



MINERALOGIA MAGNÉTICA DOS SEDIMENTOS FLUVIAIS DA COSTA DO PERU: RESULTADOS PRELIMINARES

Plinio Jaqueto¹, Grasiene Luz Mathias¹, Ricardo I. V. Trindade¹, Dimitri Gutierrez^{2,4},
Sifeddine, A.^{3,4,5}, Maria Morales⁶

¹Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo,
Brasil

²Instituto del Mar del Peru (IMARPE), Peru

³Department of Geochemistry, University Federal Fluminense (UFF), Brazil

⁴LOCEAN, Institute of Research for development (IRD), France

⁵LMI "PALEOTRACES" (IRD-UFF-UANTOF)

⁶Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMET-Peru)

Resumo

Uma boa caracterização da mineralogia magnética permite o reconhecimento de diferentes fácies nas sequencias sedimentares marinhas que podem refletir em mudanças na fonte e contribuir para a descrição de paleoambientes. Neste trabalho foi feita uma caracterização mineralógica dos sedimentos fluviais da costa do Peru através de um conjunto de 25 amostras coletadas em dez rios que deságuam na plataforma continental peruana entre as latitudes 11.5°S e 8.5°S com o intuito de melhor entender o sistema climático e paleoceanográfico da região através de correlação com dois testemunhos coletados no talude continental. Para as mudanças de tamanho de grãos e do tipo de mineral magnético foram utilizados parâmetros de magnetismo ambiental como suscetibilidade magnética (χ), ARM₁₀₀ (Magnetização Remanente Anisterérica), IRM (Magnetização Remanente Isotermal) ARM/ χ vs ARM. Os resultados para todos os rios analisados são bastante similares e a fonte foi caracterizada através do material de baixa coercividade, o qual foi encontrado em baixa concentração no sedimento. Curvas termomagnéticas de baixas e altas temperaturas mostram transições de Verwey (-153°C) e temperatura de Curie (580°C) bem definidas, o que caracteriza magnetita pura ou titanomagnetitas com baixo teor de Titânio.

Abstract

The characterization of magnetic minerals allows the recognition of strata with different mineralogical composition in marine sedimentary sequences that may reflect changes in the source and contributes to the description of paleoenvironments. Therefore, in this article we characterize the magnetic fingerprint of continental fluvial sources of the Peruvian coast, beginning with 25 samples collected in ten rivers that flow into the Peruvian continental shelf, between the latitude of 11.5°S and 8.5°S. By doing so, we aimed to better understand the climatic and ancient oceanographic system by correlating it with two cores collected in the continental slope. For the changes in the size of magnetic grains and the type of magnetic minerals we used parameters such as magnetic susceptibility (χ), Anhysteretic Remanent Magnetization (ARM), Isothermal Remanent Magnetization (IRM), ARM% [(ARM10/ARM100).100], HIRM [Hard IRM=(IRM1000mT - IRM-300mT)/2], S-Ratio[IRM-300mT/IRM1000mT], ARM/IRM and IRM1000mT/ χ . Results for all river sediments are very similar, being characterized by the dominance of a low coercivity source, found in low concentration in the sediments. Thermomagnetic curves for high and low temperatures typically show well-defined Verwey transitions (-153°C) and Curie temperature (580°C), which characterizes pure magnetite or low-Ti titanomagnetites.

Introdução



Os parâmetros de magnetismo ambiental têm se mostrado uma ferramenta muito eficaz no monitoramento de paleoambientes, e muitas vezes são capazes de detectar pequenas diferenças de concentração dos portadores magnéticos (Roberts *et al.*, 1995). Mudanças no paleoambiente deposicional podem influenciar a concentração, o tamanho e o tipo dos minerais magnéticos nos solos ou em uma sequência sedimentar. Isso porque os diferentes minerais magnéticos (óxidos, hidróxidos e sulfetos de ferro e titânio) são bastante sensíveis ao ambiente redox do meio em que se depositam e sua concentração e distribuição granulométrica dependem fortemente dos processos de transporte e deposição e, em alguns casos, da diagênese. As propriedades magnéticas dos grãos variam várias ordens de grandeza e são facilmente estudadas usando as técnicas clássicas de magnetismo de rochas, desenvolvidas inicialmente para dar suporte aos trabalhos paleomagnéticos. Segundo Evans (2003) os estudos de *magnetismo ambiental* podem ser úteis na paleoreconstrução de oceanos e sistemas de correntes, no monitoramento do material particulado carregado pela atmosfera (*dust*), na estimativa da taxa de acumulação de sedimentos e na identificação de suas diferentes fontes.

Ao tentar determinar as diferentes contribuições detríticas em sedimentos marinhos, é fundamental conhecer as características das diferentes fontes. No talude continental do Peru, estudos magnéticos preliminares revelam fortes variações nas propriedades magnéticas dos sedimentos depositados ao longo dos últimos milênios (Mathias *et al.*, 2010). Essas variações estão, em parte, correlacionadas a importantes mudanças na composição química e no conteúdo fóssilífero encontrado nos mesmos testemunhos. (Gutierrez *et al.*, 2006, 2009). Essas mudanças na mineralogia magnética e nas características geoquímicas ao longo da plataforma continental do Peru, por sua vez, foram impulsionadas por variações no clima, que afetam as diferentes fontes de sedimento, tanto no continente emerso, quanto na margem continental.

Nesse trabalho foi feita uma caracterização das propriedades magnéticas das fontes continentais que alimentam o talude continental do Peru. Para tal, foram coletadas 25 amostras em dez rios que se encontram entre as latitudes 8.5°S e 11.5°S e as longitudes 77°W e 79°W (Figura 1). O controle da mineralogia magnética nos sedimentos fluviais foi feito através da suscetibilidade magnética (χ), magnetização remanente anisterética (ARM) e do método proposto por Vigliotti *et al.* (2008). Curvas de magnetização remanente isotermal (IRM) estão sendo obtidas, e uma vez concluída as medidas, serão calculados os parâmetros magnéticos ARM% $[(ARM_{10}/ARM_{100}).100]$, HIRM [$Hard\ IRM = (IRM_{1000mT} - IRM_{300mT})/2$], Razão-S $[IRM_{300mT}/IRM_{1000mT}]$, ARM/IRM e IRM_{1000mT}/χ . Com o objetivo de melhor caracterizar o portador magnético, foram obtidas curvas termomagnéticas de alta e baixa temperaturas e curvas de histerese.

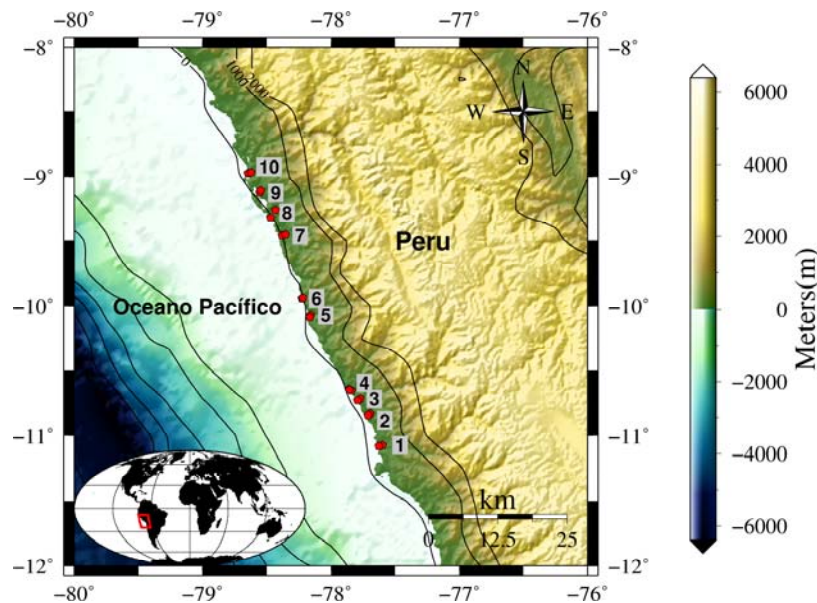


Figura 1: Área de estudo. Os locais de coleta referentes a cada rio estão representados pelos pontos vermelhos. Os rios foram

Metodologia

Os parâmetros magnéticos são uma valiosa ferramenta no monitoramento das variações que podem ocorrer para pequenas diferenças de concentração dos portadores magnéticos (Roberts *et al.*, 1995). Neste trabalho, as variações no conteúdo ferromagnético serão feitas através do monitoramento dos parâmetros dependentes da concentração: suscetibilidade magnética (χ), magnetização remanente anisterética (ARM) e magnetização remanente isothermal (IRM) e HIRM [$Hard\ IRM = (IRM_{1000mT} - IRM_{-300mT})/2$]. A IRM foi induzida a 1000 mT e então magnetizada na direção oposta com um campo de -300 mT [IRM_{1000mT} , IRM_{-300mT}], os quais também representam variações na concentração dos minerais ferromagnéticos ao longo da sequência. Variações no tamanho dos grãos magnéticos serão controladas pelos parâmetros $ARM\%[(ARM_{10}/ARM_{100}) \times 100]$ e ARM/IRM , bem como através do método sugerido por Vigliotti *et al.* (2008). Mudanças na coercividade devidas a variações na proporção entre magnetita e hematita serão identificadas através da Razão-S [$IRM_{-300mT} / IRM_{1000mT}$] e o parâmetro IRM_{1000mT}/χ reflete mudanças no conteúdo de greigita. Curvas de aquisição de ARM, obtidas através da aplicação de campos alternados cada vez mais elevados concomitantemente a um campo direto, permitem investigar o espectro de coercividade dos minerais magnéticos. Outra ferramenta que será utilizada no controle da mineralogia magnética ao longo da sucessão sedimentar são as curvas de aquisição de IRM, que através da aplicação de campos cada vez mais altos em uma amostra permite identificar o ponto em que ocorre a saturação dos minerais magnéticos e, conseqüentemente, os portadores magnéticos das amostras. Além disso, foram efetuadas curvas termomagnéticas, as quais podem mostrar transições importantes de suscetibilidade em baixa temperatura (magnetita: transição de Verwey em 120K/-153°C; hematita: transição de Morin em 258K/-15°C) e em alta temperatura (temperatura de Curie da magnetita: 580°C; temperatura de Néel da hematita: 680°C).

Antes de efetuar as análises magnéticas, os sedimentos foram quarteados para que as amostras guardassem representabilidade, mesmo nas pequenas frações utilizadas nas análises seguintes. Posteriormente, as amostras foram separadas, uma parte foi utilizada para obtenção das curvas termomagnéticas e a outra foi colocada em resina plástica para que fossem feitos os processos de desmagnetização e aquisição ARM, para obtenção dos parâmetros magnéticos. As medidas de suscetibilidade foram feitas no Kappabridge MFK1-FA da AGICO nas frequências 976Hz (*low-field*), 3904Hz e 15616Hz (*high-field*). A aquisição de ARM foi realizada no LDA-3A AF *Demagnetizer* da AGICO com os passos 2, 4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35,



40, 50, 60, 70, 80, 90, 100mT, sob um campo direto de 0,05mT (50 μ T). As medidas da magnetização foram efetuadas no magnetômetro *JR-6A Dual Speed Magnetometer* da AGICO e para desmagnetização AF (Alternate Field) da ARM utilizou-se o desmagnetizador Molspin pertencente ao laboratório do IAG-USP sob os mesmos passos da aquisição. As curvas termomagnéticas de suscetibilidade foram obtidas com o susceptômetro Kappabridge KLY4 da AGICO com temperaturas variando de -192°C até 700°C e taxa de aquecimento de 11°C/min.

Resultados preliminares e discussão

Os valores de suscetibilidade variam de 0.2×10^{-6} a $17 \times 10^{-6} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. O valor médio para o conjunto de 25 amostras é $5.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. (Figura 2).

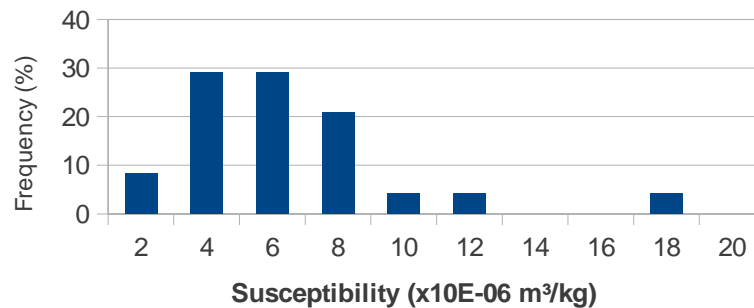


Figura 2: Histograma de suscetibilidade para as 25 amostras.

As curvas termomagnéticas revelam que o principal portador em todas as amostras analisadas é a titanomagnetita com pequena quantidade de titânio ou magnetita pura, com pico de Verwey bem definido a cerca de -150°C e temperatura de Curie em torno de 580°C (Figura 3)

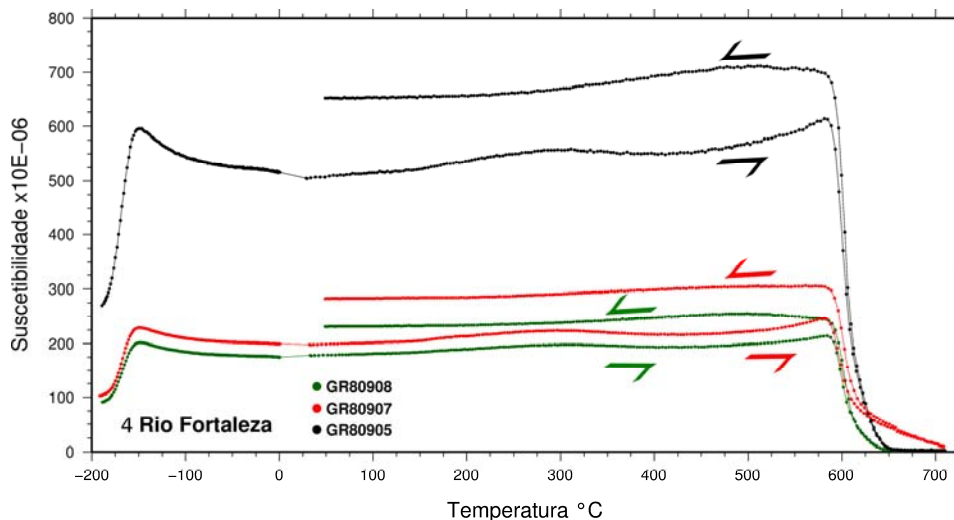


Figura 3: Curvas termomagnéticas para o rio Fortaleza, onde se observa a transição de Verwey bem definida (-153°C) e a temperatura de Curie em torno de 580°C. As curvas sugerem a presença de uma pequena quantidade de hematita (680°C).



O parâmetro ARM é particularmente sensível a grãos de magnetita de fração fina para grãos monodomínio (SD) e pouco sensível para grãos pseudo-monodomínio (PSD) (King *et al.*, 1982). A curva de aquisição de ARM para as 25 amostras mostra um comportamento uniforme, com a perda de mais da metade de magnetização entre 20 e 50 mT (Figura 4). Esse comportamento foi encontrado para todos os rios, com exceção do rio Fortaleza, o que sugere uma estabilidade magnética na fonte do material.

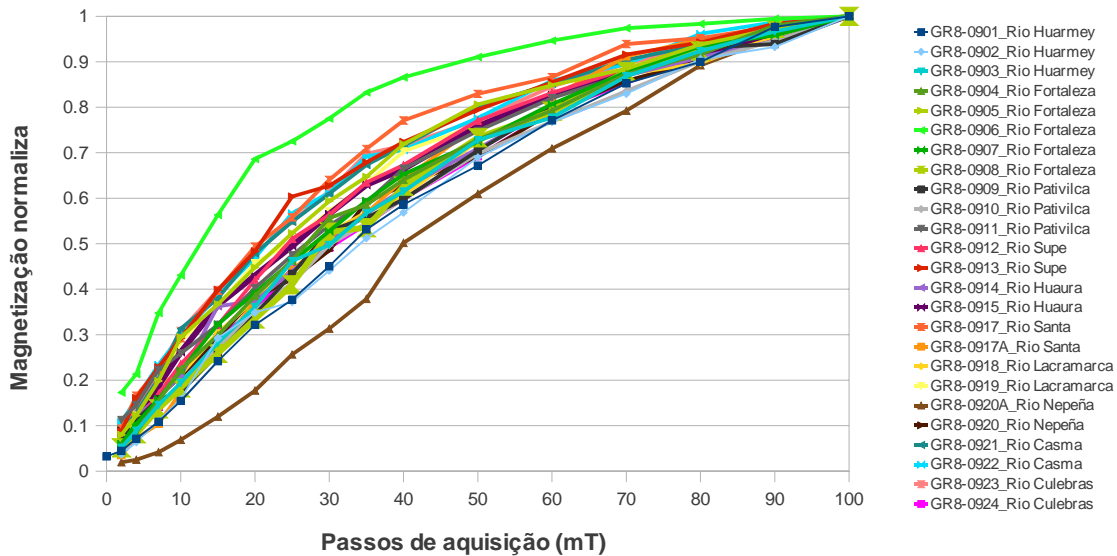


Figura 4: Curva de aquisição de ARM para cada amostra. Normalizada feita em relação ao valor máximo de magnetização de cada amostra.

Para visualizar a ARM_{100mT} foi feito um histograma no qual os valores menores indicam grãos mais grossos e conforme os valores aumentam têm-se grão mais finos. O valores variam de $3.6 \cdot 10^{-5}$ a $3.29 \cdot 10^{-4} \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ e o valor médio encontrado foi de $13 \cdot 10^{-5} \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ (Figura 5). A maioria das amostras apresentou valores de ARM_{100mT} próximos de $15 \cdot 10^{-5} \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ o que sugere o predomínio de comportamento PSD.

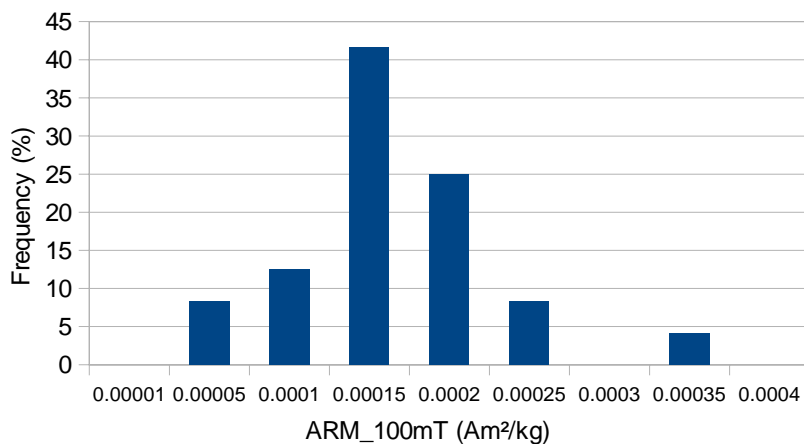


Figura 5: Histograma das 25 amostras para a ARM adquirida a 100mT com campo constante de $50\mu T$.

A razão ARM/κ vs ARM foi plotada na tentativa de entender melhor a variação de grãos mais finos em relação ao aumento da concentração de minerais magnética no sedimento. A suscetibilidade magnética (κ) é mais sensível a mudanças em grãos mais grossos, ou seja, partículas multidomínio (Vigliotti *et al.*, 2008) e o parâmetro ARM/κ revela mudanças na concentrações dos grãos magnéticos no sedimento (Figura 6).



Assim, uma diminuição do tamanho do grão irá sugerir um aumento em razões onde ARM está no numerador.

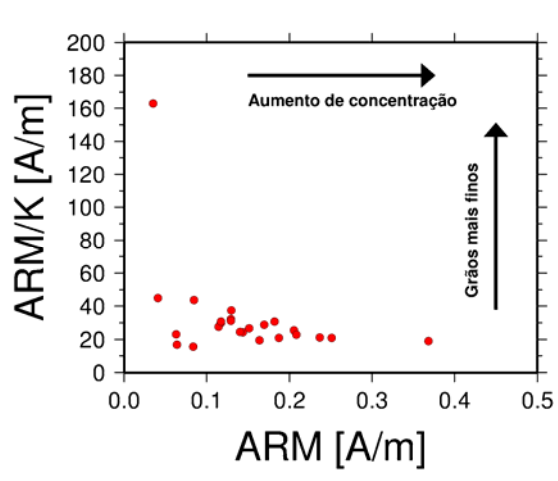


Figura 6: ARM/k vs ARM para 25 amostras refletindo o aumento de concentração de minerais magnéticos em função da diminuição do tamanho do grão.

Os dados apresentados anteriormente foram os primeiros resultados obtidos para a caracterização magnética dos sedimentos dos rios da costa do Peru. Atualmente estão sendo efetuadas curvas de aquisição de IRM para que sejam calculadas as outras razões necessárias na determinação do tamanho dos grãos e o tipo de material magnético carregado por esses rios. Posteriormente, os resultados serão comparados com dados de mineralogia magnética obtidos em sedimento marinhos de dois testemunhos coletados no talude continental na mesma região.

Referências

- Evans, M. E., 2003, Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics. Academic Press.
- Gutiérrez, D., Sifeddine, A., Field, D. B., Ortlieb, L., Vargas, G., Chávez, F. P., et al., 2009. Rapid organization in ocean biogeochemistry off Peru towards the end of the Little Ice Age. *iogeosciences*, 6, 835-848.
- Gutiérrez, D., Sifeddine, A., Reyss, J.L., Vargas, G., Salvatecci, R., Ferreira, V., Ortlieb, L., Field, D., Baumgartner, T., Boussafir, M., Boucher, H., Valdes, J., Marinovic, L., Soler, P., Tapia, P., 2006. Anoxic sediments off central Peru record interannual to multidecadal changes of climate and upwelling ecosystem during the last two centuries. *Advances in Geosciences* 6, 119–125.
- King, J.W., Banerjee, S.K., Marvin, J., Özdemir, Ö., 1982. Comparison of different magnetic methods for determining the relative grain size of magnetite in natural materials: some results from lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 404-419, 1982.
- Mathias, G. L. ; Trindade, R. I. F. ; Valazco, F. ; Gutierrez, D. ; Salvatecci, R. ; Sifeddine, A., 2010 . Magnetic fingerprint of the end of little ice age in laminated sediments of the peruvian continental shelf. In: AGU-2010 Meeting of the Americas, Foz do Iguacu/PR. CD-R
- Roberts, A.P., Cui, Y., Verosub, K.L., 1995. Wasp-waisted hysteresis loops: Mineral magnetic characteristics and discrimination of components in mixed magnetic systems. *Journal of Geophysical Research*, 92, 8077-8088.
- Vigliotti L., K.L. Verosub, A. Cattaneo, F. Trincardi, A. Asioli and A. Piva. 2008. Palaeomagnetic and rock magnetic analysis of Holocene deposits from the Adriatic Sea: detecting and dating short term fluctuations in sediment supply. *The Holocene* 18, 1, 141-152.
- Wessel, P., and W. H. F. Smith, 1995, The Generic Mapping Tools (GMT) version 3.0 Technical Reference & Cookbook, SOEST/NOAA.