na medição da Magnetização Natural Remanescente (MRN) das rochas de superfície

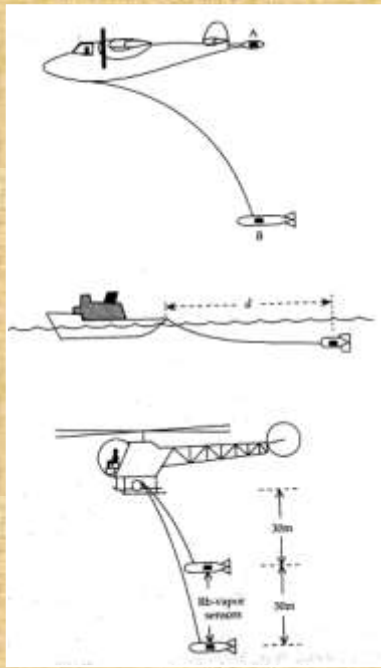
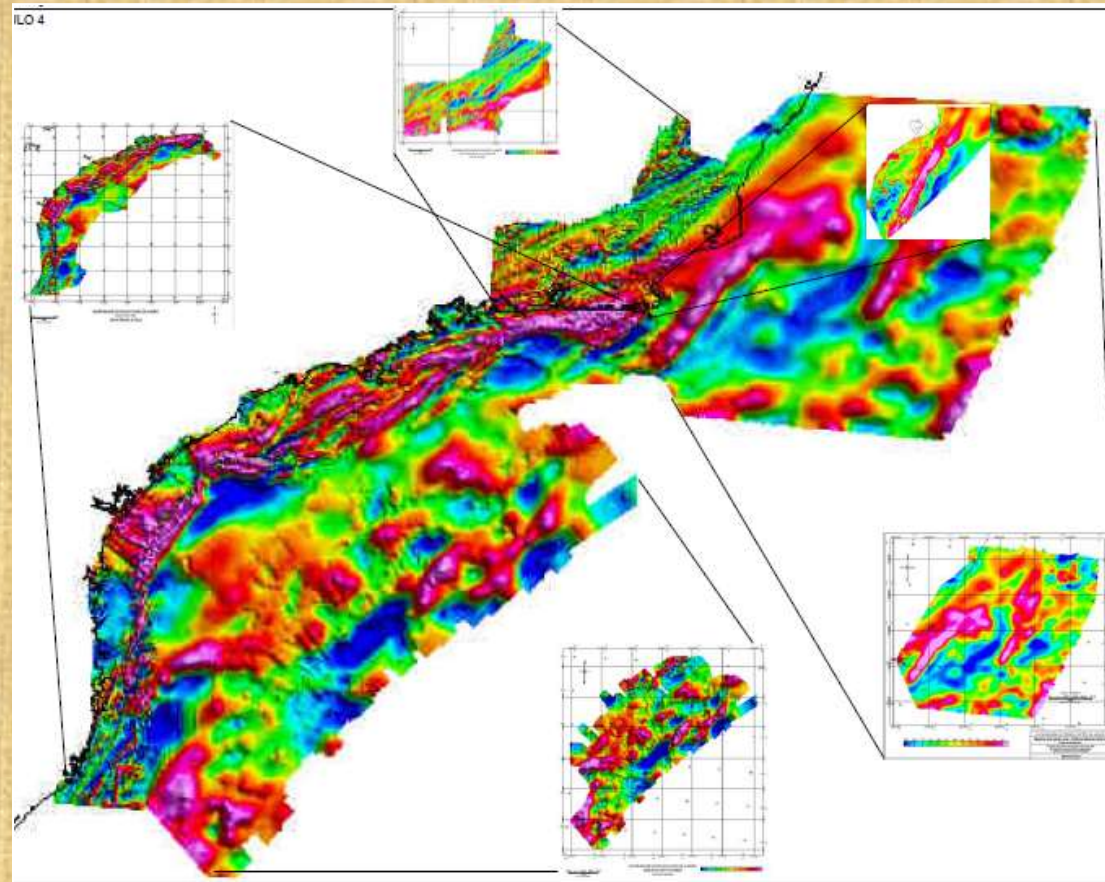
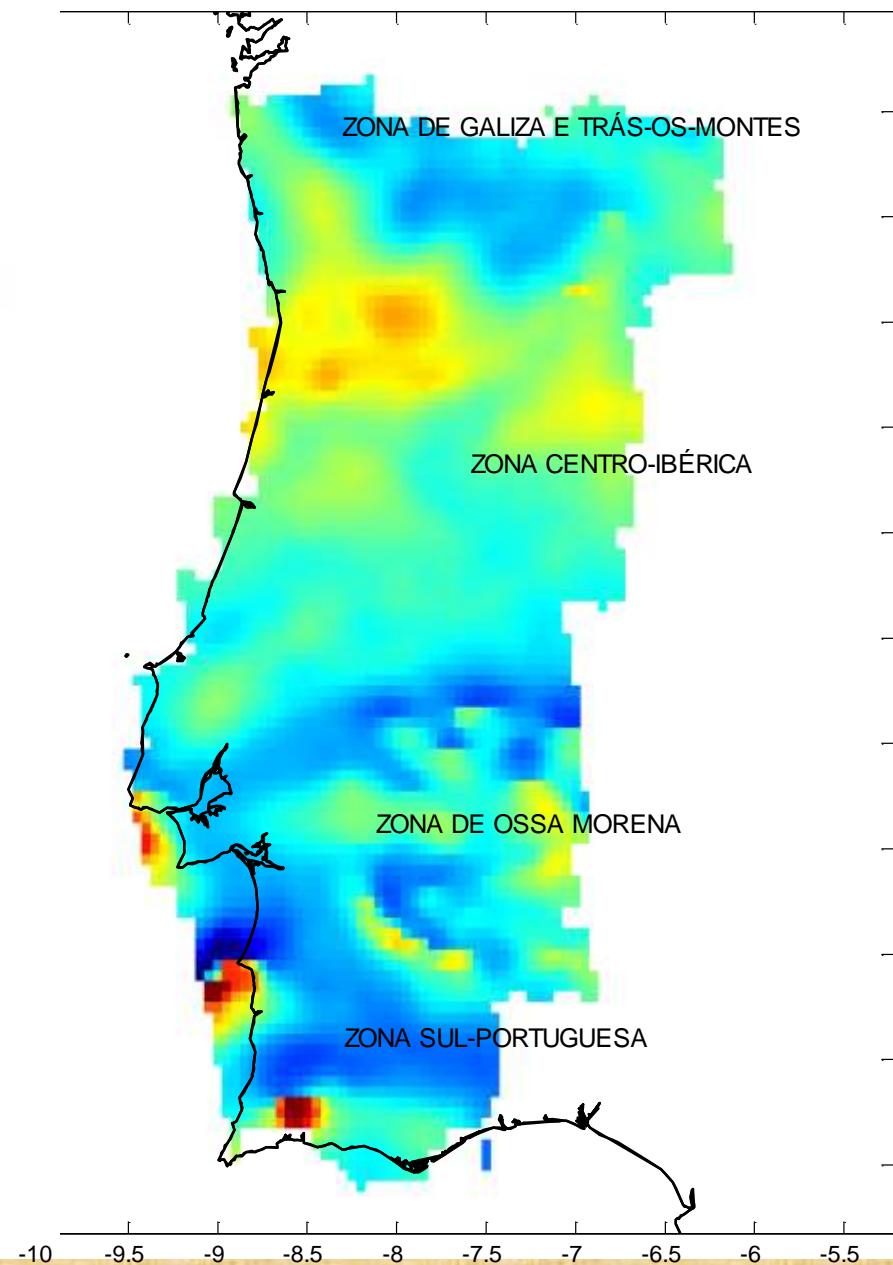
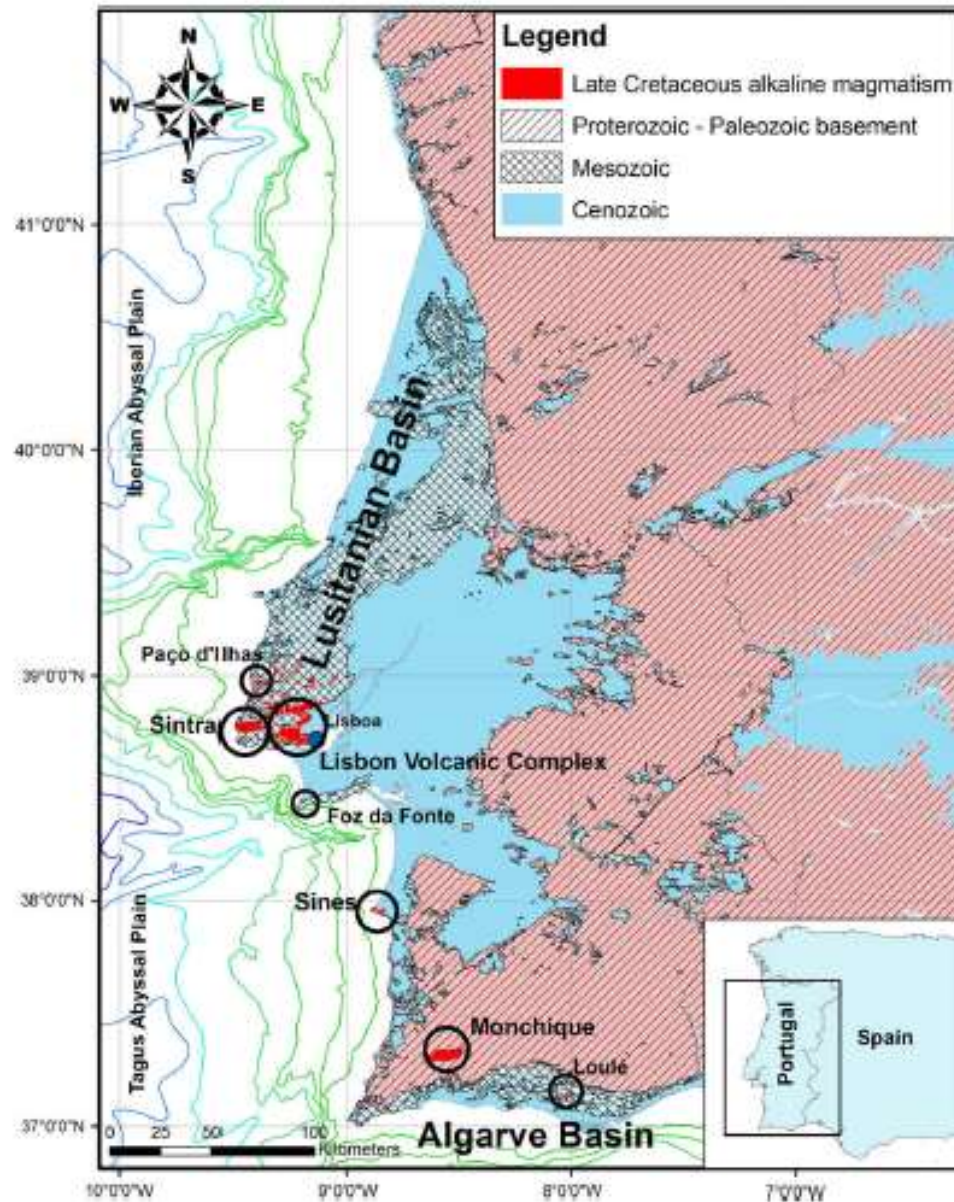


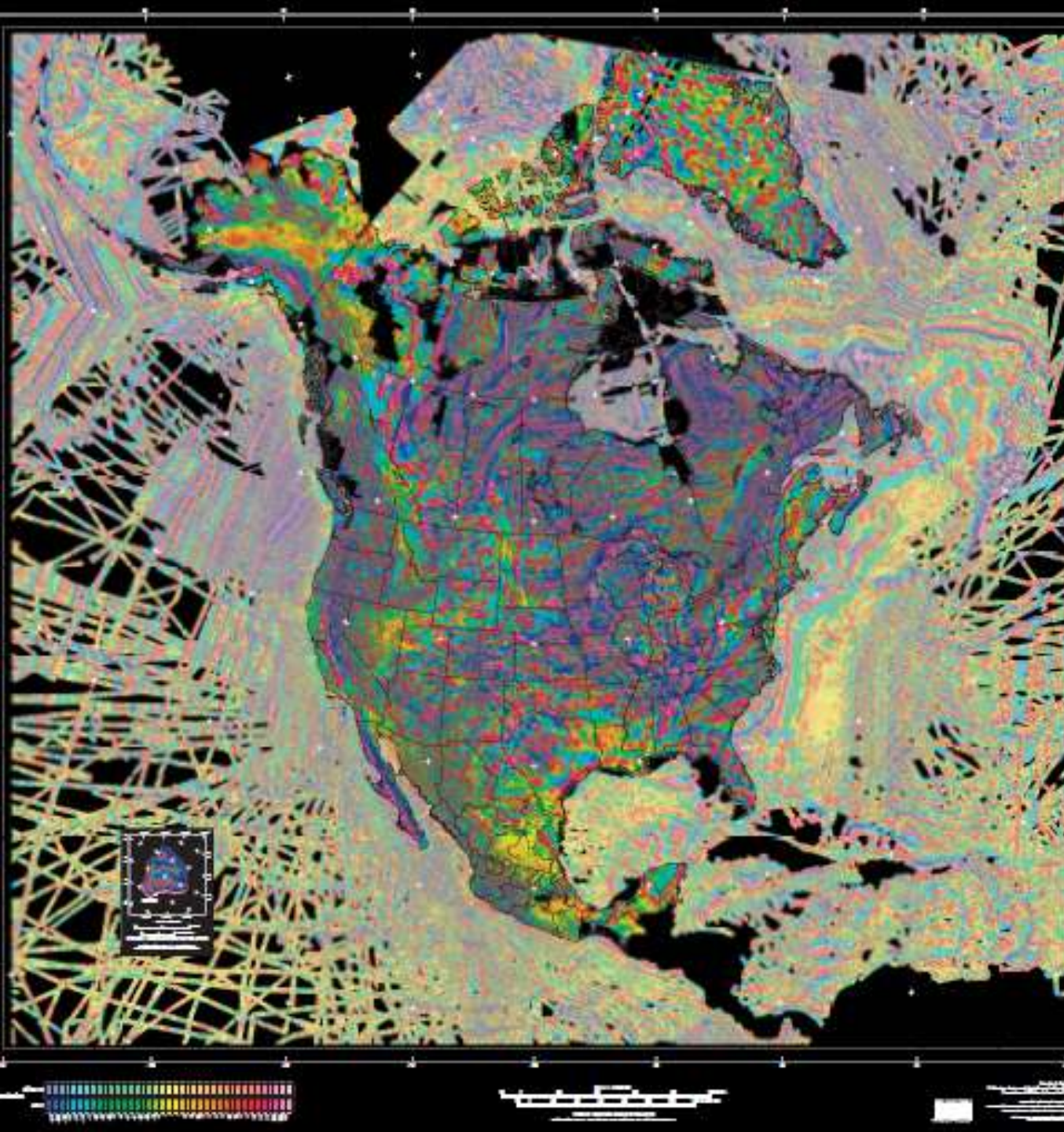
Table 1. Iron oxide and sulfide minerals in sedimentary rocks: potential causes of aeromagnetic anomalies.

<i>Iron oxide minerals</i>	
<i>Detrital oxides</i>	
Magnetite, titanomagnetite	$[x\text{Fe}_2\text{TiO}_4 \cdot (1-x)\text{Fe}_3\text{O}_4]$ ferrimagnetic in the range $0 < x < 0.75$
Titanohematite	$[x\text{FeTiO}_3 \cdot (1-x)\text{Fe}_2\text{O}_3]$ ferrimagnetic in the range $0.5 < x < 0.8$
<i>Secondary oxides</i>	
Magnetite [Fe_3O_4] Bacterial Abiogenic	
<i>Iron sulfide minerals</i>	
Magnetic pyrrhotite [Fe_7S_8] and greigite [Fe_3S_4]	
Nonmagnetic pyrite and marcasite [both FeS_2], replacement of magnetic oxides	
<i>Iron carbonate</i>	
Siderite [FeCO_3]	



1. Levantamentos magnéticos - Meio continental





http://pubs.usgs.gov/sm/mag_map/mag_s.pdf

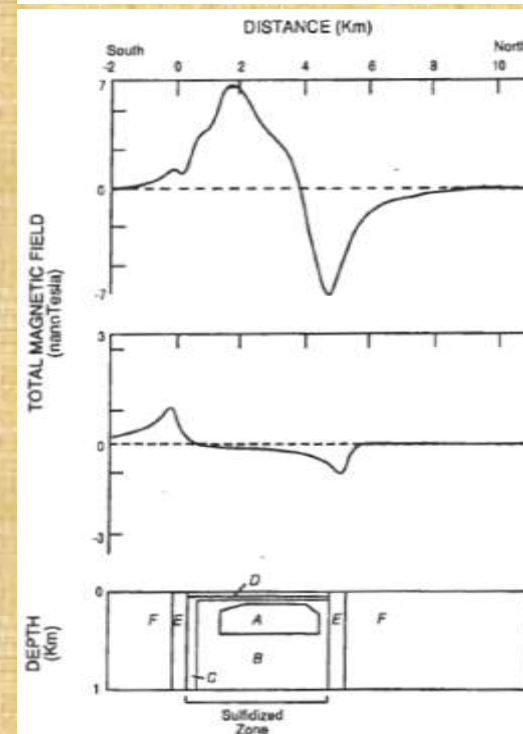
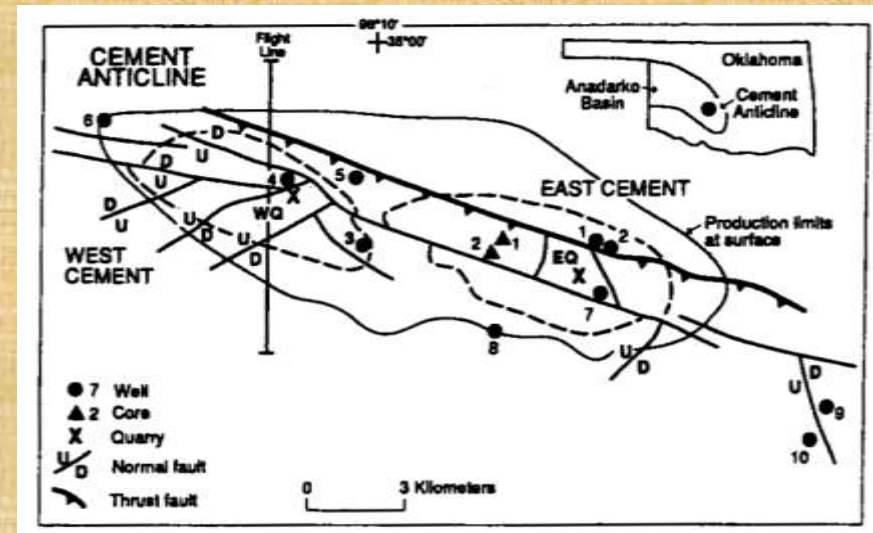
Anomalias magnéticas em meio continental

→ Sulfatos de ferro (ex: pirrrhotite) necessitam condições químicas redutores ($\text{pH} > 11$) que podem ser geradas pela presença ou migração de **petróleo**.

→ Em ambiente anóxico, as bactérias sulfato-redutoras consomem HS^- e liberam S^{2-} capaz de interagir com o ferro livre ou vindo da alteração dos óxidos de ferro preexistentes.

→ Processo de piritização:

- formação de pirite: perda da MRN
- formação de **pyrrhotite**: aumento da MRN



Sulfetos de ferro

→ Sulfetos de ferro: traçadores da formação e migração de petróleo.

→ Pirite:

- diamagnético

- $\chi < 10^{-5}$ SI

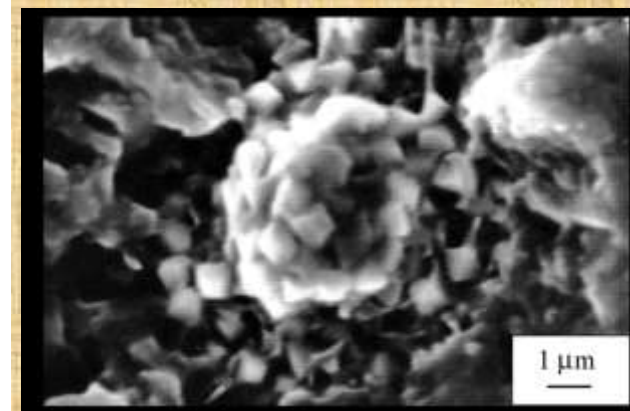
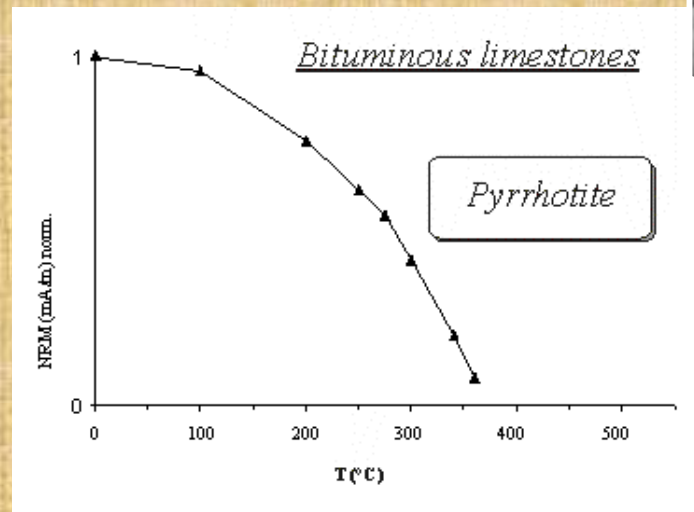
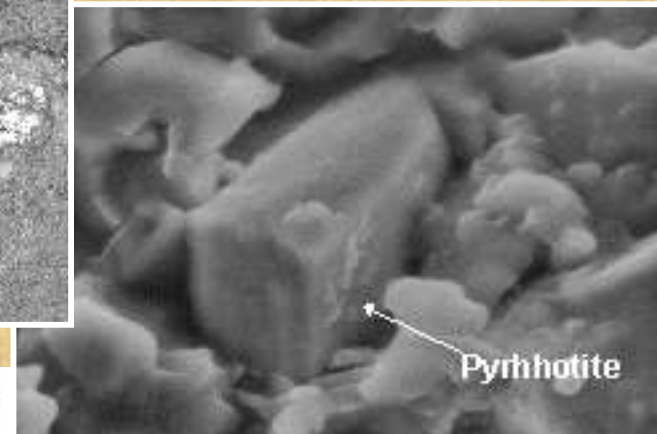
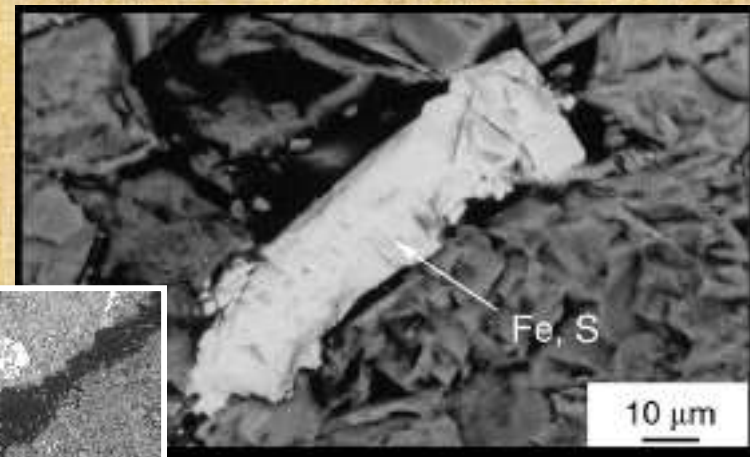
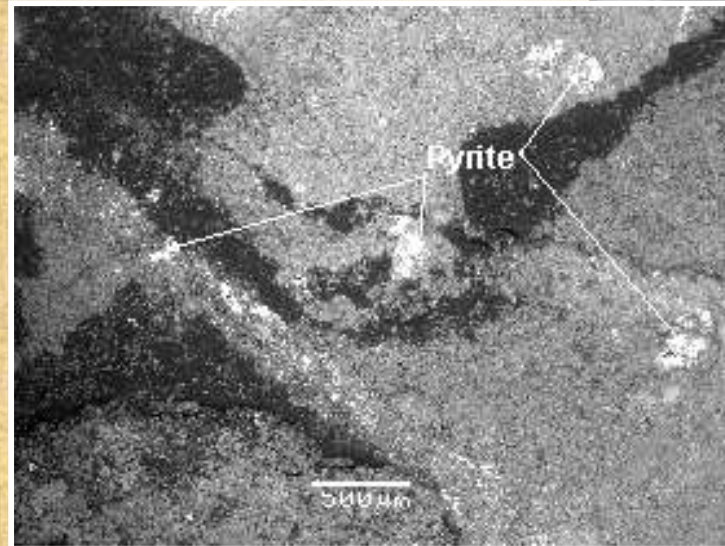
→ Pyrrhotite/Greigite:

- ferromagnético

- $\chi \gg 10^{-3}$ SI

- $T^{\circ}\text{Curie} = 280\text{-}320^{\circ}\text{C}$

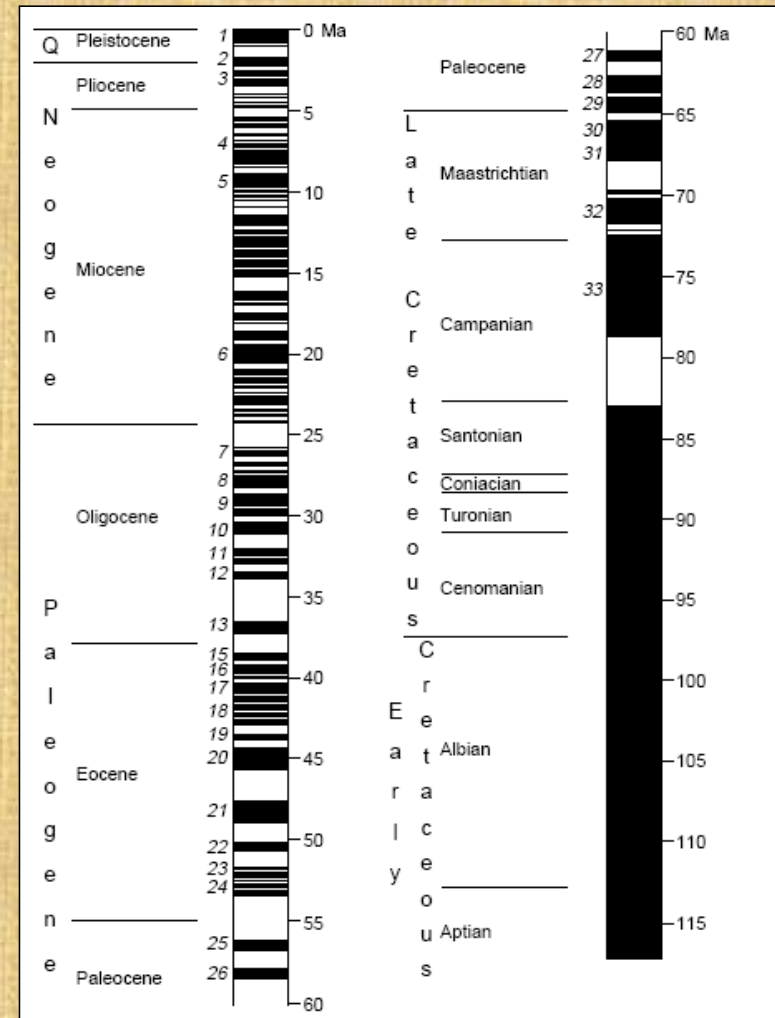
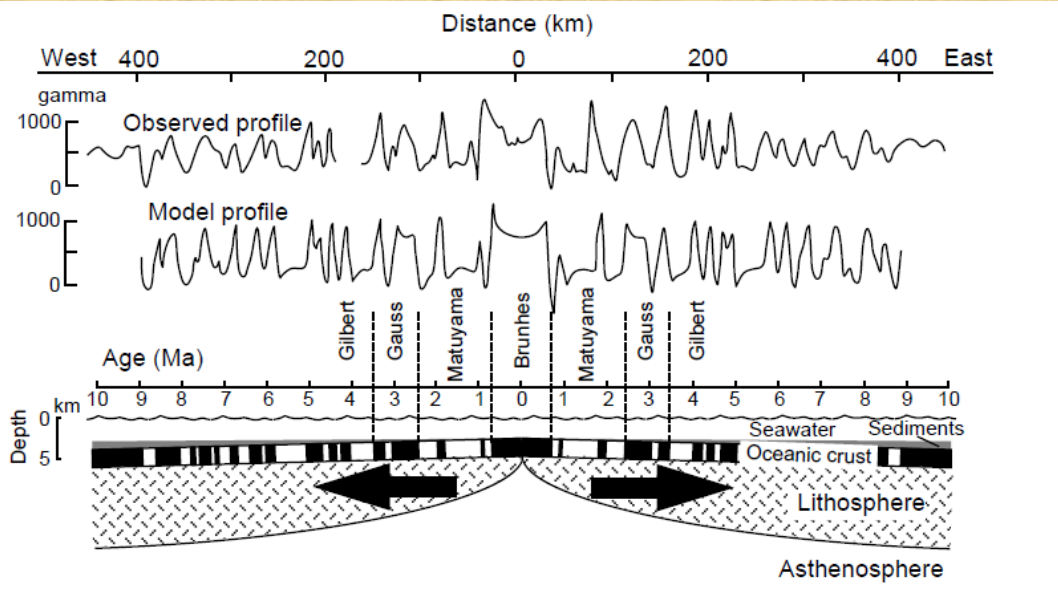
- ARM_(40mT)/SARM,
SIRM/x, J_{rs}/J_s, etc...



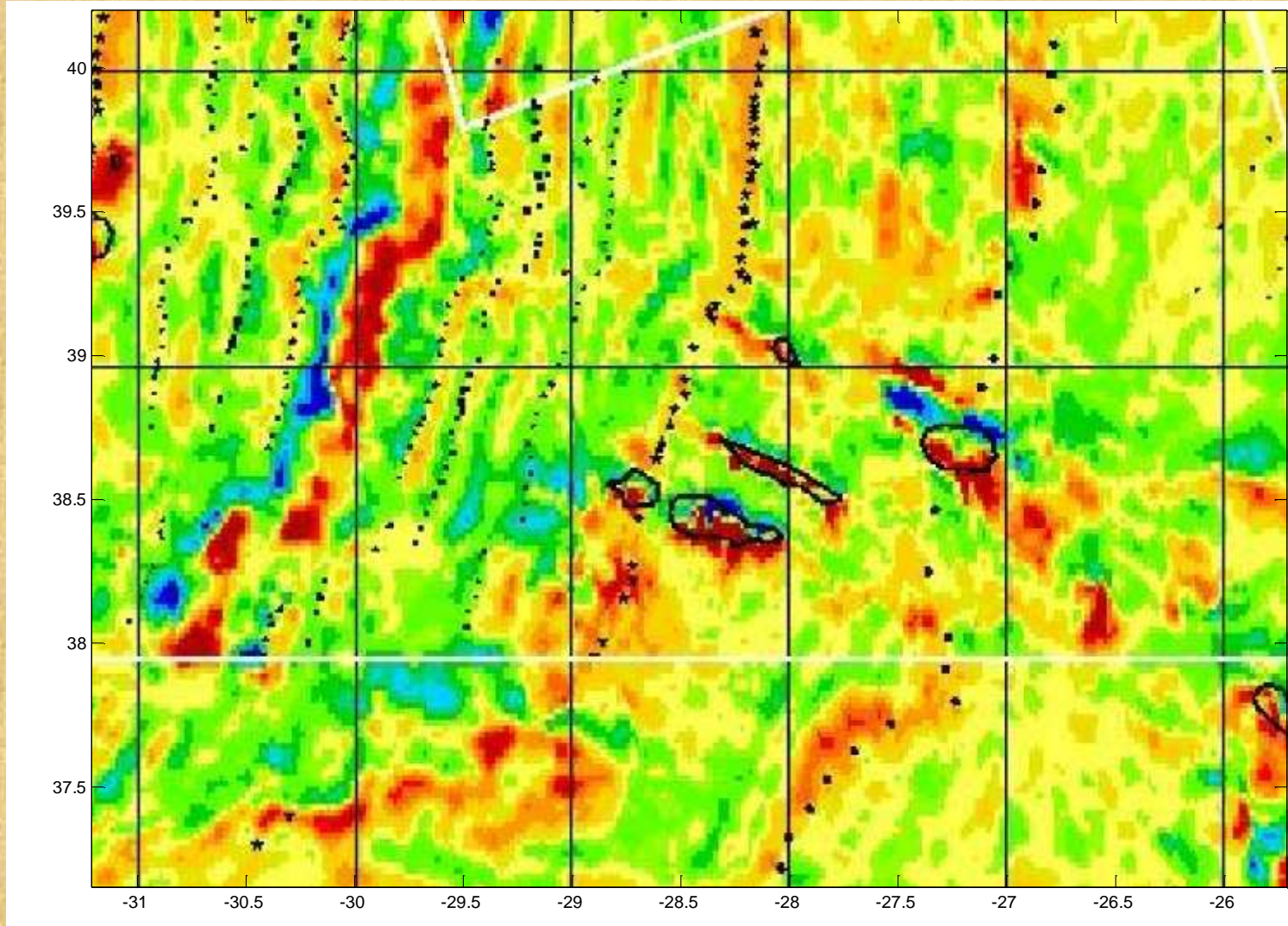
Levantamentos magnéticos - Meio oceânico

→ A frequência das reversões do CMT varia amplamente ao longos dos tempos geológicos

→ **Geomagnetic Polarity Time Scale (GPTS):**
bem estabelecido até 160 Ma

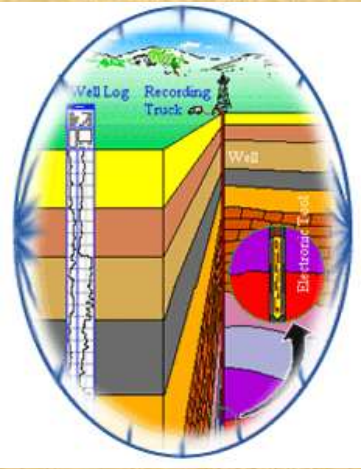


Anomalias magnéticas em meio oceânico

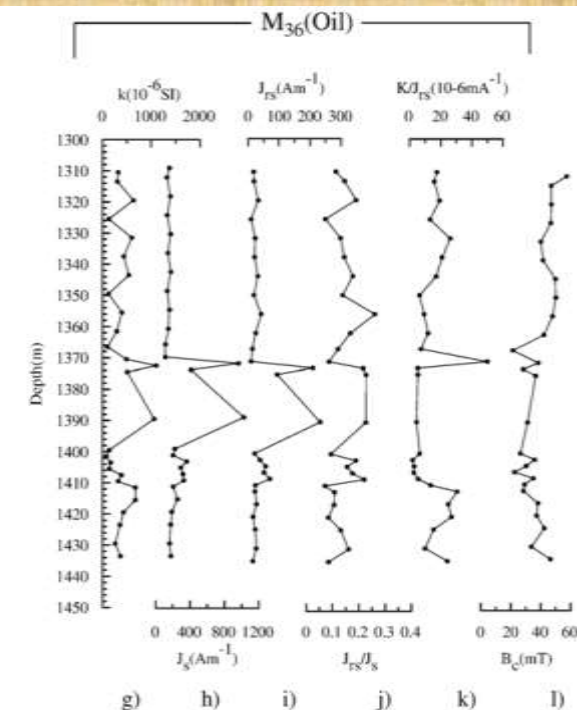
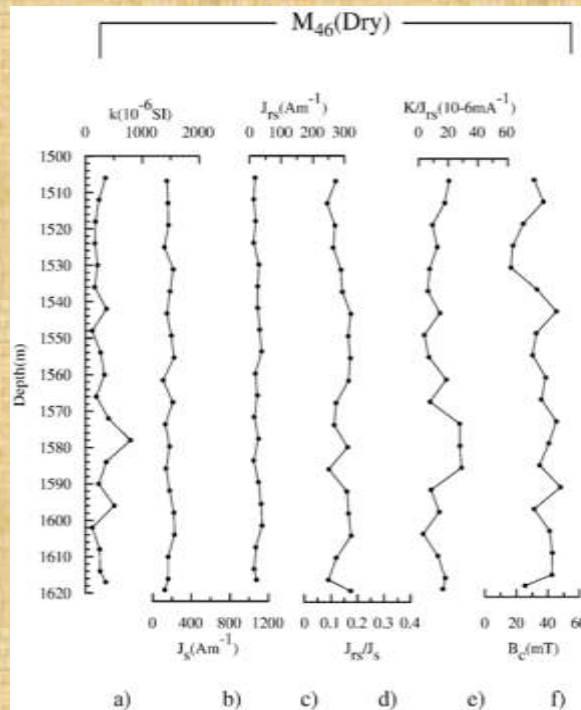
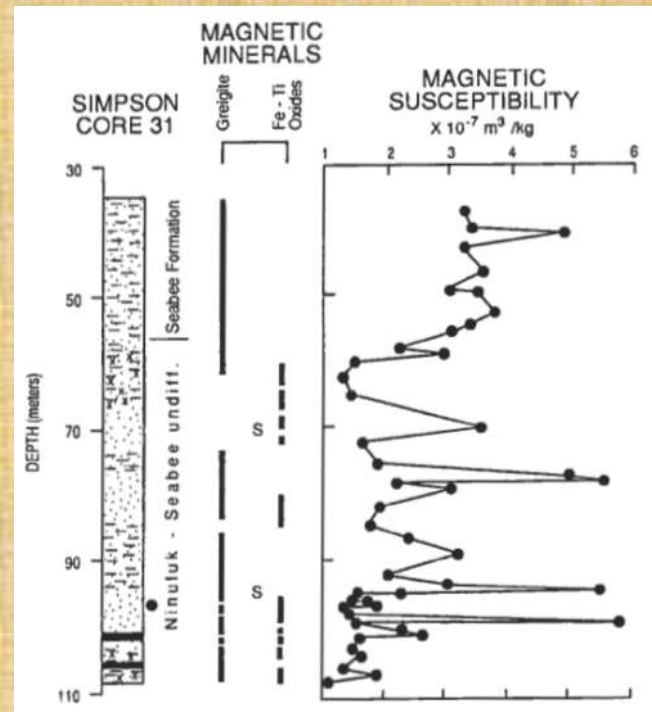
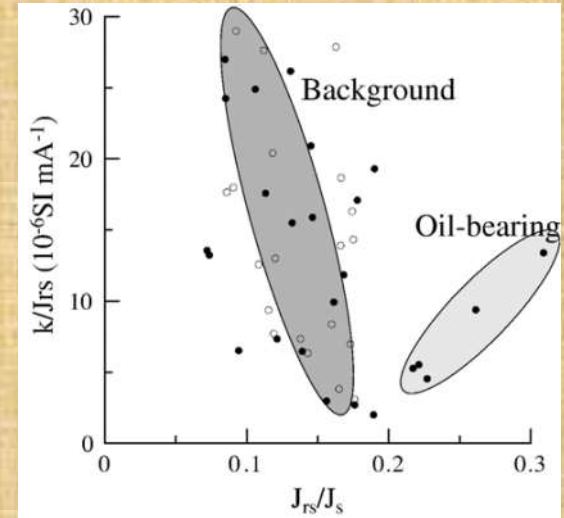


Anomalias Magnéticas da Crista Média Atlântica, na região dos Açores.

2. Perfilagens magnéticas



→ Proxies magnéticos para localização em poços de rochas ricas em hidrocarbonetos.



3. Petrofísica

→ Propriedades físicas das rochas (resistividade, condutividade eléctrica e **térmica..etc...**)

→ Porosidade, permeabilidade e tortuosidade

→ ASM com ferrofluido

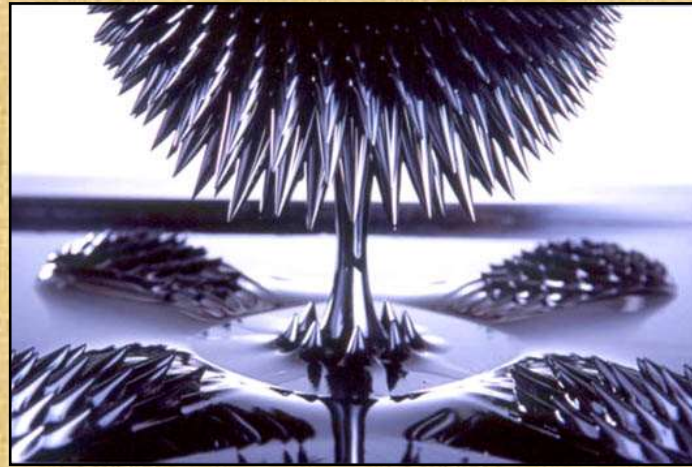
AMS com ferrofluido

→ Ferrofluido:

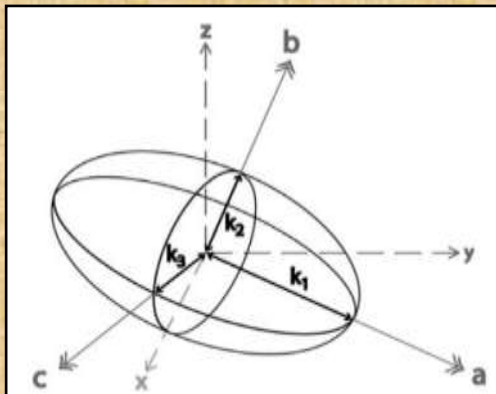
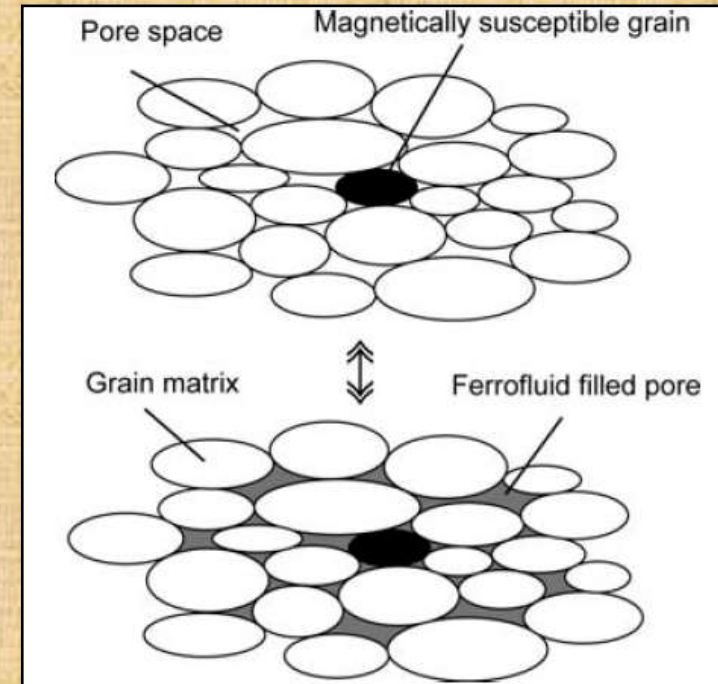
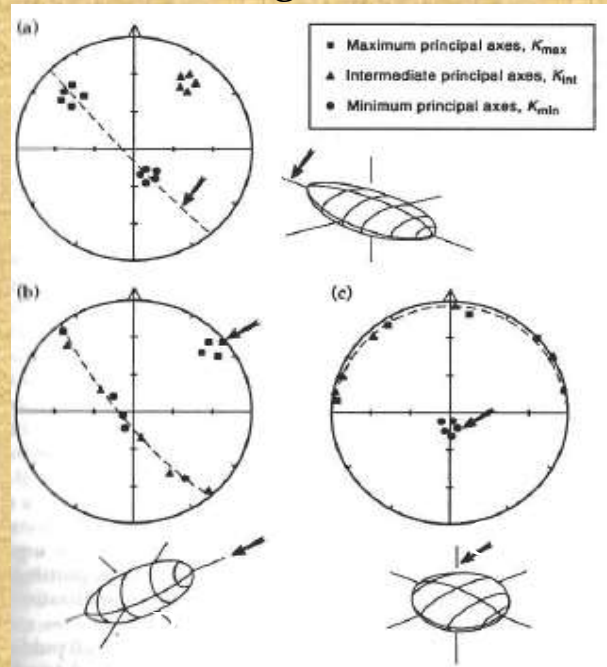
- Líquido magnético: partículas coloidais de magnetita nanométrica (~10 nm) dentro de uma solução líquida

- Viscosidade: 60 centi-Poise (cP) a 27°C.

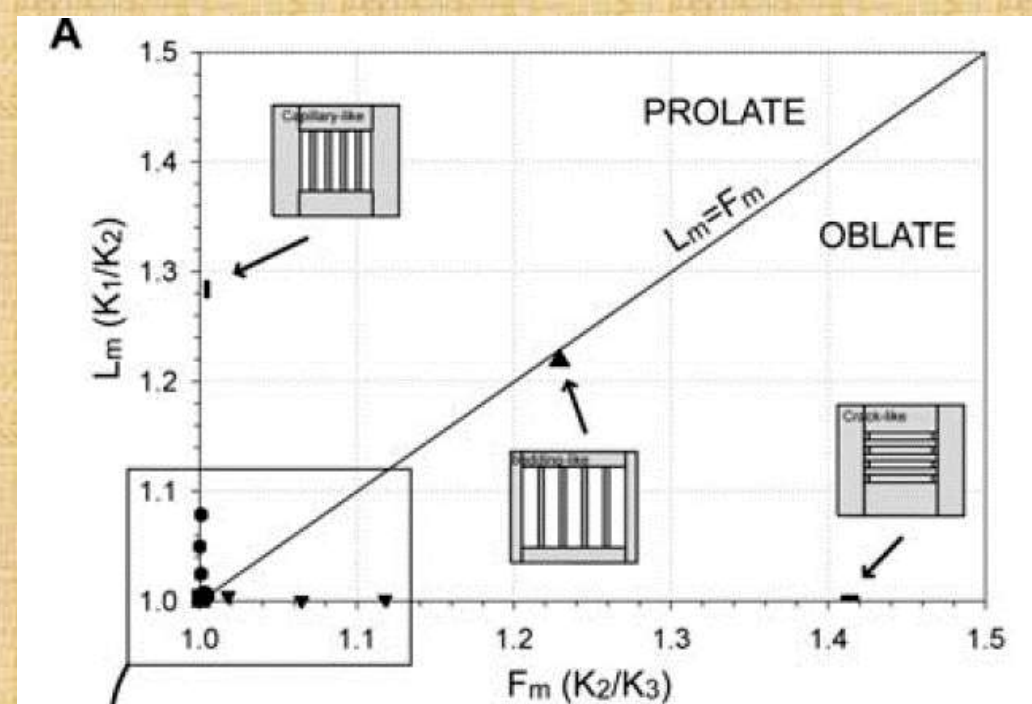
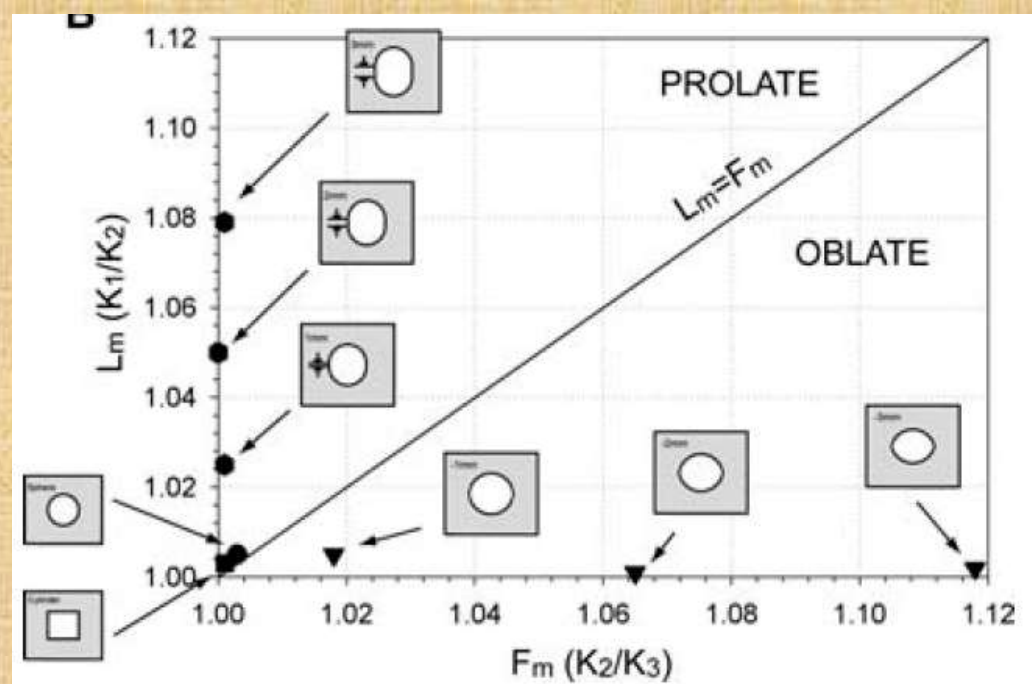
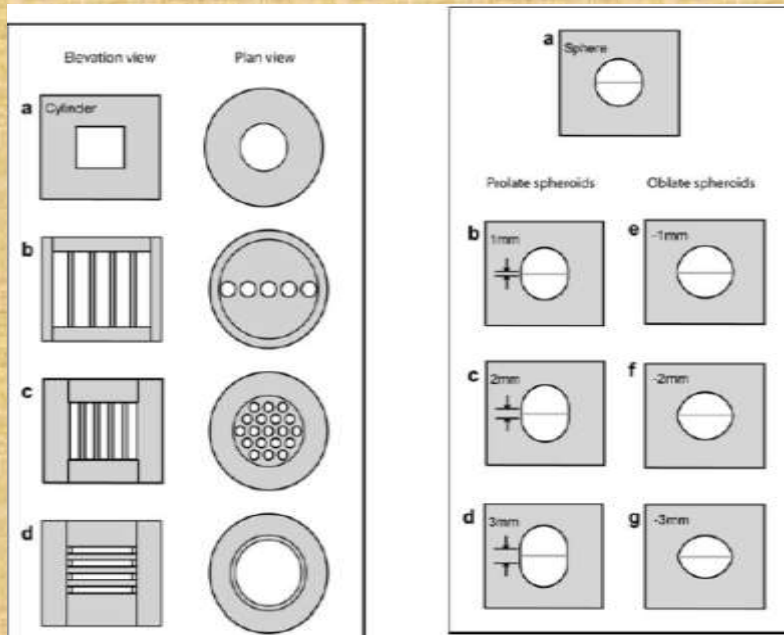
($v_{\text{água}} \sim 1\text{cP}$)



→ Anisotropia de Susceptibilidade Magnética (AMS):



AMS com ferrofluido



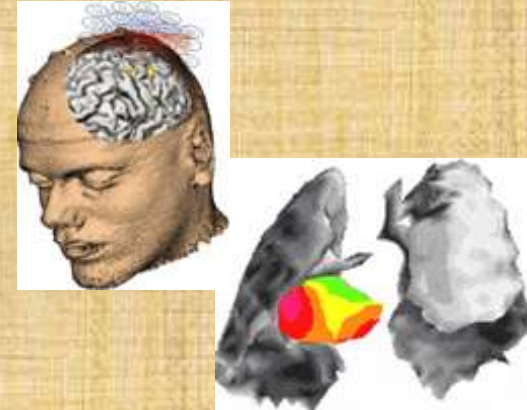
4. Biomagnetismo

Princípios:

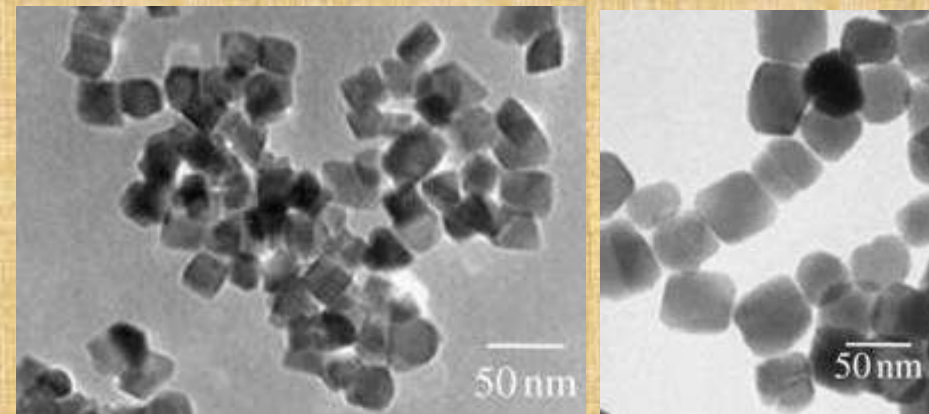
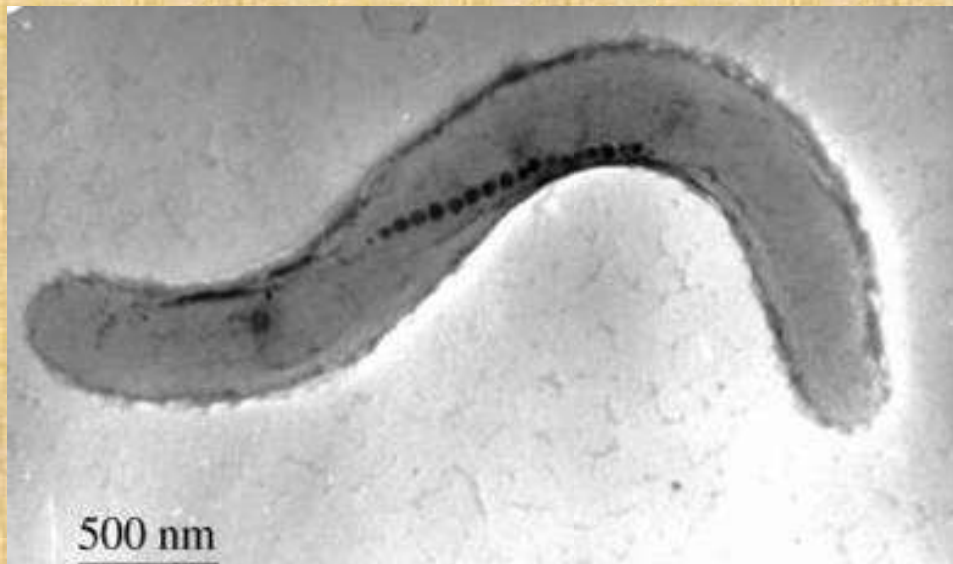
- estudo do campo magnético produzido pelos órgãos do corpo humano (domínio médico)
- estudo dos minerais magnéticos produzidos pela actividade bacteriana (“magnetosomes” de magnetite e greigite)

Aplicações:

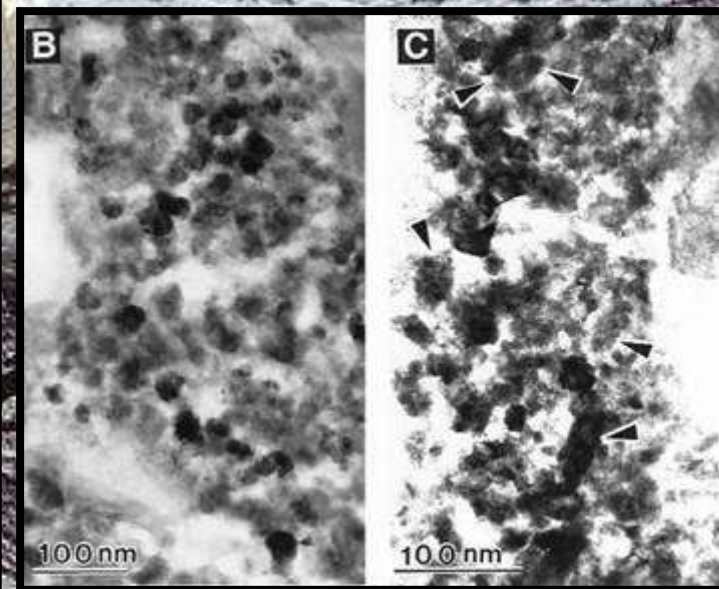
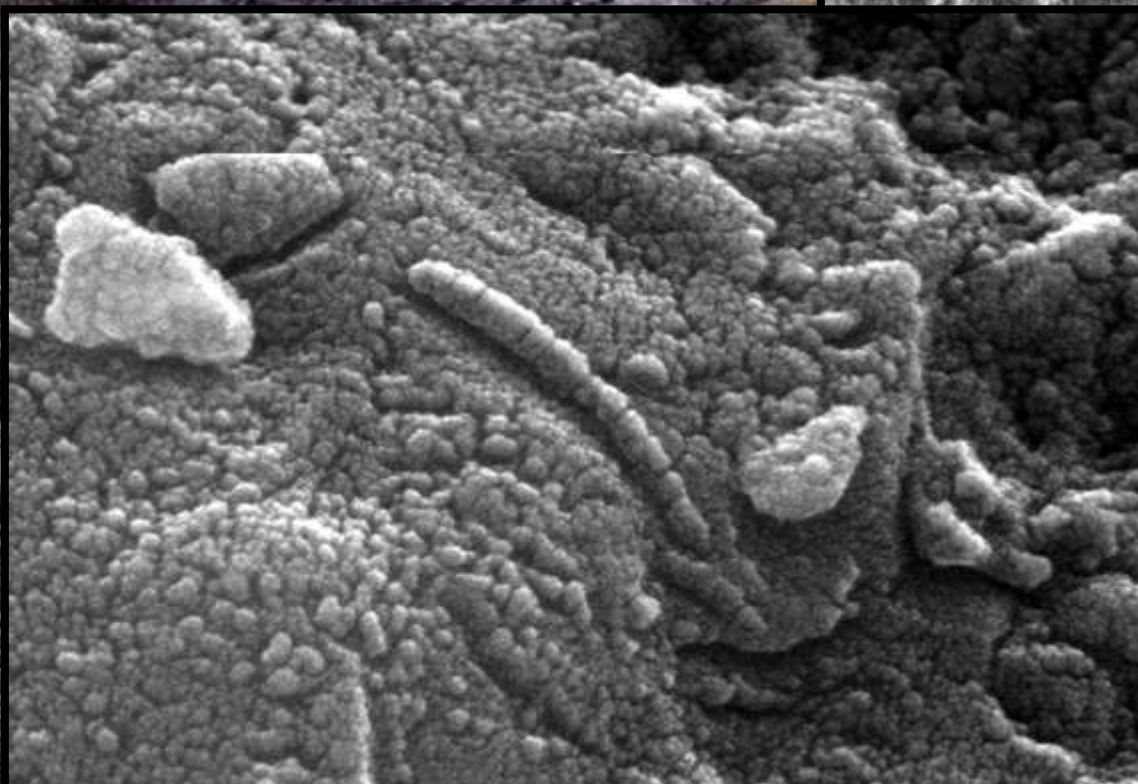
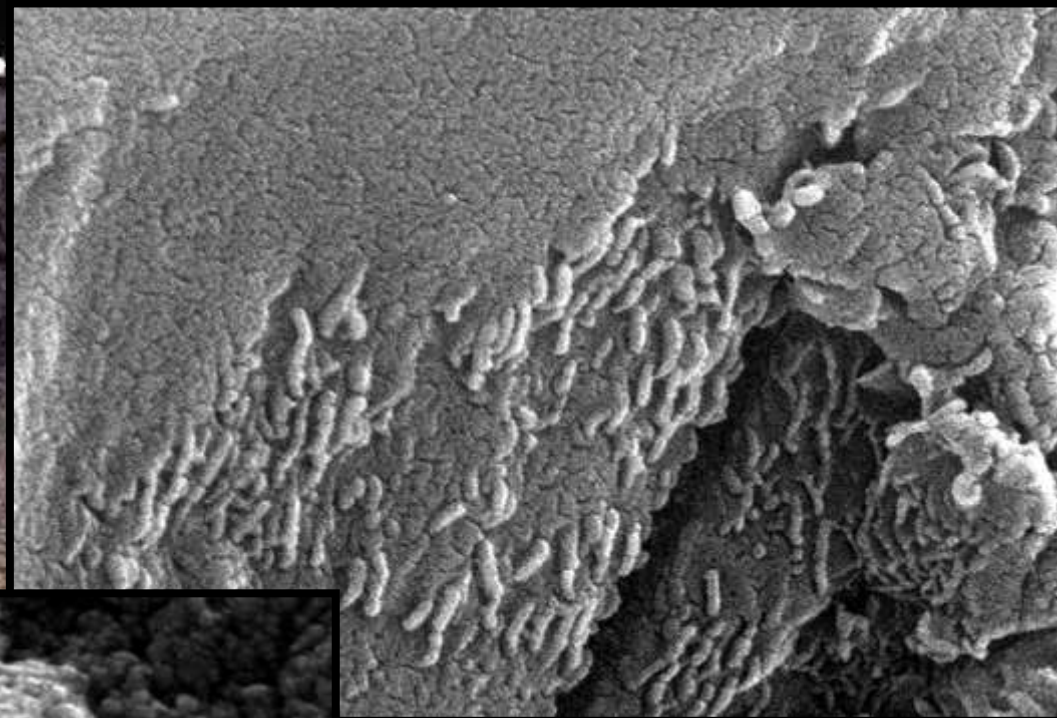
- Domínio médico: Electroencefalograma (EEG) ou Electrocardiograma (ECG)
- Geobiologia: ecologia, oceanografia, etc...



Bactérias magnetosomes



ALH84001,0



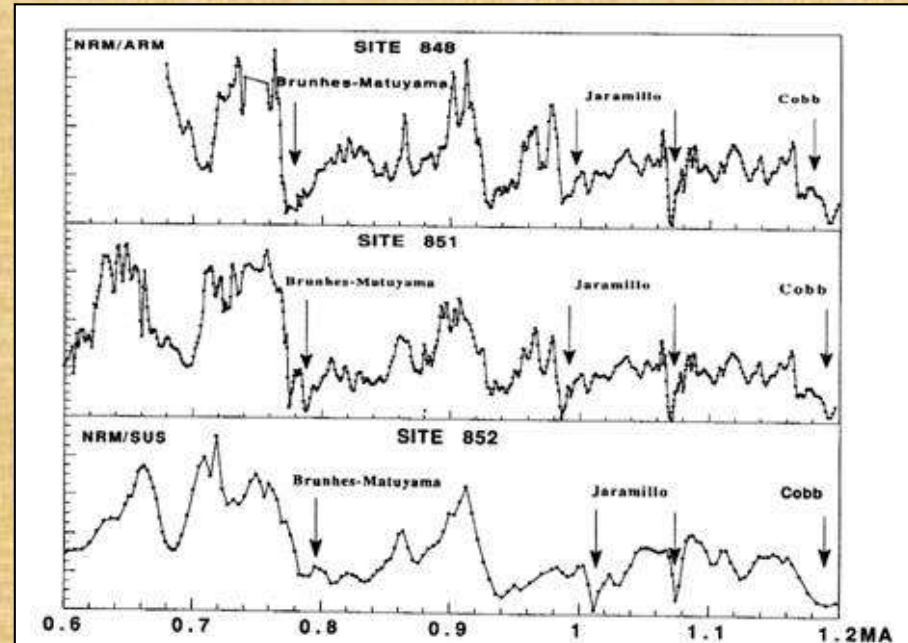
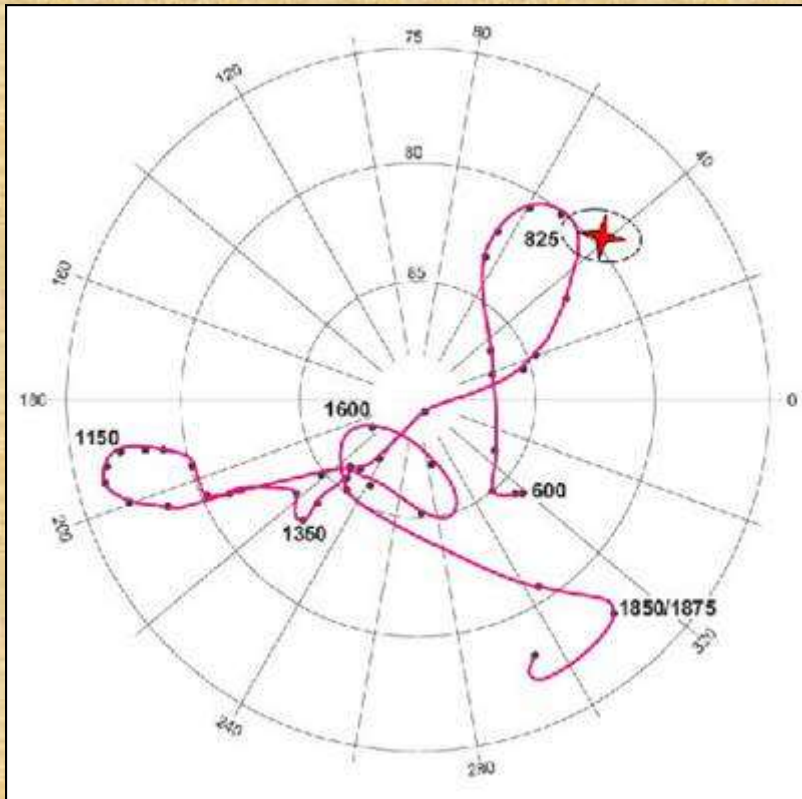
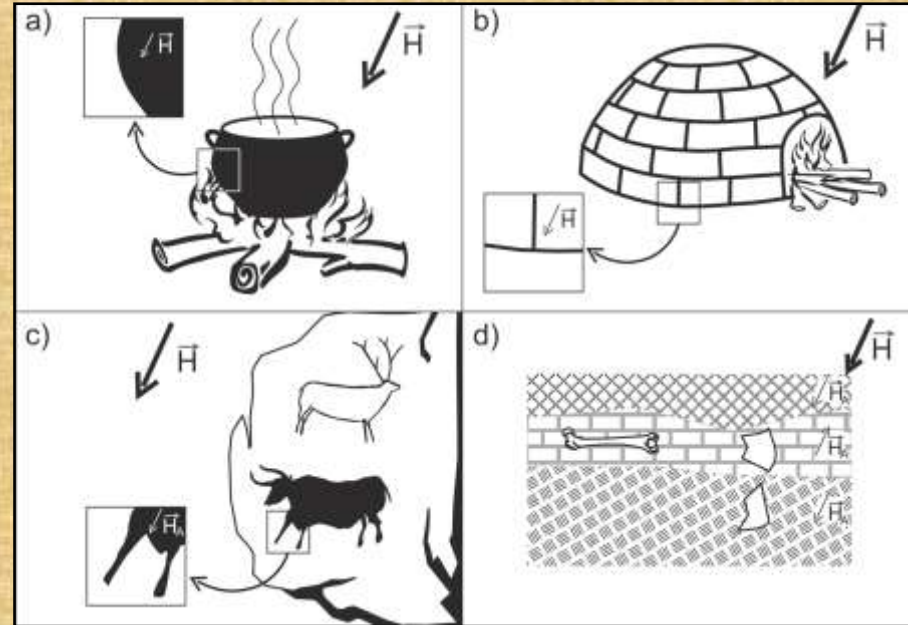
5. Arqueomagnetismo

Princípios:

- Estudo da orientação dos minerais ferromagnéticos contidos nas cerâmicas e da intensidade do campo magnético registado

Aplicações:

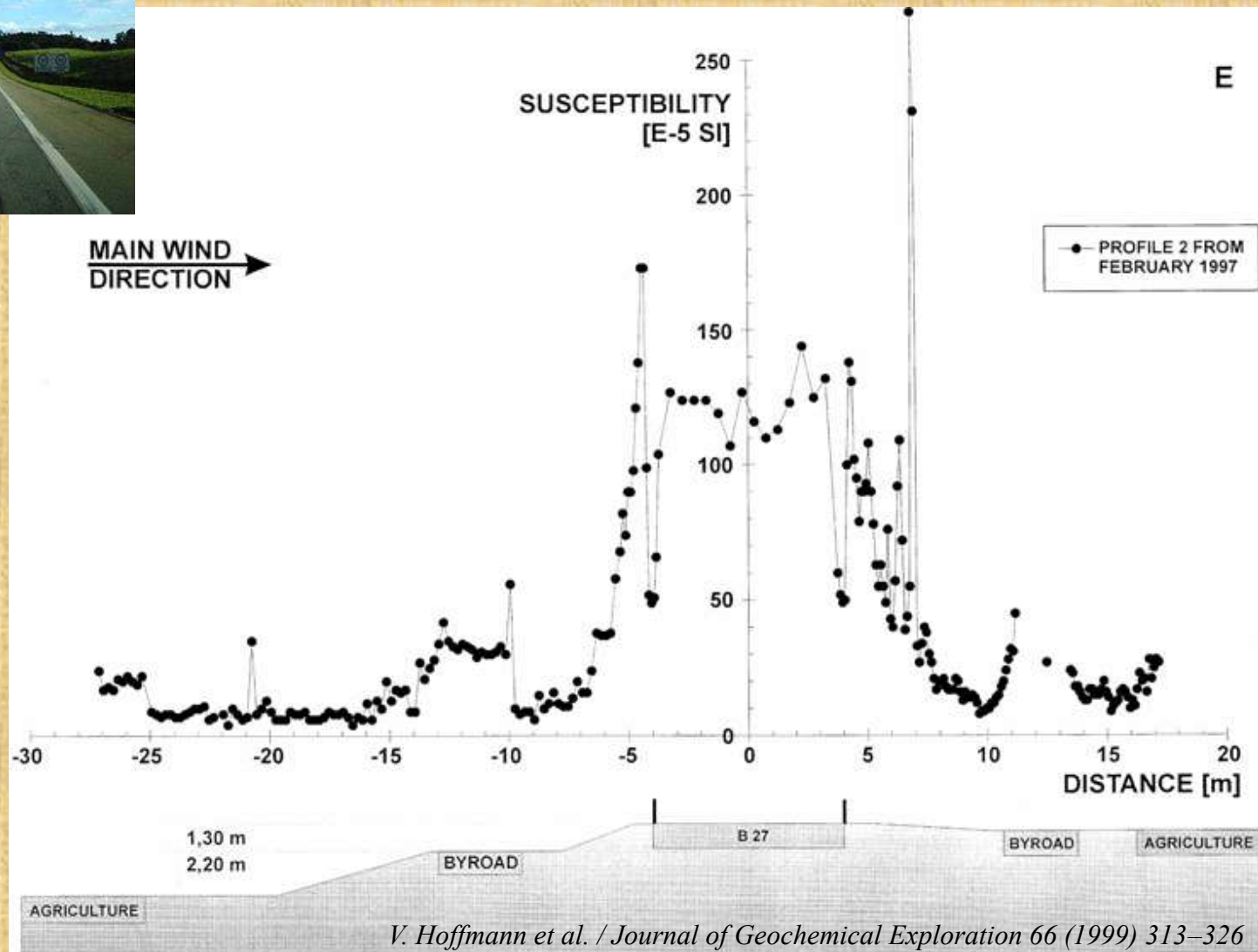
- Datação dos objectos arqueológicos



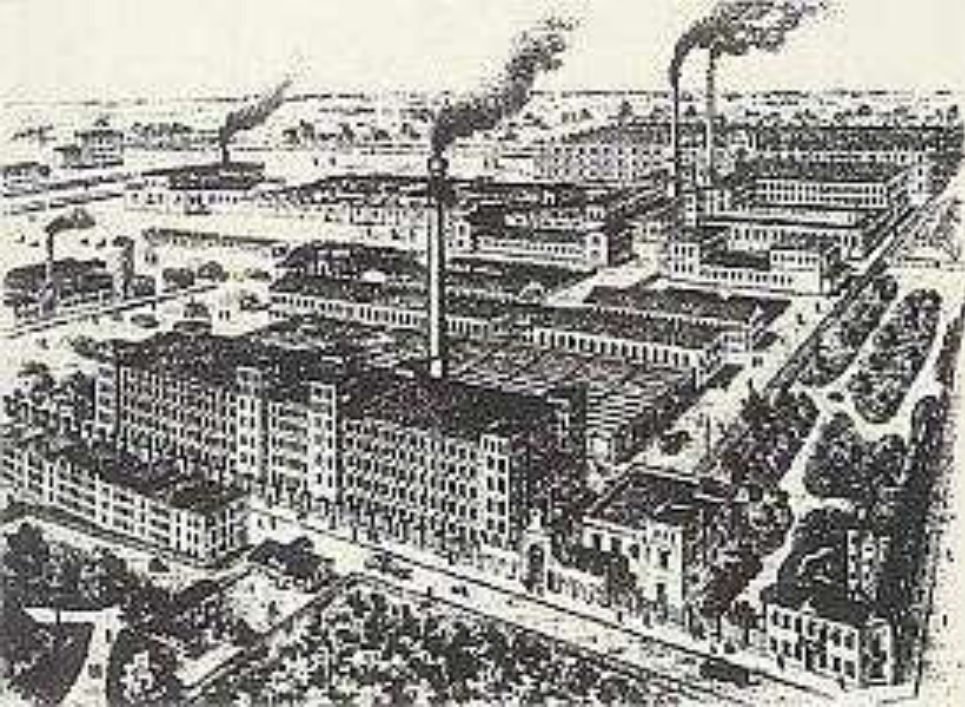
6. Magnetismo ambiental

- Poluição atmosférica
- Ambientes sedimentares
- Paleoclima
- ASM com ferrofluido

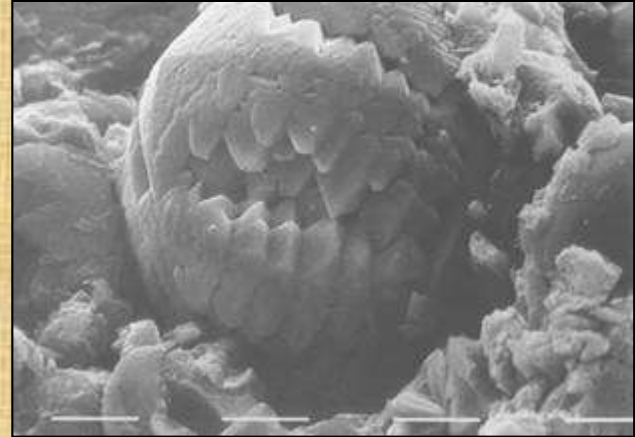
6. Magnetismo ambiental – Poluição atmosférica



Poluição antropogénica



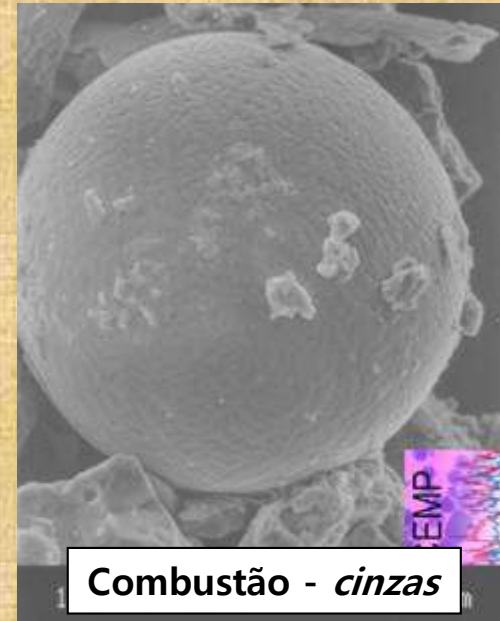
Combustão – *no bordo da estrada*



Produtos químicos



Produtos sintéticos -
goetite



Combustão - *cinzas*

6. Magnetismo ambiental – ambientes sedimentares

Definição:

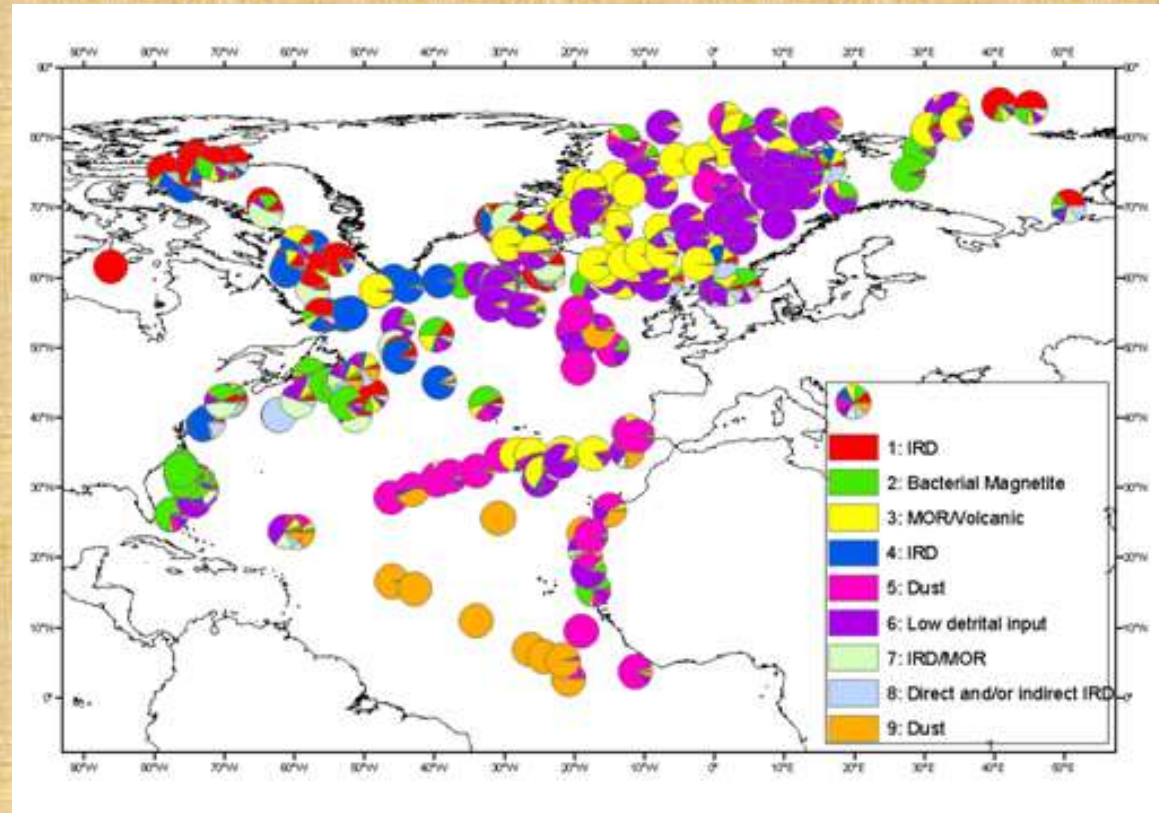
- Estudo da natureza e origem dos minerais magnéticos presentes nas rochas

Princípios:

- Propriedades magnéticas
- Análises microscópicas

Aplicações:

- Fontes sedimentares
- Paleomagnetismo: origem primária ou secundária da remanescência
- Processos tectónicos: alterações hidrotermais, metasomatismo



Exemplo de estudo das fontes sedimentares usando mineralogia magnética

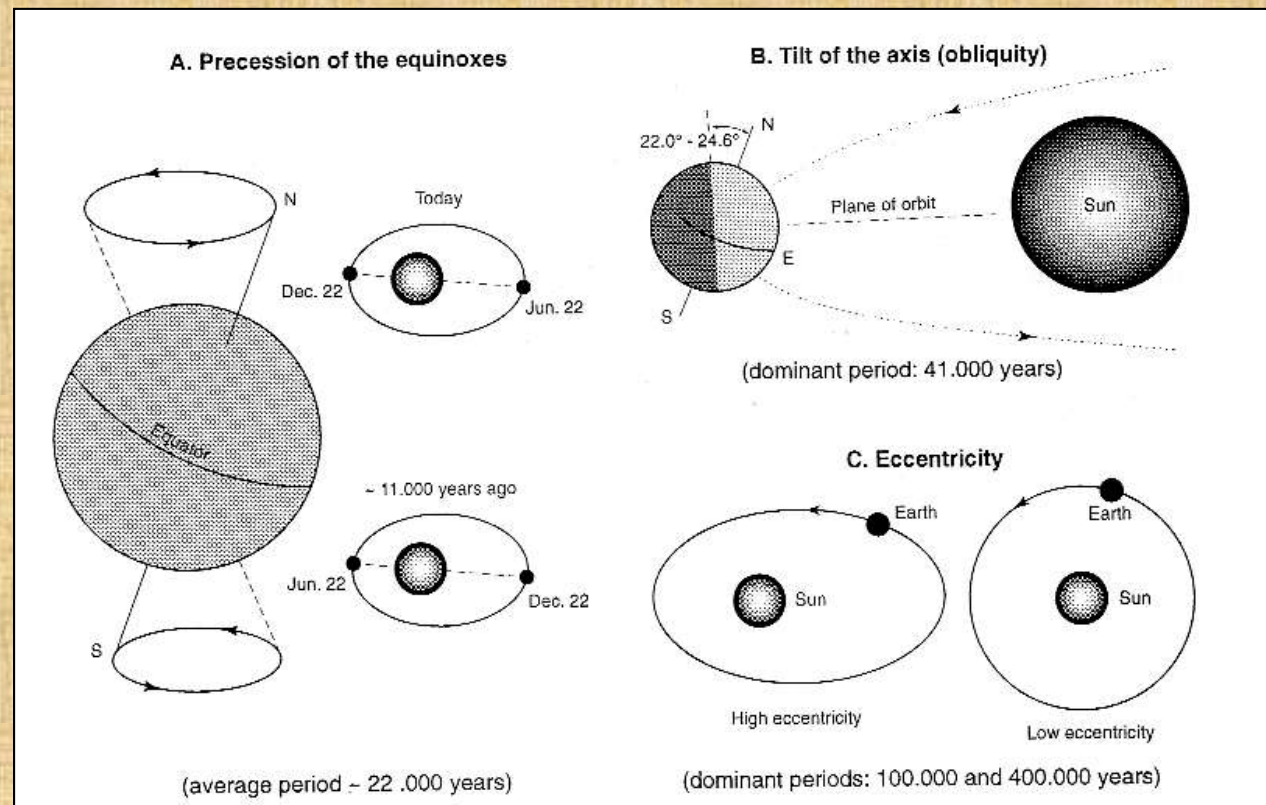
6. Magnetismo ambiental – Paleoclima

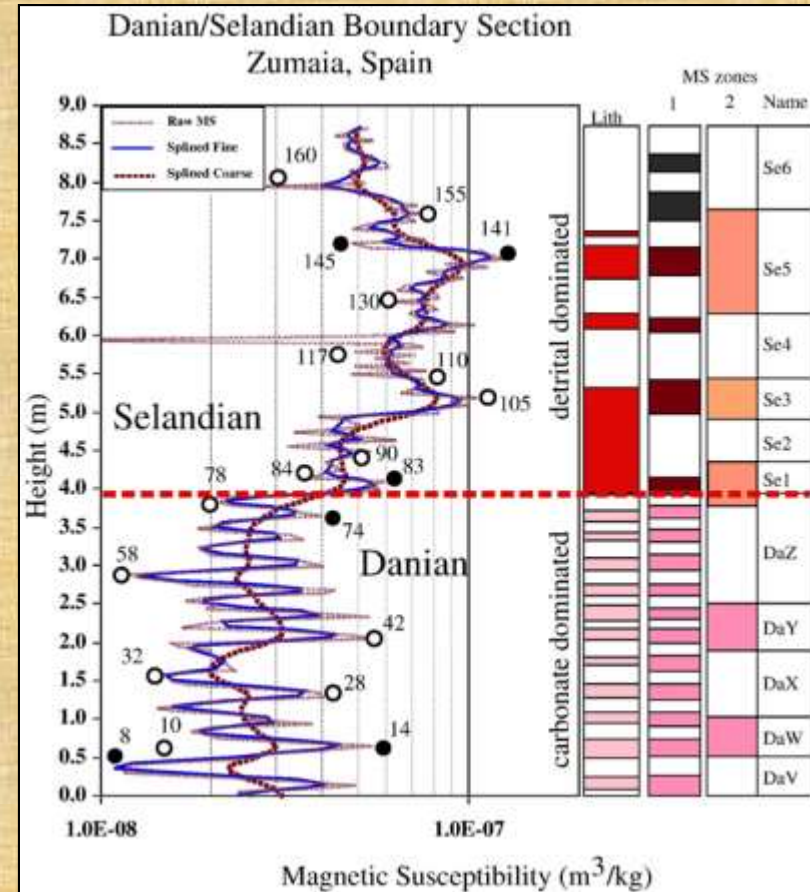
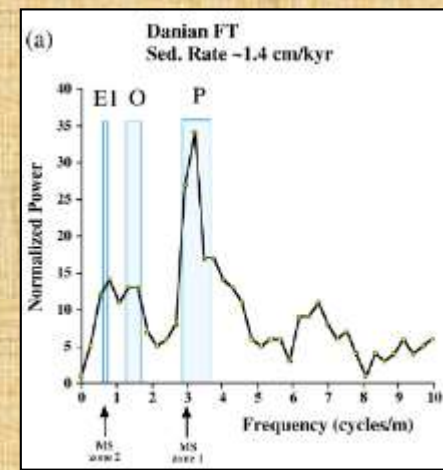
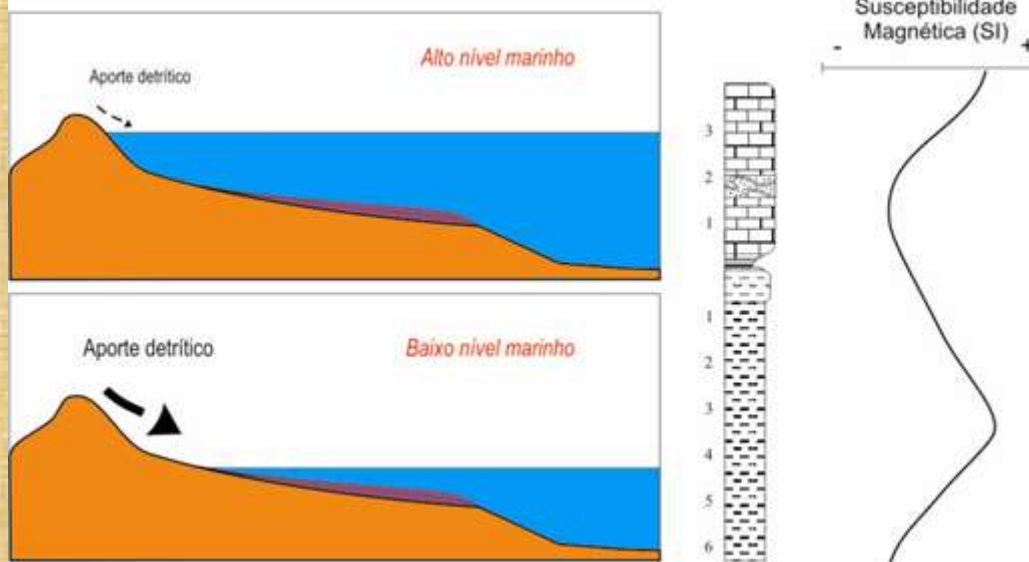
Princípios:

- No domínio oceânico, o fluxo de sedimentos detríticos é controlado pelo clima e registado nos sedimentos pela Susceptibilidade Magnética (SM)
- SM segue ciclos climáticos controlados por ciclos orbitais (Ciclos de Milankovitch) sobrepostos por ciclos de escala de maior período resultante da variação da base da litosfera pelo processos tectónicos e pela isostasia.

Aplicações:

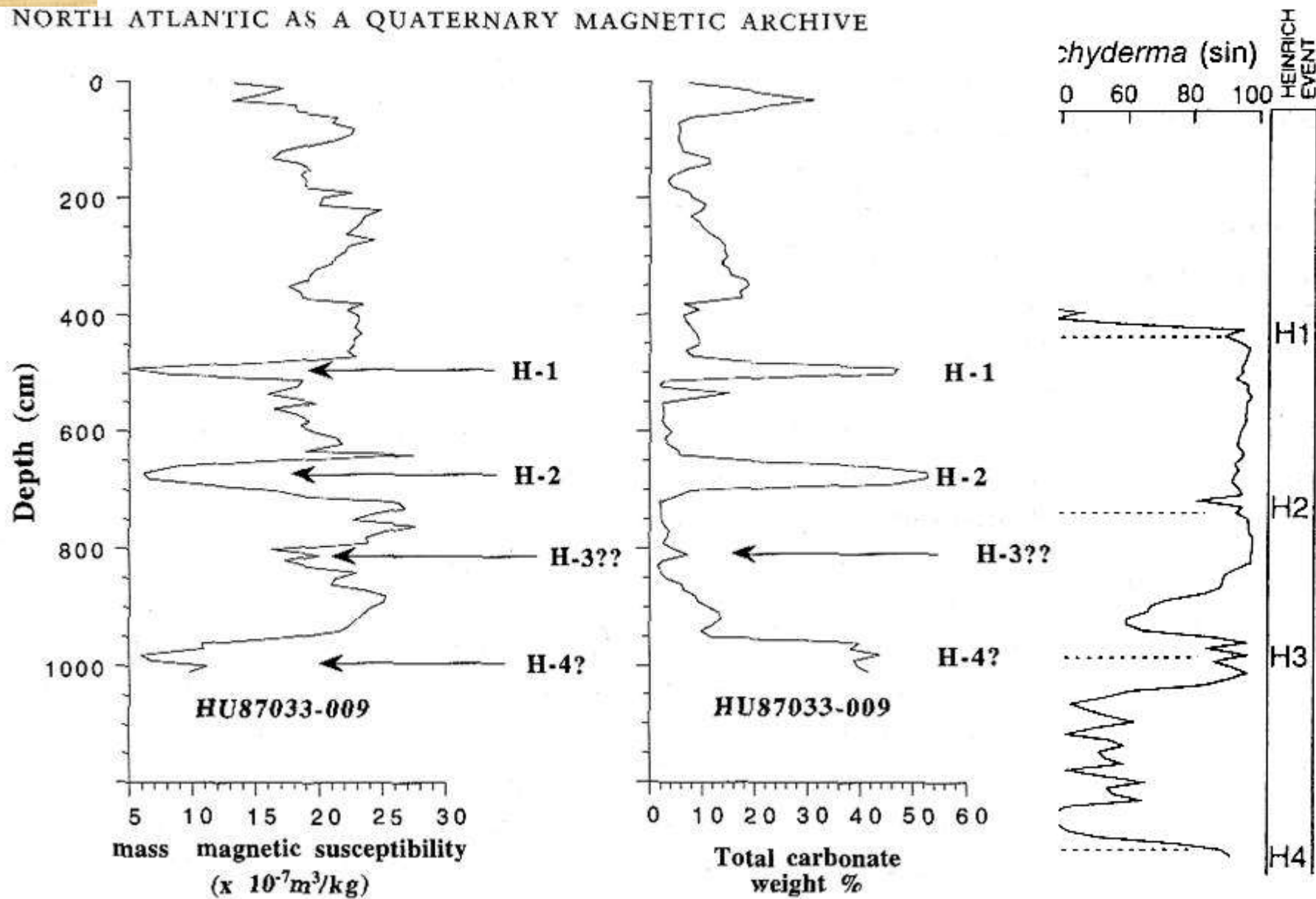
- Cicloestratigrafia usada para calibrações astronómicas dos tempos geológicos e para correlações
- Paleo-climatologia, paleo-oceanografia, paleo-ecologia





6. Magnetismo ambiental – Paleoclima

NORTH ATLANTIC AS A QUATERNARY MAGNETIC ARCHIVE



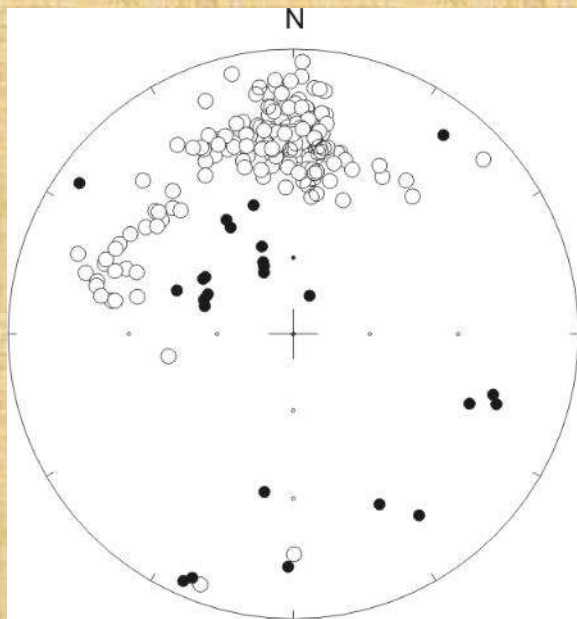
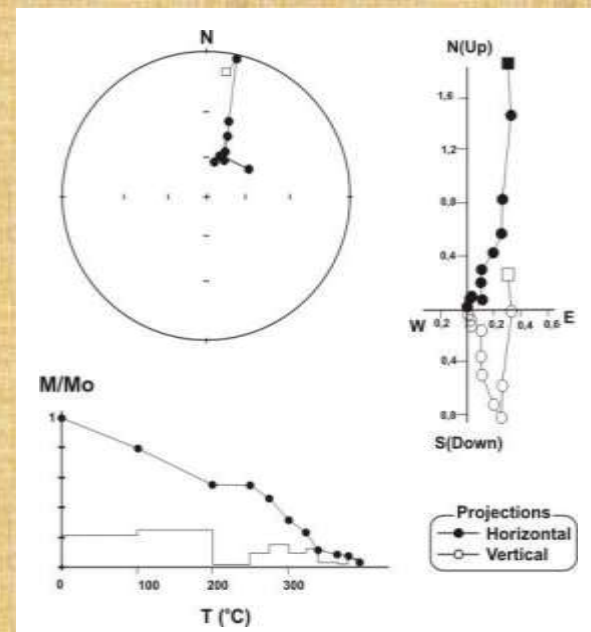
7. Paleomagnetismo e cinética das placas

Princípios:

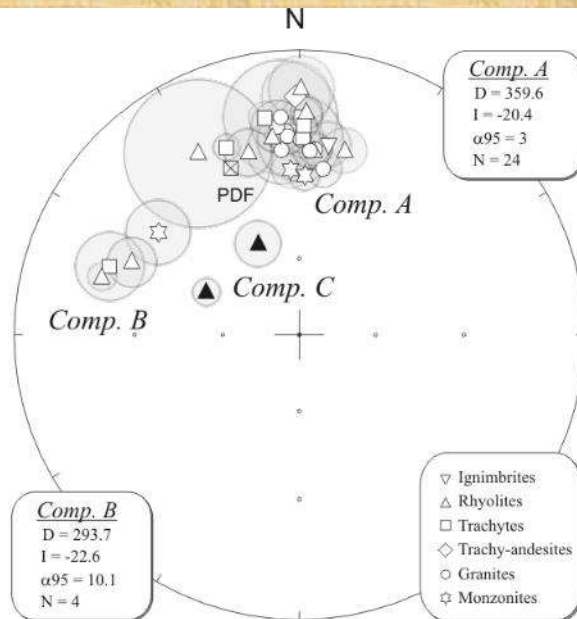
- Baseado na medida da magnetização remanescente das rochas
- Etapas: amostragem e orientação, desmagnetização termica e em campo AF, calculo da componente magnetica media e do Polo Geomagnetico Virtual (PGV) correspondente

Aplicações:

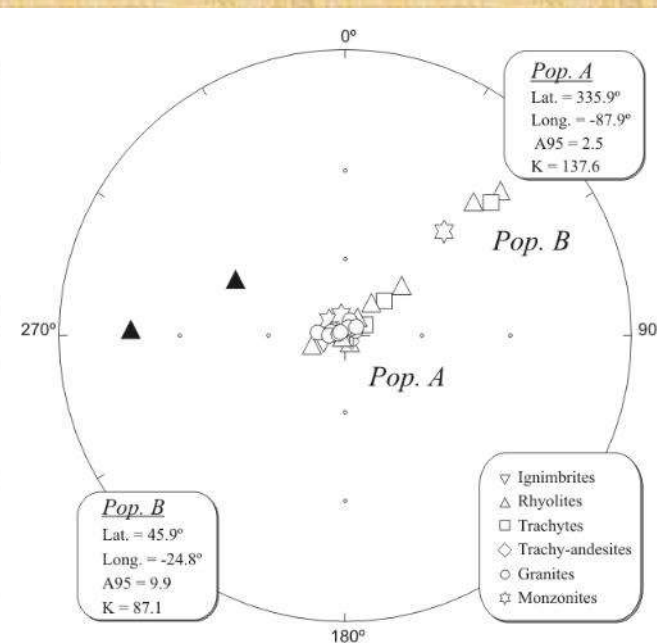
- Movimentos das placas
- Reconstruções paleogeográficas



a) Sample directions

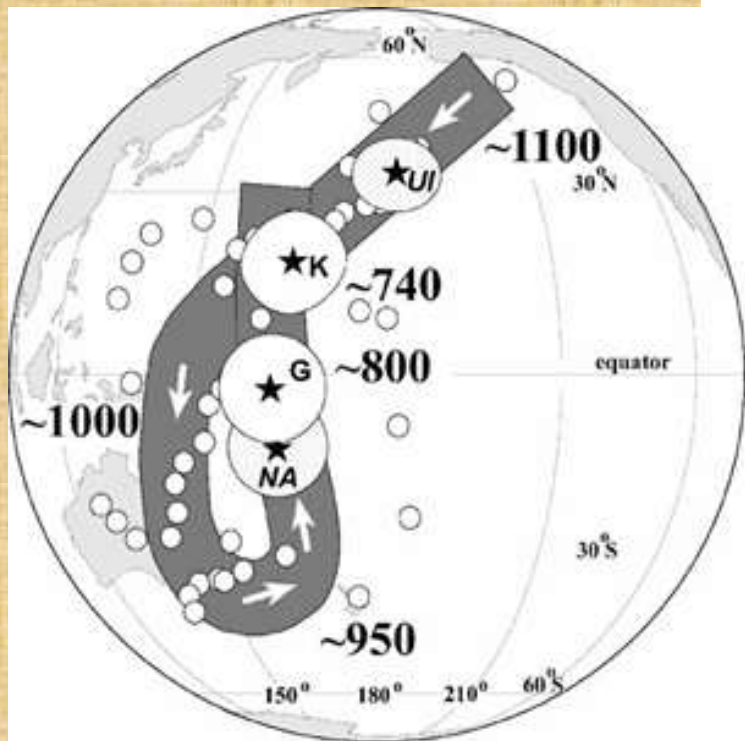


b) Site-based mean directions



c) Virtual Geomagnetic Poles

Curva de deriva polar aparente



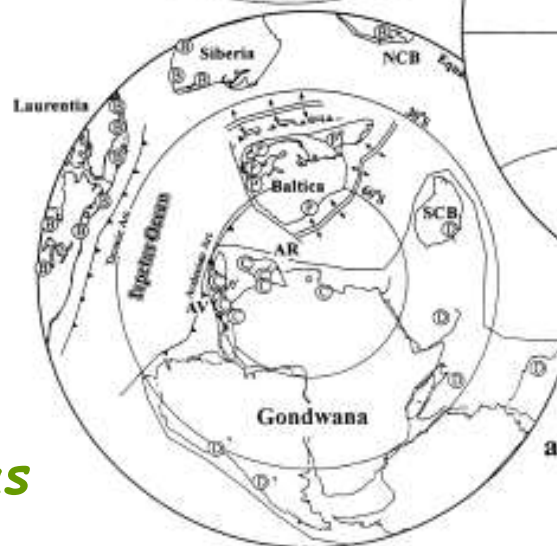
d) Late Cretaceous, Campanian (74 Ma)



c) Mid-Jurassic magnetic anomaly fit of the continents (c. 175 Ma)



b) Mid-Late Permian (c. 250 Ma)



a) Early Ordovician (480-490 Ma)

Reconstruções paleogeográficas

8. Magneto-estratigrafia

A **magnetoestratigrafia** é uma técnica chronoestratigrafica que permite datar as sequencias sedimentares e vulcânicas.

Estuda a magnetização detrítica remanescente (i.e. a polaridade do campo magnético terrestre no momento da formação da rocha).

→ GPTS (*Geomagnetic Polarity Time Scale*)

- Datações radiométricas o bioestratigráficas
- Anomalias magnéticas do fundo do mar

