

Trama magnética inversa um possível indicador de campo de esforços: o exemplo do enxame de diques Rio Ceará Mirim, Nordeste do Brasil.

Marcelus Glaucus de Souza Araújo¹; Carlos José Archanjo²
 1-Doutorando IGC/USP - marcelus@usp.br; 2- GMG/IGC/USP - archan@usp.br
 Pesquisa financiada pela FAPESP (Processo: 98/13250-3)

Introdução

A anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM) vem sendo utilizada com frequência no estudo de alojamento de diques máficos em diferentes contextos geotectônicos (Knight e Walker, 1988; Raposo e Ernesto, 1995; Rochette *et al.* 1999; Archanjo *et al.*, 2000). O modelo geral para a interpretação da trama magnética (trama normal) considera que a susceptibilidade máxima (k_1 , $k_1 > k_2 > k_3$) é paralela a direção de fluxo enquanto que a susceptibilidade mínima (k_3) está disposta perpendicularmente à parede dos diques.

Todavia, tramas magnéticas anormais (trama inversa - k_1 e k_3 são simetricamente invertidas e trama intermediária - k_1 e k_2 ou k_2 e k_3 são permutadas) são observadas em diferentes situações geológicas (Rochette *et al.*, 1992; Raposo e Ernesto, 1995), por vezes, compreendendo metade dos sítios amostrados. As tramas inversas podem ser interpretadas como: 1) modificações posteriores ao alojamento dos diques a partir do resfriamento ou *stress* tectônico (Elwood, 1978; Park *et al.*, 1988); 2) ocorrências de partículas magnéticas tipo domínio simples (SD; Day *et al.*, 1976) que portam trama inversa inerente (Stephenson *et al.*, 1986) ou; 3) feição primária relacionada ao fluxo de partículas que rotacionou livremente num fluido viscoso (Dragoni *et al.*, 1997).

Nesta síntese discutiremos mais detalhadamente o comportamento da trama magnética inversa, que corresponde a 33% dos 57 sítios de amostragem do Enxame de Diques Rio Ceará Mirim (EDCM). No EDCM, a trama normal corresponde a 49% dos sítios e os demais representam trama intermediária (k_2 se encontra agrupado) ou aleatória sem interpretação geológica.

Geologia

O EDCM, no NE do Brasil, e o magmatismo ácido a básico ao norte da Fossa de Benue, na Nigéria, representam as principais atividades magmática que precederam a abertura do Oceano Atlântico Equatorial (Sial, 1976; Maluski *et al.*,

1995), possivelmente relacionados à migração do *hot spot* de Santa Helena, entre 130 e 120 Ma (Morgan, 1983; O'Connor e Le Roex, 1992). O EDCM compreende diques de diabásio a dois piroxênios, predominantemente subverticais intrusos em terrenos da Província Borborema e da Bacia Potiguar (Asmus e Guazelli, 1981 *apud* Oliveira, 1992). O arranjo geométrico do enxame se dá em 4 sub-enxames, paralelos entre si, sob a forma de semi-arco, com extensão máxima superior a 500 km, abrangendo área dos Estados do RN e CE. Na porção oriental do enxame, os diques preenchem um conjunto de fraturas *en-échelon* de direção E-W, já na porção ocidental, estes se alinham na direção NE-SW, tornando-se paralelos à direção dos riftes das bacias interioranas do nordeste brasileiro (Oliveira 1992). Os diques apresentam, em geral, textura sub-ofítica a intergranular, de granulação fina a média, onde os grãos de plagioclásio subcálcico, augita, pigeonita, minerais opacos e raramente olivina se dispõem na matriz da rocha. Calcita e clorita são os principais minerais de alteração. O primeiro substitui parcial ou completamente o plagioclásio e o segundo é visto como resultante da reação dos opacos (magnetita pobre em Ti e mais raramente ilmenita) com outros minerais da matriz da rocha.

Mineralogia dos Óxidos

A magnetita pobre em Ti é o mineral responsável pelas propriedades magnéticas dos diques máficos. Este óxido ocorre como: i) cristais euédricos a subédricos (100 μm) contendo pequenas inclusões de silicatos e por vezes apresentando contatos embainhados típicos de processo de alteração em estado *sub-solidus*; ii) cristais aciculares, por vezes mostrando morfologia de crescimento esquelético e; iii) como pequenos grãos circundando os silicatos e dispersos na matriz alterada, sugestivo de origem secundária. Dados de geotermometria para o par magnetita-ilmenita apontaram dois intervalos de cristalização; o primeiro superior a 1200°C e o

segundo entre 700 e 750°C (Bellieni *et al.* 1992). Embora, no trabalho citado não haja uma discussão sobre os processos de cristalização dos opacos, os dados sugerem processos distintos para geração dos mesmos.

Anisotropia de Susceptibilidade Magnética

Para a caracterização dos parâmetros magnéticos do EDCM foram efetuadas 223 medidas de anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM) distribuídas entre os sub-enxames I a IV. A média da susceptibilidade magnética (SM_m) é de $5,61 \times 10^{-2}$ SI, com agrupamento preferencial entre $4,0$ e $6,0 \times 10^{-2}$ SI. Os elevados valores da (SM_m) reforçam a existência de minerais ferrimagnéticos no EDCM. Análises de curvas termomagnéticas e do padrão de histerese revelaram que a magnetita pseudomonodomínio (PSD) pobre em titânio controla a intensidade da SM. Maghemita foi também detectada em algumas curvas termomagnéticas, porém sua contribuição à SM total é secundária.

Tramas Magnéticas

A formação da trama magnética normal é geralmente relacionada ao fluxo magmático (Rochette *et al.* 1999). No EDCM a foliação magnética (FM) é sub-paralela à parede dos diques (ângulo inferior a 35°) e lineação magnética (LM) sub-horizontal. Em alguns diques situados em torno da cidade de Lajes-RN (sub-enxames II e III) e na Serra de Santana (sub-enxame IV) a LM verticaliza-se, indicando uma zona de fluxo vertical. Na trama normal o padrão dominante do elipsóide de ASM é do tipo oblato e o grau de anisotropia é inferior a 1,04. A correlação a LM vertical com uma zona de alimentação magmática foi testada através do estudo das bordas resfriadas (Knight e Walker, 1988) em um dique situado a Sul de Lajes. O mergulho para o centro do dique da lineação não é compatível com fluxo ascendente, indicando que o resfriamento da borda do dique teria ocorrido durante retro-fluxo de magma.

A trama inversa caracteriza-se pela presença da LM com mergulho suave sub-perpendicular à parede do dique (principalmente no sub-enxame I e II). Regionalmente, as lineações estão alinhadas para N-NE na parte leste do enxame e para N-NW na parte oeste. Neste tipo de arranjo, a FM apresenta mergulhos em geral suaves ou, em poucos casos, forte mergulho perpendicular à direção do dique. O elipsóide de ASM pode ser tanto oblato quanto prolato, e o grau de anisotropia é normalmente inferior ao das tramas normais.

A relação entre a trama magnética inversa e a trama de silicatos foi estudada através da análise

digital de imagens. Em três seções perpendiculares de cilindros utilizados para ASM foram identificados e classificados o plagioclásio, o piroxênio e os minerais opacos. Cada fase classificada foi isolada das demais e, através do cálculo do tensor de inércia, determinado a magnitude e orientação da elipse de forma (Launeau e Cruden, 1998). Da combinação de três elipses mutuamente ortogonais foi determinado o elipsóide de forma da população e comparado ao elipsóide de ASM. A trama de forma é mais intensa no plagioclásio que nos piroxênio e nos opacos, refletindo a maior relação de forma dos feldspatos. Nesta população a trama é normal, isto é, as ripas de plagioclásio alinham-se paralelamente ao plano do dique. Os piroxênios normalmente apresentam tramas definidas, sistematicamente oblíquas com respeito a trama de plagioclásio. O baixo grau de orientação preferencial de forma dos minerais opacos implicou em tramas mal definidas. Em amostras com trama definida, a lineação de opacos é perpendicular ou fortemente oblíqua ao plano do dique. A trama dos opacos, nestes casos, é sub-paralela a trama magnética inversa.

Conclusão

Conforme o exposto, finas partículas ferrimagnéticas com estrutura pseudomonodomínio governam a coercividade e a remanescência magnética dos diques. Os grãos, identificados através dos parâmetros de histerese, variam entre 0,1 a 10 μm (Banerjee 1994), não sendo detectados ao microscópio ótico. Os opacos em discussão são encontrados como inclusões na matriz silicática, ou como produto de oxidação a baixa temperatura afetando principalmente os piroxênios. Dessa forma, é provável que nas tramas inversas, k_1 tenha se alinhado conforme a direção da extensão regional (σ_3) e, por conseguinte, a recristalização tardia deve ter ocorrido sob tensão, registrada nessa trama magnética do EDCM.

Referências:

- Archanjo C.J. (*et al.*), 2000, *J. South Amer. Earth Sci.*, 13: 179-189.
- Banerjee, S.K., 1994, *J. Appl. Phys.*, 75: 5925-5930.
- Bellieni, G. (*et al.*), 1992, *Chemical Geology*, 97: 9-32.
- Day, R. (*et al.*), 1976, *J. of Geophys. Res.*, 81: 873-880.
- Dragoni, M. (*et al.*), 1997, *Geophys. J. Inter.*, 128: 230-240.
- Elwood, B.B., 1978, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 41: 254-264.

- Knight, M.D. (Walker, G.P.L.), 1988, *J. of Geophys. Res.*, 93: 4301-4319.
- Launeau, P. (Cruden, A.R.), 1998, *J. of Geophys. Res.*, 103: 5067-5089.
- Maluski, H. (*et al.*), 1995, *J. of the Geological Soc. London*, 152: 311-326.
- Morgan, J.W., 1983, *Tectonophysics*, 94: 343-364.
- O'Connor, J.M. (Le Roex, A.P.), 1992, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 113: 343-364.
- Oliveira, D.C. 1992, O papel do Enxame de Diques Rio Ceará Mirim na evolução tectônica do Nordeste Oriental (Brasil): implicações na formação do Rift Potiguar, Ouro Preto.
- Park, J. K. (*et al.*), 1988, *J. of Geophys. Res.*, 93: 13.689-13.704.
- Raposo, M.I.B. (Ernesto, M.), 1995, *Phy. Earth Planet. Inter.*, 87:183-196.
- Rochette, P. (*et al.*), 1992, *Reviews in Geophysics*, 30:209-226.
- Rochette, P. (*et al.*), 1999, *Tectonophysics*, 307:219-234.
- Sial, A.N., 1976. *Anais da Acad. Bras. de Ciênc.*, 48: 299-311.
- Stephenson, A. (*et al.*), 1986, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 84: 185-200.