

Trabalhos Práticos em Magnetismo de Rocha

Disciplina de Geomagnetismo

IGIDL

Laboratório de Paleomagnetismo e Magnetismo de Rocha

Eric Font

TP nº1

Colecta e orientação das amostras

O primeiro TP descreve os procedimentos de colecta de amostras no campo e a suas orientações no referencial terrestre.

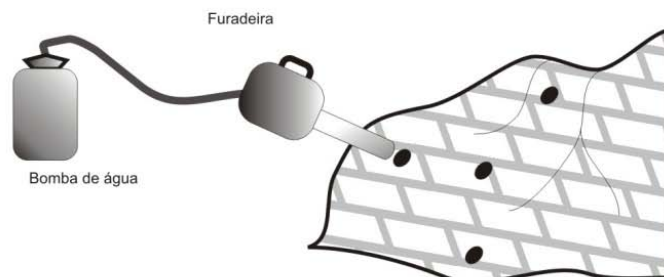
As amostras são retiradas dos afloramentos usando uma furadeira com brocas diamantadas e lubrificadas com água.

A orientação dos cilindros de amostra é feita usando uma bússola magnética e solar. Com a bússola magnética anotamos o **azimute**, ou **declinação** (ângulo com o norte magnético), do plano horizontal e a **inclinação** (ângulo com a vertical, $90^\circ - \alpha$ na figura) do cilindro. Com a bússola solar medimos a declinação, data e hora.

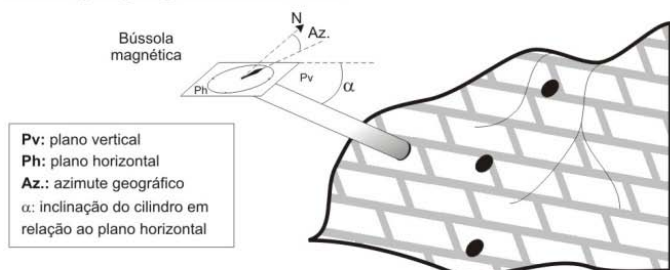
As amostras são marcadas com tinta indelével de cor preta ou azul (vermelho contendo pigmentos de hematite) com uma seta indicando o topo do cilindro. As amostras analisadas usando tratamento térmico são adicionalmente marcadas com uma mistura de tinta *nankin* branca e corrector (resista as altas temperaturas).

Os cilindros são cortados usando uma cerra eléctrica constituída de dois discos espaçados de 2.2 cm. O diâmetro do cilindro sendo de 2.5 cm, o volume total é de $\sim 10 \text{ cm}^3$. O primeiro centímetro do topo do cilindro é geralmente excluído para as análises em laboratório devido as eventuais alterações que poderia ter afeitado a superfície da rocha. Os pedaços sobrantes da base são guardados para análises complementares (geoquímica, microscopia, etc.).

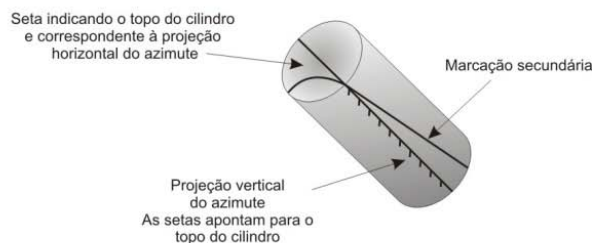
Amostragem do cilindro de rocha



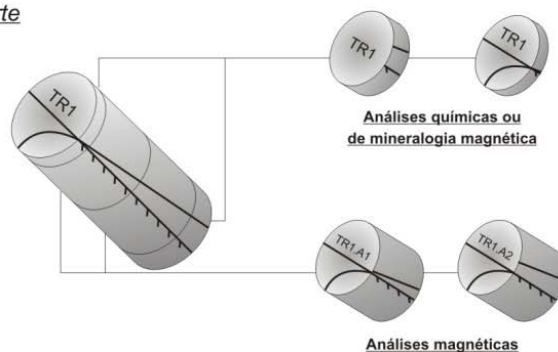
Orientação geográfica do cilindro



Marcação



Corte



As amostras são finalmente colocadas numa blindagem magnética de modo a evitar qualquer contaminação campo magnético terrestre ambiente.

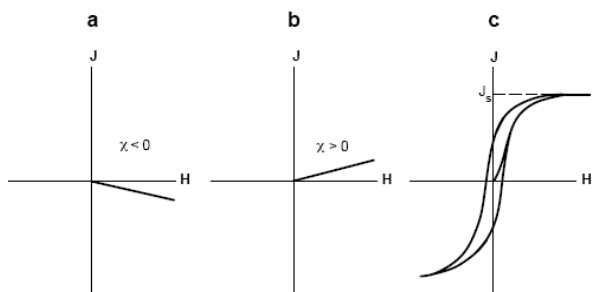
TP nº2

Medidas da susceptibilidade magnética

Designa-se por k a susceptibilidade por unidade de volume (SI/cm^3) e por χ a susceptibilidade por unidade de massa (SI/g). Em geral, k é directamente proporcional à magnetização:

$$J = k.H$$

K varia em função do tipo de rocha (ígneas ou sedimentar). Considerando um tipo de rocha particular, k varia em função da composição e concentração dos minerais de ferro (magnetite, hematite, etc.), do tamanho de grão, e da temperatura. Na natureza, existem três tipos de comportamento magnético diferente:



(a) **Diamagnetismo:** A magnetização, J , depende linearmente do campo aplicado, H , e se reduz a zero quando o campo é removido. χ é negativa e da ordem de $10^{-6}(\text{SI})$. Ex: quartzo (SiO_2).

(b) **Paramagnetismo:** χ é positiva e varia entre 10^{-5} e $10^{-3}(\text{SI})$. Ex: ilmenita (FeTiO_3).

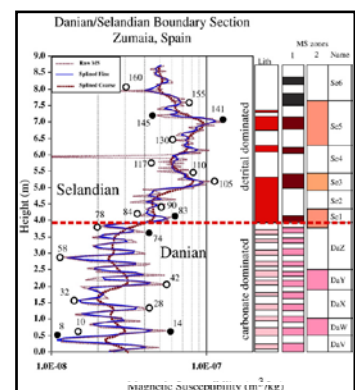
(c) **Ferromagnetismo:** magnetização espontânea mesmo na ausência de um campo externo. O comportamento magnético pode ser caracterizado por uma curva de histerese. Quando o campo induzido H volta a zero, a amostra guarda uma magnetização residual chamada de *magnetização remanescente* (J_r).

Tarefas

- ✓ Medir a variação da susceptibilidade por massa ao longo de um perfil estratigráfico usando a balança electrónica de precisão e o susceptômetro KLY-2.
- ✓ Elaboração da tabela de dados: entrar os valores de χ numa folha Excel e montar um gráfico associando a distância vertical (em cm) entre cada amostra do perfil estratigráfico.
- ✓ Montar a Figura: exportar o gráfico para o programa de desenho Corel Draw usando a função *colar especial/meta-arquivo*.
- ✓ Interpretar os dados em termo de mecanismos globais como eustatismo, tectónica e clima.

Interpretações

A SM é uma propriedade física que permite tanto obter informações sobre a natureza dos portadores magnéticos (cf. Temperatura de Curie, TP nº5) quanto estudar os mecanismos geológicos globais no caso das rochas sedimentares.



Ellwood et al., 2008.

As rochas sedimentares marinhas, por exemplo, têm a capacidade de registar de modo contínuo as variações climáticas terrestres. Isto é devido ao fato que a quantidade de óxidos e sulfatos de ferro erodidos do continente e depositados na bacia sedimentar depende fortemente do clima e mais exactamente das taxas de alteração. As taxas de alteração das rochas continentais podem variar segundo três parâmetros principais interligados: a tectónica, o clima e o eustatismo. Esses parâmetros são controlados por ciclos orbitais chamados ciclos de Milankovitch que correspondem aos ciclos de precessão (19-24 kyr), obliquidade (41-54 kyr) e excentricidade (100-400 kyr).

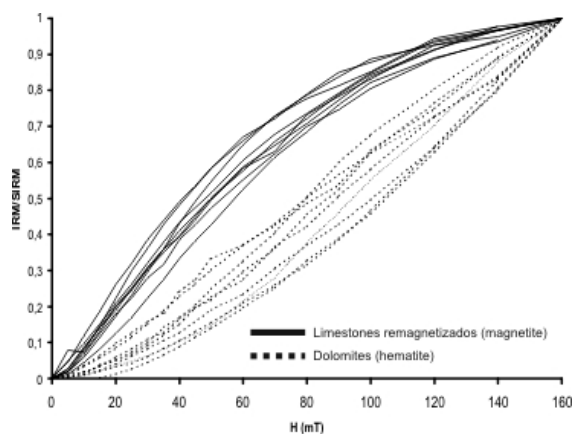
TP nº3

Aquisição e tratamento de curvas IRM

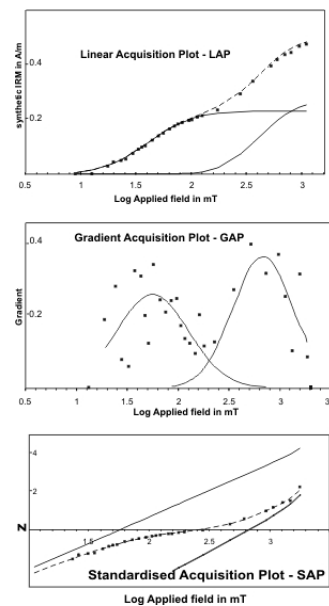
A Magnetização Remanescente Isotermal (IRM) é produzida por um campo contínuo H aplicado a T° constante e durante uma escala de tempo de alguns segundos. Esse tipo de magnetização é relativamente instável porque a magnetização remanescente decai exponencialmente com o tempo logo após a indução. A vantagem é a rapidez dos protocolos experimentais e a preservação da amostra para medidas ulteriores.

O protocolo experimental consiste em medir a magnetização após cada etapa de indução magnética até saturação da amostra (SIRM). O equipamento permite induzir campos máximos de 2 Tesla sendo que $SIRM_{\text{magnetite}} \sim 30\text{-}200\text{ mT}$ e $SIRM_{\text{hematite}} > 1\text{ T}$.

As curvas de aquisição de IRM fornecem dois parâmetros essenciais: SIRM (IRM a saturação) e a força coerciva remanescente, H_{cr} , que são característicos dos minerais. A forma da curva, côncava ou convexa, informa também sobre o tamanho de grão, MD ou SD (cf. TP nº4). Para comparar a forma de um conjunto de curvas referentes a minerais de SIRM similares, os dados são geralmente normalizados.



Robertson & France (1994) mostraram que as curvas de aquisição de IRM podem ser descritas por uma curva cumulativa de tipo log-Gaussian (CLG = *Cumulative Log-Gaussian*). Deste modo, misturas de minerais podem ser analisadas pela decomposição da curva IRM entre diferentes curvas CLG, cada uma delas descrita por valores específicos de SIRM, coercividade média e índice de dispersão (DP). Esse método tem a capacidade de caracterizar minerais altamente coercivos (hematite, goetite) mesmo se a amostra não alcançou o estado de saturação.



Tarefas

- ✓ Induzir um campo H (mT) e medir a IRM resultante aos passos seguintes: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 60, 80 e 100 mT.
- ✓ Entrar os valores de H (mT) e IRM (A/m) no software Excel (IRM Treatment) disponível online (<http://www.igidl.ul.pt/mr.htm>)
- ✓ Usar o tratamento LAP-GAP-SAP de Kruiver et al. (2001) para caracterizar as diferentes fases magnéticas presentes na amostra.
- ✓ Montar a Figura: exportar os gráficos Excel para o programa de desenho Corel Draw usando a função *colar especial/meta-arquivo*.
- ✓ Interpretar os dados em termo de mineralogia magnética.

TP nº4

Desmagnetização em campo alternado (AF) da magnetização remanescente

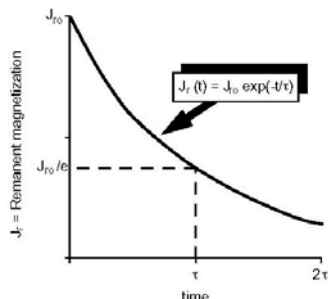
A magnetização remanescente natural (MRN) corresponde a magnetização gravada na rocha durante seu processo de formação. Em cristais SD:

$$J_r(t) = J_{r0} \exp(-t/\tau)$$

- J_r é a magnetização remanescente
- τ é o tempo de relaxação :

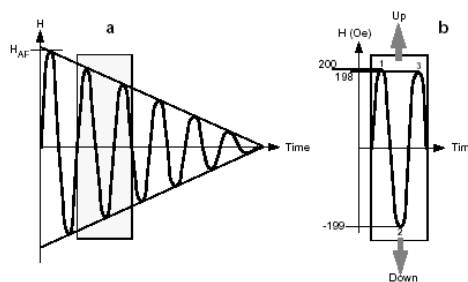
$$\tau = 1/C \cdot \exp \left[\frac{v h j_s}{2kT} \right] \quad (\text{Lei de Louis Néel})$$

- C : fator de frequência = 10^8 s^{-1}
- v : volume dos grãos SD
- h_c : coercividade dos grãos SD
- j_s : magnetização de saturação
- kT : energia térmica



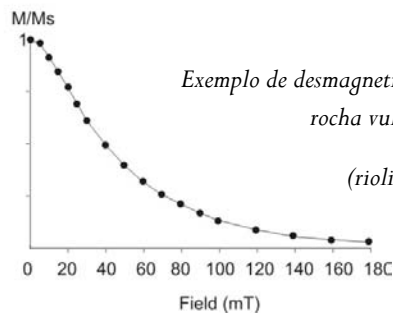
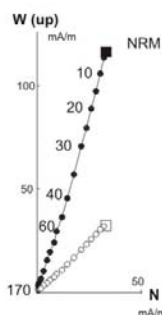
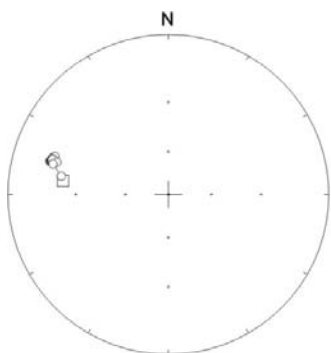
Para determinar as direcções da MRN, usamos técnicas de desmagnetização passo a passo permitindo de obter a orientação média da magnetização por análises de componentes principais (ACP). A desmagnetização AF consiste em expor a amostra a um campo alternado comparável a uma sinusóide cuja magnitude decresce com o tempo. O valor máximo de desmagnetização é chamado H_{AF} . O procedimento consiste em medir a MRN a cada passo de desmagnetização até 100mT (valor máximo de H_{mag} atingido pelo equipamento). Ao contrário da

desmagnetização térmica que actua nas T° curie dos minerais ferromagnéticos, a resposta do tratamento AF depende da coercividade dos mesmos. Como mostra a figura abaixo, no ponto 1, os momentos magnéticos de todos os grãos cujo $h_c \leq 200 \text{ Oe}$ vão se alinhar no sentido “up”. No ponto 2, os momentos magnéticos cujo $h_c \leq 199 \text{ Oe}$ se orientam no sentido “down”. O processo continua no ponto 3 com um valor de 198 Oe. Deste modo, os momentos magnéticos incluídos entre os pontos 1 e 3 se anulam. A contribuição de todos os grãos cujo $h_c \leq H_{AF}$ é assim destruída e somente a MRN portada pelos grãos cujo $h_c \geq H_{AF}$ será preservada.



Tarefas

- ✓ Efectuar desmagnetizações AF usando os passos seguintes: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 60, 80 e 100 mT.
- ✓ Controlar as medições a cada passo de desmagnetização usando o programa REMA6.
- ✓ Efectuar o tratamento de ACP usando o software REMA6 e calcular uma componente magnética média para as amostras analisadas.
- ✓ Exportar as figuras (estereograma, diagramas de Zijdeveld e de Intensidade vs. Campo AF) para um programa de desenho tal o Corel Draw (cf ex. abaixo).



Exemplo de desmagnetização térmica numa rocha vulcânica (riolito)