

## PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DAS ROCHAS VULCÂNICAS MESOZÓICAS DA BACIA DO MARANHÃO

SÔNIA DIAS CAVALCANTI GUERREIRO

Departamento de Geofísica – Centro de Geociências  
Universidade Federal do Pará  
Caixa Postal 1611 – 66000 Belém – PA – Brasil

AXEL SCHULT

Institut Für Allgemeine Und Angewandte Geophysik Universität München  
Theresienstr. 41 – 8000 München 2 – Alemanha Ocidental

Two palaeomagnetic poles were determined from, respectively, 113 samples of Jurassic volcanic rocks, lying in the western part of Maranhão Basin (Porto Franco-Estreito) and 157 samples of sills and dikes of Lower Cretaceous age (Teresina-Picos-Floriano) from the eastern part. The rock magnetic studies of these samples are presented in this paper.

Analysis of the magnetic minerals of the samples by thermomagnetic curves and X-ray diffraction yielded, in most cases titanomagnetites with poor titanium content as well as a phase near ilmenite. This can be interpreted as high temperature oxidation during rock formation. Generally determined Curie temperatures lay between 500-600°C. All titanomagnetites are more or less low temperature oxidized (magnetized). The oxidation is more advanced in the samples from the western part of the Maranhão basin than from the eastern part. The composition of the titanomagnetites is distributed along an "oxidation line" in the ternary system with a trend showing loss of iron with increasing oxidation.

### INTRODUÇÃO

A Bacia sedimentar do Maranhão, localizada entre os escudos Costal e Central Brasileiro, cobre uma área de aproximadamente 600.000km<sup>2</sup>. Corpos intrusivos como soleiras e diques ocorrem preferencialmente na borda oriental, enquanto os derrames são mais freqüentes na borda ocidental da bacia. Estas ocorrências estão relacionadas ao estágio de Reativação da Plataforma Sul Americana, caracterizado por Almeida (1969) e se relacionam ao desmembramento do Gondwana.

Neste trabalho foram estudadas as propriedades magnéticas de amostras de derrames da região de Porto Franco (6.3°S, 47.4°W) e Estreito (6.5°S, 47.5°W) localizadas na parte oeste da bacia e os corpos intrusivos da região de Teresina (5.1°S, 47.8°W) – Picos (7.1°S, 41.5°W) e Floriano (6.8°S, 43°W), no lado oriental (Fig. 1). Estudos paleomagnéticos sobre estas formações foram efetuados por Schult & Guerreiro (1979) e Guerreiro (1983).

As amostras da área de Porto Franco e Estreito apresentam idade K-Ar entre 147-172 m. a. (Jurássico) enquanto as da margem este foram datadas em 120 m. a. (Cretáceo) segundo Caldasso & Hama (1978).

### MEDIDAS DE PROPRIEDADES MAGNÉTICAS

As medidas de magnetização remanente natural (NRM) dessas amostras foram efetuadas por meio de um magnetômetro rotativo tipo "fluxgate" acoplado a um

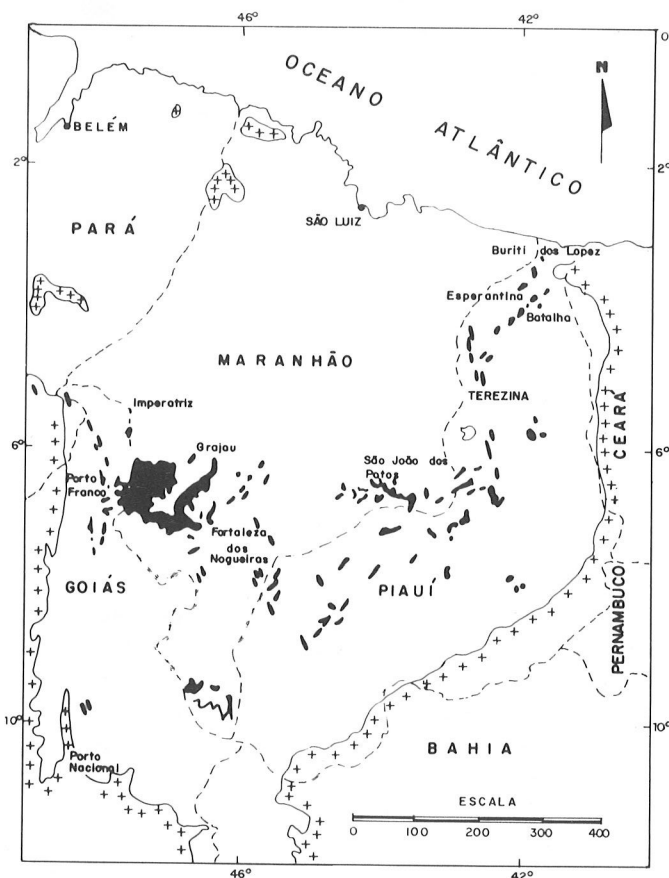


Figura 1 – Mapa esquemático da área, segundo Sial (1975). As manchas escuras simbolizam ocorrências de rochas basálticas na Bacia do Maranhão.

mini-computador. O equipamento (DIGICO) tem sensibilidade de ordem de  $10^{-7}$  Gauss para amostras de 2.5 cm de diâmetro e 2.5 cm de altura. A intensidade média da NRM das amostras de borda ocidental, variou entre 0.5 e 5 mG enquanto que a borda oriental apresentou valores entre 10 e 100 mG. A eliminação de magnetizações secundárias foi feita através da desmagnetização por campo magnético alternado até a intensidade de 1000 Oe.

As medidas de magnetização de saturação específica e de temperatura de Curie foram efetuadas por meio de uma balança de translação de registro automático. O campo magnético indutor usado no aparelho foi de 1800 Oe ( $1 \text{ Oe} = 10^3/4\pi \text{ A m}$ ). A temperatura variou de  $10^\circ\text{C}$  a  $600^\circ\text{C}$ , segundo uma razão de  $20^\circ\text{C}/\text{minuto}$ . A massa da amostra variou entre 100-200 mg. O experimento foi efetuado no ar tendo sido usada amostra de rocha total.

As determinações das dimensões da rede cristalina foram efetuadas pelo método de difração em raio-X, por meio da câmara de Debye-Scherrer com 114.83 mm de diâmetro e radiação de cobalto. Os minerais magnéticos foram separados por meio de um ímã de mão depois de as amostras terem sido pulverizadas até um diâmetro da ordem de  $20\mu\text{m}$ . Foi usada acetona para a lavagem dos grãos devido à sua alta razão de evaporação, permitindo que o material fosse manuseado, já seco, num curto intervalo de

tempo. Este processo de enriquecimento foi repetido duas vezes para se obter uma melhor resolução.

Para este trabalho foi estudada uma amostra de cada sítio visitado. A localização exata dos sítios é dada no trabalho de Guerreiro (1983). O primeiro número usado na identificação das amostras refere-se ao sítio, o segundo às amostras e o terceiro, quando houver, aos espécimes de uma mesma amostra.

Os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA REGIÃO DE PORTO FRANCO-ESTREITO

As amostras que apresentaram boa resolução nas medidas de raio-X, possibilitando a determinação das dimensões da rede cristalina do sistema espinélio, estão plotadas nos diagramas das Figs. 2 e 4. Nestes diagramas estão indicados os principais sistemas de minerais portadores de remanência.

As Figs. 2 e 4 destacam o quadrilátero  $\frac{1}{3}\text{Fe}_3\text{O}_4$  -  $\frac{1}{3}\text{Fe}_2\text{TiO}_4$  -  $\frac{1}{3}\text{Fe}_2\text{TiO}_5$  -  $\frac{1}{2}\text{Fe}_2\text{O}_3$  onde estão localizados os mais importantes minerais magnéticos dentro do diagrama.

**Tabela 1** — Resultados das propriedades magnéticas das amostras de Porto Franco e Estreito. O número antes da barra indica o sítio e o segundo número a amostra relativa ao sítio indicado.

AMOSTRA Nº	T <sub>c</sub> (1) °C	I <sub>s</sub> (2) G cm <sup>3</sup> /g	Composição (3) Raio-X	a (4) Å	NRM (5) mG	MDF (6) Oe
1/1	530 (520)	1.05	TiMt	8.392±0.002	1.30	260
2/5	. . . (540)	0.12	TiMt+Hm	8.400±0.005	0.60	320
3/5	370/550 (510)	0.88	TiMt+Il	8.417±0.002	1.50	150
4/5	570 (570)	0.08	TiMt+Hm	. . .	0.75	500
5/5	540 (525)	1.40	. . .	. . .	0.45	200
6/1	410/550 (530)	0.64	TiMt+Hm	8.358±0.003	0.30	130
7/5	530 (510)	0.97	TiMt	8.364±0.003	0.80	460
8/1	570 (563)	0.63	. . .	. . .	1.15	380
9/5	600 (590)	0.56	. . .	. . .	3.80	400
10/1	340/560 (540)	0.50	TiMt+Il+Hm	8.355±0.006	0.55	180
11/5	555 (530)	0.31	TiMt+Hm	8.384±0.001	6.40	100
12/1	555 (535)	0.48	TiMt+Hm	8.375±0.005	0.25	620
13/5	565 (545)	0.44	. . .	. . .	4.70	500
14/1	580 (580)	0.11	TiMt+Hm	. . .	2.00	450
15/1	550 (540)	0.16	TiMt+Hm	. . .	0.50	350
16/1	590 (590)	0.32	. . .	. . .	0.70	200

(1) T<sub>c</sub> : temperatura de Curie obtida pela curva de aquecimento. Os resultados entre parênteses dizem respeito à curva de resfriamento.

(2) I<sub>s</sub> : magnetização de saturação específica, da rocha total, à temperatura ambiente (curva de aquecimento).

(3) TiMt : titanomagnetita, Mt: magnetita. Il: ilmenita, Hm: hematita.

(4) a : dimensões da rede cristalina para a fase cúbica titanomagnetita ou maguemita.

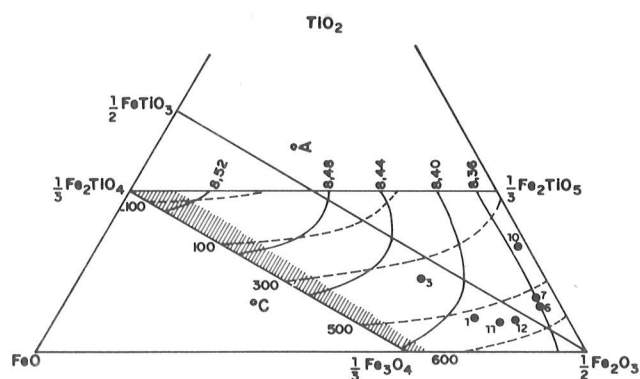
(5) NRM: magnetização remanente natural (intensidade).

(6) MDF : campo destruidor médio.

**Tabela 2** — Resultado das propriedades magnéticas das amostras de Teresina-Picos-Floriano. O número antes da barra indica o sítio e o segundo número a amostra relativa ao sítio indicado.

AMOSTRA Nº	T <sub>c</sub> (1) °C	Is (2) 10 <sup>-1</sup> Gcm <sup>3</sup> /g	Composição (3) Raio-X	a (4) Å	NRM (5) mG	MDF (6) Oe
17/10	535 (535)	2.5	Mt+Il	8.403±0.002	3.5	140
18/3	530 (520)	15.0	Mt+Il	8.400±0.005	75.0	150
19/3	520 (520)	4.0	Mt+Il	8.396±0.007	14.0	160
20/3	550 (540)	8.3	Mt+Il	8.403±0.006	65.0	130
21/1	530 (510)	17.5	Mt+Il	8.403±0.002	11.0	70
22/5	520 (505)	20.0	Mt+Il	8.400±0.005	35.0	100
23/2	518 (510)	17.0	Mt+Il	8.405±0.005	11.0	900
24/2	526 (520)	20.0	Mt+Il	8.408±0.007	39.0	130
25/6	512 (502)	21.2	Mt+Il	8.406±0.004	8.0	180
25-B/9	509 (503)	25.2	Mt+Il	8.398±0.005	7.5	260
26/3	532 (516)	10.5	Mt+Il	8.403±0.004	210.0	250
26-B/4	538 (516)	21.0	TiMt+Il	8.387±0.007	27.0	450
27/7	542 (527)	28.0	Mt+Il	8.398±0.005	50.0	270
28/5	542 (525)	29.3	Mt+Il	8.402±0.005	76.0	160
29/6	535 (509)	30.0	Mt+Il	8.397±0.007	45.0	190
30/5	525 (551)	21.0	Mt+Il	8.395±0.007	62.0	260
31/5	519 (512)	27.3	Mt+Il	8.409±0.002	25.0	480
32/6	530 (513)	34.5	Mt+Il	8.398±0.003	68.0	130
33/1	513 (513)	50.0	Mt+Il	8.407±0.003	5.5	330
34/1	531 (526)	21.0	Mt+Il	8.402±0.002	105.0	230
35/3	541 (532)	28.0	Mt+Il	8.393±0.005	17.0	500
36/3	544 (534)	33.0	Mt+Il	8.400±0.002	94.0	50

- (1) T<sub>c</sub> : temperatura de Curie obtida pela curva de aquecimento. Os resultados entre parênteses dizem respeito à curva de resfriamento.  
 (2) I<sub>s</sub> : intensidade da magnetização de saturação à temperatura ambiente (curva de aquecimento).  
 (3) Mt : titanomagnetita com baixo teor em Ti, de composição próxima à magnetita, Il: ilmenita.  
 (4) a : dimensão da rede cristalina para a fase cúbica titanomagnetita.  
 (5) NRM: magnetização remanente natural (intensidade)  
 (6) MDF : campo destruidor médio.



**Figura 2** — Composição das titanomaguemitas das rochas basálticas da margem ocidental da Bacia do Maranhão (Porto Franco-Estreito) calculada a partir das temperaturas de Curie e das dimensões da rede cristalina, usando as respectivas linhas de contorno, segundo O'Reilly (1976). Os pontos neste diagrama correspondem às amostras listadas na Tabela 1. Para a identificação das mesmas foi usado, nesta figura, o número antes da barra.

ma ternário FeO - TiO<sub>2</sub> - 1/2 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. O lado esquerdo do quadrilátero representa a solução sólida magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) - ulvoespínélio (Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>), ou seja, as titanomagnetitas. A base do quadrilátero representa a solução sólida entre a magnetita e a maguemita (γ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). A série ilmenita-hematita é representada pela linha FeTiO<sub>3</sub>. As composições das titanomagnetitas oxidadas (titanomaguemitas) situam-se no quadrilátero citado acima. A progressão da oxidação se dá da esquerda para a direita no diagrama (Nagata, 1953; O'Reilly, 1976). Foi preferida a representação no diagrama ternário FeO - TiO<sub>2</sub> - 1/2 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ao invés do diagrama FeO - TiO<sub>2</sub> - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> porque fornece uma escala linear para a junção FeTiO<sub>4</sub> - Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> das titanomagnetitas e as linhas de oxidação são paralelas ao segmento FeO - 1/2 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

O'Reilly (1976) ressaltou que não há um limite definido entre as titanomagnetitas e as titanomaguemitas, mas que seria conveniente restringir o termo titanomagnetita às composições localizadas na região hachuriada no diagrama da Fig. 2. Os demais óxidos de Fe-Ti do sistema es-



pinélio seriam identificados como titanomaguetitas ou titanomagnetitas oxidadas. Os diagramas permitem a determinação aproximada da composição dos minerais porque alguns elementos como Al, Mg e outros, em geral presentes nas titanomagnetitas naturais, não são considerados. Como se pode observar pela Fig. 2 as titanomaguetitas das amostras de Porto Franco e Estreito indicaram baixo teor em  $TiO_2$  e uma acentuada oxidação.

A maioria das amostras da região indicou nas curvas termomagnéticas, Fig. 3(a), a presença de uma titanomagnetita pobre em titânio de composição próxima à magnetita (Larson et al, 1969; Ozima & Larson, 1970). As temperaturas de Curie determinadas para essas amostras pela curva de aquecimento variaram entre 530-580°. O fato de se ter encontrado apenas um ponto de Curie indica a presença de uma única fase magnética com pequena variação na sua composição (Larson et al, 1969). Segundo Ade-Hall et al. (1971) a ocorrência destas curvas em rochas basálticas indica oxidação das titanomagnetitas a alta temperatura. A menor intensidade da magnetização de saturação na curva de resfriamento mostra que ocorreu, durante o processo de medida, alguma oxidação da fase próxima à magnetita para a hematita.

As curvas termomagnéticas das amostras 3/5, 6/1 e 10/1 apresentaram duas temperaturas de Curie (Fig. 3(c)). Ade-Hall et al (1965) correlacionaram o aparecimento de duas temperaturas de Curie às amostras que contivessem alguns grãos de titanomagnetita exsolvidos e outros não exsolvidos. Assim a temperatura de Curie mais baixa originou-se da titanomagnetita inicial que não se exsolveu, enquanto a mais alta foi produzida pela fase exsolvida de composição próxima à magnetita.

As curvas termomagnéticas das amostras do sítios 5, 7, 9, 12 e 16, Fig. 3(d), apresentaram, na curva de aquecimento, uma diminuição brusca na intensidade de magnetização entre 300-500°C. Isto foi interpretado como uma pseudo-temperatura de Curie, condicionada pela transformação, nesse intervalo de temperatura, da maguetita metaestável em hematita. Curvas deste tipo são típicas de amostras que sofreram oxidação de baixa temperatura (Levi & Banerjee, 1977). Observa-se nas curvas de resfriamento um decréscimo da intensidade da magnetização de saturação à temperatura ambiente, causado pela transformação irreversível da maguetita em hematita (Levi & Banerjee, 1977).

A análise apresentada acima indica que as amos-

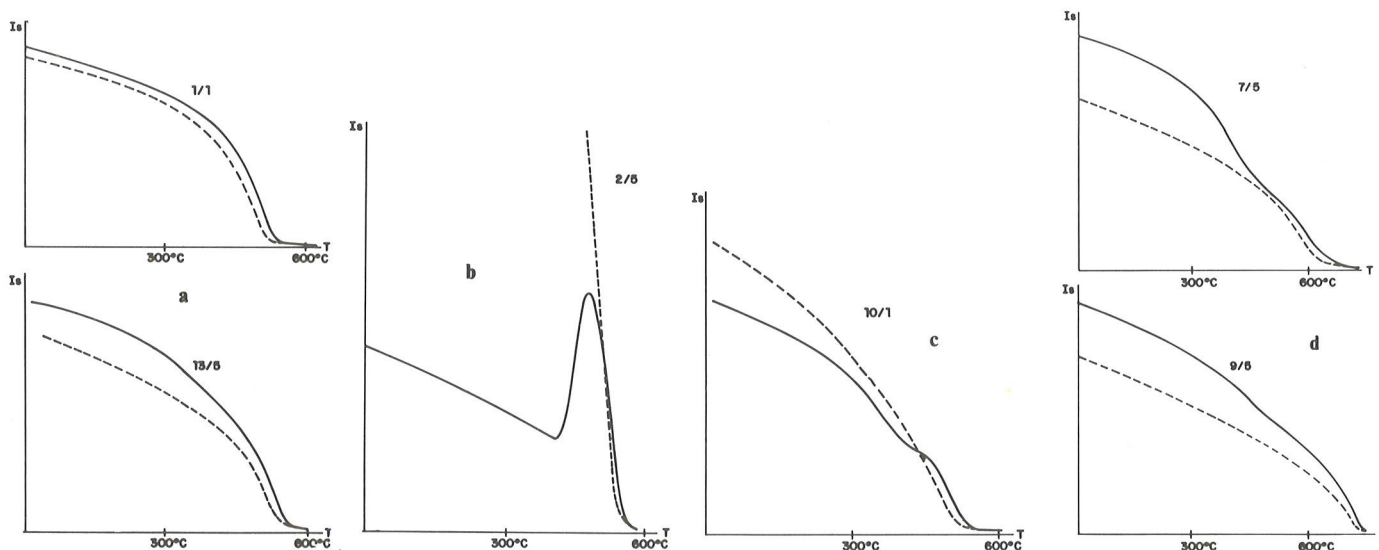


Figura 3 — Curvas termomagnéticas das amostras de Porto Franco e Estreito medidas num campo de 1800 Oe. O número antes da barra indica o sítio e o segundo número a amostra relativa ao sítio indicado. As curvas de aquecimento e resfriamento estão respectivamente indicadas pelas linhas cheia e tracejada.

As amostras dos sítios 2 e 4, Fig. 3(b) apresentaram curvas termomagnéticas caracterizadas por um acentuado aumento da magnetização de saturação com elevação da temperatura ( $\sim 500^\circ C$ ). Ozima & Ozima (1971) atribuíram este procedimento à titanomaguetita altamente oxidada que, a temperaturas superiores a  $400^\circ C$ , exsolveu-se produzindo uma composição próxima à magnetita, responsável pelo aumento observado da magnetização, e uma fase não cúbica. A  $600^\circ$  toda a titanomagnetita inicial já havia se transformado e o comportamento da curva de resfriamento foi ditado pela variação da magnetização de saturação da magnetita com a temperatura.

As amostras dos sítios 3, 6 e 10, Fig. 3(c) apresentaram duas temperaturas de Curie. Este comportamento é típico de amostras que contivessem alguns grãos de titanomagnetita exsolvidos e outros não exsolvidos. Assim a temperatura de Curie mais baixa originou-se da titanomagnetita inicial que não se exsolveu, enquanto a mais alta foi produzida pela fase exsolvida de composição próxima à magnetita.

As amostras dos sítios 5, 7, 9, 12 e 16, Fig. 3(d), apresentaram, na curva de aquecimento, uma diminuição brusca na intensidade de magnetização entre 300-500°C. Isto foi interpretado como uma pseudo-temperatura de Curie, condicionada pela transformação, nesse intervalo de temperatura, da maguetita metaestável em hematita. Curvas deste tipo são típicas de amostras que sofreram oxidação de baixa temperatura (Levi & Banerjee, 1977). Observa-se nas curvas de resfriamento um decréscimo da intensidade da magnetização de saturação à temperatura ambiente, causado pela transformação irreversível da maguetita em hematita (Levi & Banerjee, 1977).

Quanto às amostras 5/5, 7/5, 9/5, 12/1, e 16/1, que apresentaram uma curva termomagnética típica da mague-

mita (junto da magnetita), sofreram oxidação de baixa temperatura. Também as titanomaguetitas das amostras 2/5, 4/5 e, num grau menor, da amostra 3/5, foram oxidadas a baixas temperaturas. Este processo ocorrendo a temperaturas abaixo de 300°C pode dar origem a uma magnetização remanescente química (CRM) secundária. A estabilidade da magnetização adquirida dependerá das dimensões do grão magnético. Será estável e intensa se os grãos forem pequenos e instáveis e de pouca expressão se os grãos forem grandes (Ozima & Larson, 1970). Por sua vez Johnson & Merrill (1974) verificaram experimentalmente que a magnetização termoremanescente original fica preservada nos grãos de monodomínio, ao passo que a CRM adquirida pelos grãos de multidomínio é aleatória e não contribui com nenhuma componente de direção constante.

Finalmente a consistência dos resultados paleomagnéticos para a área indicaram que a CRM não perturbou seriamente a direção da magnetização termoremanescente inicial (Schult & Guerreiro, 1979; Guerreiro, 1983). Apoiando essa conclusão está a análise dos resultados da desmagnetização por campo magnético alternado, apresentados nos diagramas de Zijdeveld na Fig. 6. Como se pode observar os diagramas não variam muito entre si. A remoção de uma componente viscosa é comumente observada abaixo de 200 Oe (a curva de desmagnetização não se dirige para a origem). A partir desse valor a magnetização restante decai, então, linearmente em direção à origem e este fato é interpretado como indicativo de estar sendo removida apenas uma componente (por componente se entende um grupo de magnetizações com mesma direção e polaridade (Zijdeveld, 1967).

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA REGIÃO DE TERESINA-PICOS-FLORIANO

As titanomaguetitas das amostras de Teresina-Picos-Floriano, na margem oriental da bacia do Maranhão, mostraram-se menos oxidadas que as de Porto Franco-Estreito, na borda ocidental. A composição situa-se segundo uma linha que indica que os minerais magnéticos sofreram oxidação a baixa temperatura. A tendência geral foi uma perda de ferro com a oxidação (Fig. 4). Esta tendência tem sido frequentemente observada, particularmente em rochas basálticas oceânicas. Entretanto a oxidação a baixa temperatura não se mostrou muito avançada porque as curvas termomagnéticas discutidas mais abaixo não indicaram a ocorrência de maguetita.

Todas as amostras submetidas ao raio-X indicaram a presença de ilmenita (Tabela 2). Este fato juntamente com o baixo teor de titânio das titanomaguetitas pode ser interpretado como oxidação a alta temperatura (AdHall et al, 1971) que ocorreu durante o resfriamento dessas rochas intrusivas.

As curvas termomagnéticas da área de Teresina-Picos-Floriano são todas semelhantes entre si, apresentando

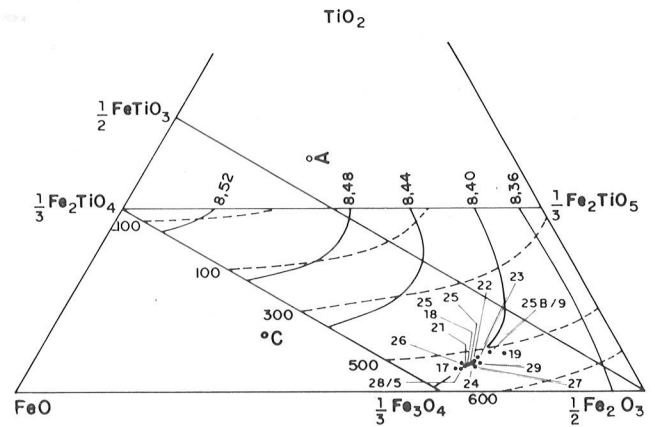


Figura 4 — Composição das titanomaguetitas oxidadas das rochas basálticas da margem oriental da Bacia do Maranhão (Teresina-Picos-Floriano) calculada a partir das temperaturas de Curie e das dimensões da rede cristalina, usando as respectivas linhas de contornos, segundo O'Reilly (1976). Os pontos neste diagrama correspondem às amostras listadas na Tabela 2. Para a identificação das mesmas foi usado, nesta figura, o número antes da barra.

na curva de aquecimento uma temperatura de Curie em torno de 530°C e um ponto de Curie ligeiramente menor na curva de resfriamento (Fig. 5). A magnetização de saturação apresenta também um valor menor na curva de resfriamento. Este decréscimo provavelmente se deve à oxidação parcial da titanomagnetita em hematita.

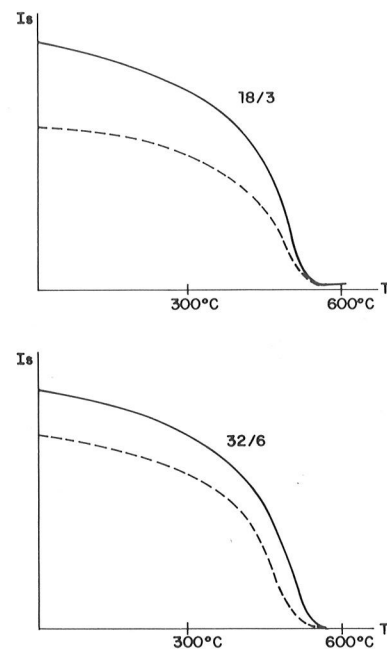


Figura 5 — Curvas termomagnéticas das amostras de Teresina-Picos-Floriano medidas num campo de 1800 Oe. O número antes da barra indica o sítio e o segundo número a amostra relativa ao sítio indicado. As curvas de aquecimento e resfriamento estão respectivamente indicadas pelas linhas cheia e tracejada.

A alta temperatura de Curie e a forma das curvas observadas para estas amostras na curva de aquecimento provém de uma fase cúbica pobre em titânio, de composição próxima à magnetita (Larson et al, 1967; Ozima & Larson, 1970).

As características apresentadas pelas curvas termomagnéticas e a presença de ilmenita nas amostras submetidas ao raio-X, caracterizando a ocorrência de oxidação a

alta temperatura, são compatíveis com os critérios de estabilidade magnética sugeridos por Larson et al (1969), e encontrados nos estudos paleomagnéticos destas amostras.

A análise do tratamento de desmagnetização por campo magnético alternado (diagramas de Zijdeveld, Fig. 7) não indica, por sua vez, haver componente secundária importante nas amostras estudadas.

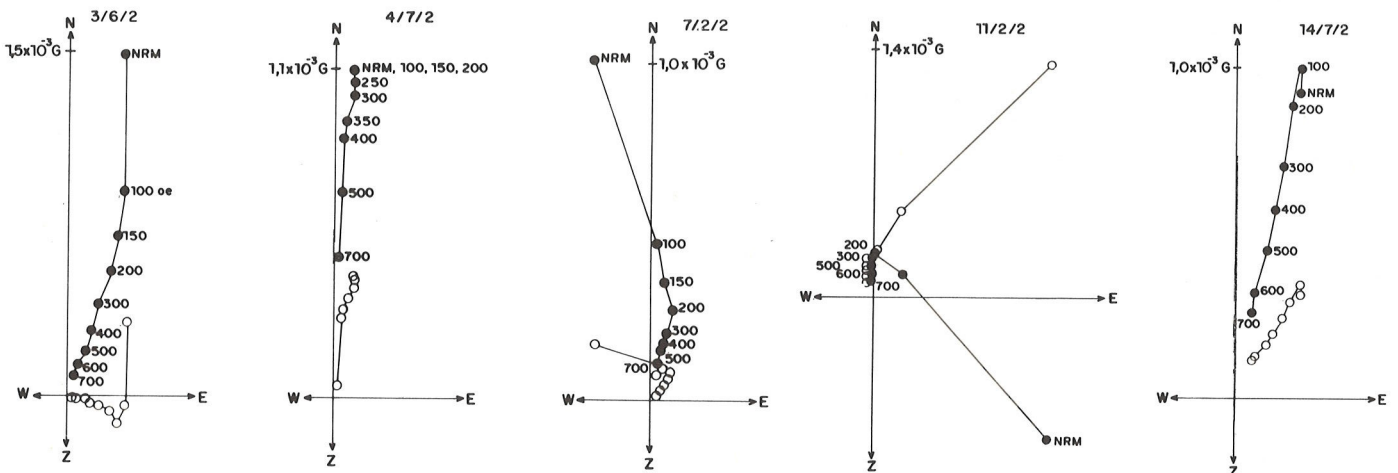


Figura 6 — Diagramas vetoriais mostrando a variação da magnetização remanente durante a desmagnetização progressiva das amostras de Porto-Franco-Estreito, submetidas à lavagem por campo magnético alternado (Zijdeveld, 1967). Símbolos escuros e claros indicam, respectivamente, componentes no plano horizontal e vertical (EW).

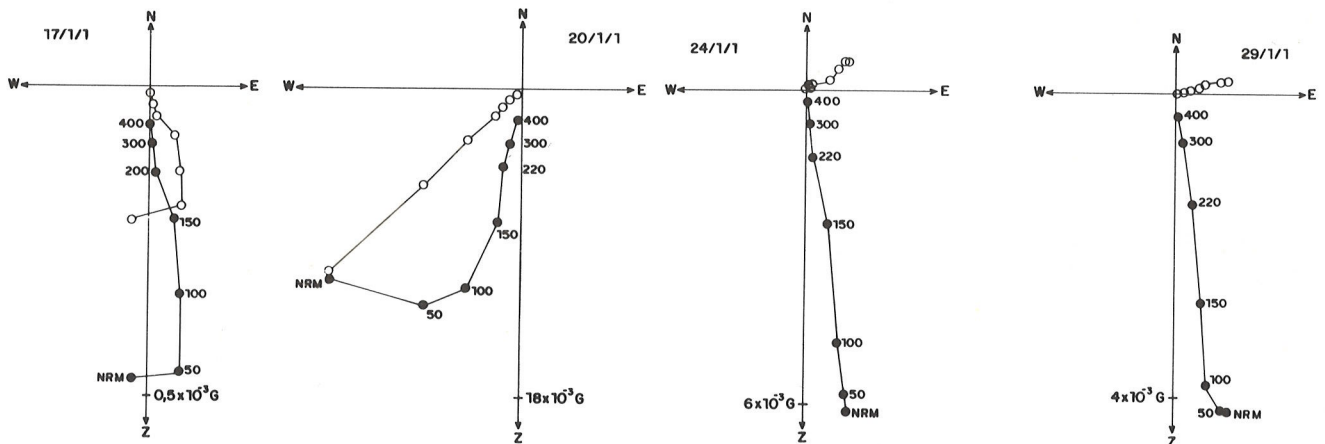


Figura 7 — Diagramas vetoriais de amostras de Teresina-Picos-Floriano (Zijdeveld, 1967). Símbolos escuros e claros indicam, respectivamente, componentes no plano horizontal e vertical (EW).

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi realizada dentro do acordo bilateral Brasil-República Federal da Alemanha. Os autores são imensamente gratos ao Conselho Nacional de Desen-

volvimento Científico e Tecnológico (CNPq) à Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), à Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa (FADESP) e à Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) pelo suporte financeiro para a realização da mesma.

## REFERÊNCIAS

- ADE-HALL, J. M., WILSON, R. L. & SMITH, P. J. — 1965 — The petrology, Curie points and natural magnetizations of basic lavas. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 9: 323-336.
- ADE-HALL, J. M., PALMER, H. C. & HUBBAND, T. P. — 1971 — The magnetic opaque petrological response of basalts to re-

- gional hydrothermal alteration. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 24: 137-174.
- ALMEIDA, F.F.A. — 1969 — Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. *Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador-Bahia* 1: 29-46.



- CALDASSO, A. L. S., & HAMA, M. — 1978 — Posicionamento estratigráfico das rochas básicas da Bacia do Parnaíba. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30- Recife, nov. v. 2, p. 267-581.
- GUERREIRO, S. D. C. — 1983 — Paleomagnetismo de rochas vulcânicas do Nordeste do Brasil e a época de abertura do Oceano Atlântico Sul. Tese de doutorado. Universidade Federal do Pará. 149 pp.
- JOHNSON, H. P., & MERRIL, R. T. — 1974 — Low temperature oxidation of a single-domain magnetite. *J. Geophys. Res.* **79**: 5533-5534.
- LARSON, E., OZIMA, M., OZIMA, M., NAGATA, T.; & STRANGWAY, D. — 1969 — Stability of remanent magnetization of igneous rocks. *Geophys. J. R. astr. Soc.* **17**: 263-292.
- LEVI, S. & BANERJEE, S.K. — 1977 — The effects of alteration on the natural remanent magnetization of three ophiolite complexes: possible implications for the oceanic crust. *J. Geomag. Geoelectr.* **29**: 421-439.
- NAGATA, T. — 1953 — *Rock Magnetism*. Tokio, Maruzem. 350 pp.
- O'REILLY, W. — 1976 — Magnetic minerals in the crust of the Earth. *Rep. Prog. Phys.* **39**: 857-908.
- OZIMA, M. & LARSON, E.E. — 1970 — Low and high temperature oxidation of titanomagnetite in relation to irreversible changes in the magnetic properties of submarine basalts. *J. Geophys. Res.* **75**: 1003-1017.
- OZIMA, M. & OZIMA, M. — 1971 — Characteristic thermomagnetic curves in submarine basalts. *J. Geophys. Res.* **76**: 2051-2056.
- SCHULT, A., & GUERREIRO, S. D. C. — 1979 — Palaeomagnetism of Mesozoic igneous rocks from the Maranhão Basin, Brazil, and the time of opening of the South Atlantic. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **42**: 427-436.
- SIAL, A. N. — 1975 — Petrologia e química mineral dos basaltos mesozóicos de Porto Franco e Grajaú, Maranhão, Atas do VII Simpósio de Geologia, Fortaleza: 223-241.
- ZIJDERVELD, J. D. A. — 1967 — A. C. demagnetization of rocks: analysis of results. In: Collinson, D.M., Creer, K.M., Runcorn, S.K. (eds.) *Methods in palaeomagnetism*. New York, Elsevier: 254-286.

Versão original recebida em Set./84;  
Versão final em, Set./86.