

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANISOTROPIAS MAGNÉTICAS, MAGNETISMO DE ROCHA E
PALEOMAGNETISMO DOS DIQUES DE UBATUBA (SP)**

Igor José Simões de Mello

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Irene Bartolomeu Raposo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2008 / 29)

TF
M527
IJS.a

SÃO PAULO
2008

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

TRABALHO DE FORMATURA
TF – 2008 / 29



ANISOTROPIAS MAGNÉTICAS, MAGNETISMO DE ROCHA E PALEOMAGNETISMO DOS
DIQUES DE UBATUBA (SP)

Igor José Simões de Mello

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Irene Bartolomeu Raposo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

De acordo:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Irene Raposo', written over a horizontal line.

Prof.^a Dr.^a Maria Irene Bartolomeu Raposo

DEDALUS - Acervo - IGC



30900025633

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Igor José Simões de Mello', written over a horizontal line.

Igor José Simões de Mello

São Paulo
2008

TF
M527
IJS.Q

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



TRABALHO DE FORMATURA
TF - 2003 / 20

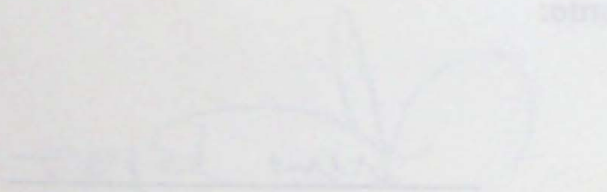
ANISOTROPIAS MAGNÉTICAS, REORIENTANDO DE ROCHA E PALEOMAGNETISMO DOS
GRANOS DE URATURA (SP)

Igor José Simões da Mota

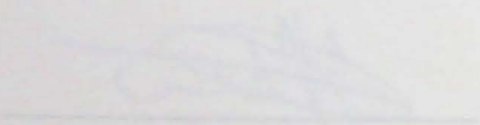
Orientador: Prof. Dr. Maria Inês Balthazar Raposo

BIOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

De acordo:



Prof. Dr. Maria Inês Balthazar Raposo



Igor José Simões da Mota

São Paulo
2003

Agradecimentos

Quero agradecer a todos os professores que me ensinaram a ser quem sou hoje, em particular os meus pais.

Em especial, agradeço aos meus pais, pelo amor, apoio incondicional, pelas lições de vida, paciência e compreensão, pelas correções e pelo amor que sempre me deram.

A todos, especialmente aos meus pais, por todos os momentos de alegria em família durante minha infância, adolescência e agora na vida adulta.

A todos, pelo carinho e apoio sempre presentes de amizade e compreensão que sempre me deram nos momentos mais difíceis.

A todos, especialmente aos meus pais, por todos os momentos de alegria em família durante minha infância, adolescência e agora na vida adulta.

Aos meus pais, especialmente aos meus pais, por todos os momentos de alegria em família durante minha infância, adolescência e agora na vida adulta.

A todos, especialmente aos meus pais, por todos os momentos de alegria em família durante minha infância, adolescência e agora na vida adulta.

Aos amigos da faculdade, especialmente aos meus pais, por todos os momentos de alegria em família durante minha infância, adolescência e agora na vida adulta.

A todos, especialmente aos meus pais, por todos os momentos de alegria em família durante minha infância, adolescência e agora na vida adulta.

Aos meus pais, especialmente aos meus pais, por todos os momentos de alegria em família durante minha infância, adolescência e agora na vida adulta.

A todos, especialmente aos meus pais, por todos os momentos de alegria em família durante minha infância, adolescência e agora na vida adulta.

A todos, especialmente aos meus pais, por todos os momentos de alegria em família durante minha infância, adolescência e agora na vida adulta.

**Aos meus queridos pais,
Armando e Maria Eliza**

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão às pessoas que às pessoas que foram e que são importantes em minha vida.

Primeiramente, agradeço aos meus pais, pela vida que me proporcionaram, pelo amor incondicional, pelas lições de respeito, honestidade e responsabilidade, pelos conselhos e pelo apoio que sempre me deram.

À Mila, minha tia e segunda mãe, por todos os momentos de alegria em família durante minha infância, adolescência e, agora, na idade adulta.

À Lailah, pela cumplicidade e pelos sentimentos de felicidade e tranquilidade que sempre me passa nos momentos em que preciso.

À Prof.^a Irene, por ter me orientado durante estes cinco anos, pelos seus exemplos de ética e profissionalismo, seus conselhos, sua preocupação com meu aprendizado e pelos momentos em que trabalhamos juntos nas viagens de campo e no laboratório.

Ao Prof. Gergely, por ter me ajudado nas descrições de lâminas.

Aos funcionários do IGc, pela convivência durante estes anos de graduação, em especial à Katherine que se tornou uma grande amiga.

À todos que compartilharam comigo os trabalhos da Geo Júnior, principalmente àqueles que organizaram as três primeiras edições da FENAFEG.

Aos amigos da República Ke-Mico, Maria (Fugi), Danilo (Biva), Susi (Fids) e Mariana (Alceu), por terem me acolhido em meu primeiro ano em São Paulo.

Aos amigos que moram e que moraram comigo na Praça Elis Regina, Rodrigo (Mixaria), André (Kodornah), Érico (Gorgota), Stephano (Gargalo) e Renan (Broxa). Vocês sempre serão meus irmãos.

Ao pessoal do Hand, em especial os que sempre treinavam, Enos (Rosa), Bruno (Rapun) e Trena.

À todos os amigos que fiz na Geologia, os que vão e os que ficam, pelos momentos inesquecíveis da melhor etapa de minha vida: Paulo Afonso (Buxo), João (Lester), Ana Paula (Treme-Treme), Daina, Cynthia (Fun), Talita (Xoca), Fábio (Bydeh), Marcus (Xabi), Rogério (Lacraia), Roberta (Pisa), Juliana (Buraco), Júlia (Dóris), Ralph (Tanga), Maíra (Cica), Ana (Xupeta), Weber (Mineiro), Naira, Lélia, Régis (Rodado), Gabriela (Maminha), Carol (Michelin), Evelyn (Tati) e muitos outros aqui não citados. Obrigado pelos momentos de festa, pelas noitadas, manhãs de ressaca e pelas viagens inesquecíveis.

Resumo

Na linha de costa de Ubatuba (SP) ocorrem vários afloramentos de diques de diabásio e de lamprófiro. Esses diques são subverticais e, em sua maioria, apresentam direção NE, com espessura de aproximadamente 5 metros. Foram realizados estudos de anisotropias magnéticas, magnetismo de rocha e paleomagnetismo em 19 diques de Ubatuba, com os objetivos de investigar o modo de colocação desses corpos intrusivos, identificar os minerais responsáveis pela magnetização remanente e pelas anisotropias magnéticas e verificar a possível ocorrência de episódios intrusivos distintos. Os dados foram comparados aos resultados obtidos no Arco de Ponta Grossa (Raposo, 1995) e em São Sebastião (Malo, 2007).

O mineral magnético presente nos diques é a magnetita, com tamanho de grão entre 5 e 25 μm e estrutura de domínio do tipo pseudo-domínio simples, alguns diabásios com tendência para o tipo multidomínio.

A maioria dos diques apresenta trama magnética do tipo normal, que é interpretada como fluxo magmático. A inclinação do eixo de maior suscetibilidade magnética indica que a maioria desses diques foi alimentada por fluxos horizontais a sub-horizontais (inclinação $< 30^\circ$), o que sugere que eles estavam distantes das suas respectivas fontes alimentadoras. Apenas 3 diques de diabásio apresentam fluxo inclinado (entre 30 e 60°), sugerindo que esses estariam mais próximos da(s) fonte(s) alimentadora(s). Uma possível fonte alimentadora dos lamprófiros estaria localizada próxima à região de São Sebastião, enquanto que para os diabásios a fonte estaria próxima à região de Ubatuba.

Os dados paleomagnéticos, embora preliminares, sugerem a ocorrência de três eventos intrusivos diferentes na região de Ubatuba. A comparação desses dados com aqueles obtidos para os diques de São Sebastião e do Arco de Ponta Grossa sugere que fontes geoquimicamente distintas e similares estiveram ativas simultaneamente. Pode-se inferir, ainda, que os lamprófiros de Ubatuba e de São Sebastião foram colocados em tempos distintos.

Abstract

Several outcrops of diabase and lamprophyres dykes occur in coastline of Ubatuba (SP). The dikes are sub-vertical dip and most are oriented NE-SW, with a thickness of about 5 meters. Magnetic studies were performed in 19 dykes of Ubatuba, aiming to investigate the emplacement of the intrusive bodies, identify the minerals responsible for remnant magnetization and the magnetic anisotropy and to check the possible occurrence of intrusive episodes. The data were compared with results obtained in the Arco de Ponta Grossa (Raposo, 1995; Raposo & Ernesto, 1995) and São Sebastião (Malo, 2007).

The magnetic mineral present in the dykes is the magnetite, grain sized between 5 and 25 μm , with pseudo single domain, with some diabase trend for the multi domain.

Most of the dykes show normal magnetic fabric, which is interpreted as magma flow within the dykes. The inclination of the axis K_{max} indicates that most of these dikes were fed by horizontal to sub-horizontal magma flows (inclination $<30^\circ$), suggesting that they were distant from the magma sources. Only 3 dikes of diabase show inclined flow (between 30 and 60°), suggesting that they would be closer to the magma sources. One possible magma source to the lamprophyres dykes could be located near the region of São Sebastião, while the source for the diabase could be near the region of Ubatuba.

The paleomagnetic data, while preliminary, suggest that three separate intrusive events occurred in the region of Ubatuba. The comparison of the data presented with those obtained for the dykes of São Sebastião and the Arco de Ponta Grossa suggests that different geochemical sources were in activity simultaneously. One can also infer that the lamprophyres dykes of Ubatuba and São Sebastião were emplaced in different times.

Sumário

Índice de Figuras	v
Índice de Fotos	vi
Índice de Tabelas	vii
1. Introdução	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Localização da área	2
2. Trabalhos prévios	3
3. Aspectos teóricos	5
3.1. Anisotropias magnéticas	5
3.2. Propriedades magnéticas	6
3.3. Magnetizações remanentes.....	9
4. Materiais e métodos	10
4.1. Trabalhos de campo	10
4.2. Trabalhos de laboratório	14
4.2.1. Preparação das amostras	14
4.2.2. Experimentos efetuados.....	14
5. Desenvolvimento dos trabalhos	15
6. Resultados	16
6.1. Petrografia	16
6.2. Anisotropias magnéticas.....	17
6.2.1. Anisotropia de suscetibilidade magnética (ASM).....	17
6.2.2. Anisotropia de Remanência Magnética (ARM).....	21
6.3. Magnetismo de rocha.....	23
6.4. Paleomagnetismo.....	28
7. Discussão	31
8. Conclusões	34
9. Referências bibliográficas	35

Anexo I: Mapa de Pontos – Ubatuba

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de localização da região em estudo.....	3
Figura 2: Comportamento dos momentos magnéticos.	7
Figura 3: Modelo de curva de histerese.	7
Figura 4: Modelos de estruturas de domínios magnéticos.	8
Figura 5: Exemplos de tramas magnéticas definidas pela ASM.....	18
Figura 6: Histograma de freqüência de inclinação do eixo Kmax para os diques com trama normal.....	19
Figura 7: Histograma de freqüência dos valores de suscetibilidade magnética média	19
Figura 8: Comparação dos parâmetros escalares de ASM.	20
Figura 9: Comparação das tramas ASM com as tramas ARM.	22
Figura 10: Exemplos dos dados de magnetismo de rocha.....	25
Figura 11: Exemplos de curvas de histerese	26
Figura 12: Gráfico Mrs/MS versus Hcr/Hc.....	27
Figura 13: Exemplos de curvas termomagnéticas.	28
Figura 14: Exemplos de direções de magnetização remanente e suas respectivas curvas de desmagnetização dos métodos AF e térmico.	30
Figura 15: Representação estereográfica em rede de Wulff (hemisfério inferior) das direções médias de magnetização para os diques analisados e comparação com dados de estudos anteriores.....	31

Índice de Fotos

Foto 1: Dique espesso na Ponta das Toninhas.....	11
Foto 2: Dique estreito na Praia da Enseada.....	11
Foto 3: Enclave (Praia da Enseada).....	12
Foto 4: Enclave (Ponta das Toninhas).	12
Foto 5: Baioneta (+Ponta das Toninhas).....	13
Foto 6: Dique espesso na Praia Grande do Bonete, um dos contatos está erodido.	13
Foto 7: Diques lado a lado, Praia do Sununga.....	14

Índice de Tabelas

Tabela 1: Cronograma de atividades.....	16
Tabela 2: Resultados de ASM obtidos para os diques de Ubatuba	17
Tabela 3: Parâmetros de histerese dos diques estudados.	27
Tabela 4: Dados paleomagnéticos dos diques de Ubatuba.....	30

1. Introdução

Uma maneira de se investigar o modo de colocação das rochas ígneas em geral é através da trama (*fabric*) ou petrotrama (*petrofabric*) das rochas. Esta trama é dada pela orientação preferencial dos grãos ou de uma dada população de cristais. Uma trama planar define uma foliação, que é gerada, por exemplo, por grãos tabulares de plagioclásio ou biotita. Uma trama linear define uma lineação, que está associada com a foliação e é difícil de ser identificada em rochas de textura fanerítica muito fina. Tradicionalmente, o estudo das tramas é feito através de medidas de foliação e de lineação efetuadas no campo, ou ainda, em seções delgadas (platina universal). Em casos onde a foliação é pouco desenvolvida, ou ausente, uma maneira de se verificar a trama em rochas ígneas consiste em empregar as técnicas de anisotropias magnéticas.

A anisotropia de suscetibilidade magnética (ASM) é uma propriedade física das rochas e surge devido à orientação preferencial dos minerais presentes nas mesmas, os quais podem ser ferromagnéticos, paramagnéticos e/ou diamagnéticos (Tarling & Hrouda, 1993). A técnica de ASM vem sendo amplamente utilizada nas ciências da Terra, pois pode ser aplicada mesmo em rochas aparentemente isotrópicas. Isso mostra que o método é mais abrangente no estudo dos problemas geológicos do que os métodos convencionais tais como medidas feitas no campo e em platina universal.

Embora a ASM seja amplamente aplicada em estudos de petrotrama, as técnicas de anisotropias de remanência magnética (ARM) surgiram mais recentemente como uma ferramenta auxiliar nesses estudos.

A ASM representa a contribuição de todos os minerais presentes nas rochas, isto é, os dia-, para- e ferromagnéticos, enquanto que a ARM refere-se exclusivamente aos minerais ferromagnéticos, pois só eles são capazes de reter magnetizações remanentes.

Neste sentido, um estudo integrado de ASM e ARM deve ser feito em alguns casos onde, por exemplo, a trama dada pela ASM é devida aos minerais paramagnéticos e/ou diamagnéticos. Nestes casos, a trama obtida através da ARM pode ou não ser coaxial a obtida pela ASM. Dessa forma, é possível investigar se houve superposição de tramas relacionadas a eventos geológicos distintos (Borradaile & Henry, 1997).

Esta pesquisa visa investigar o modo de colocação dos diques de Ubatuba à luz dos métodos de anisotropias magnéticas e determinar a direção da magnetização remanente da época de formação desses corpos intrusivos. Para tanto, foi realizado um estudo detalhado de magnetismo de rocha.

Uma pesquisa dessa natureza justifica-se tendo em vista que os diques já foram estudados do ponto de vista geoquímico (Garda, 1995; Gomes & Berenholc, 1980) e geocronológico (Amaral *et al.*, 1966; Turner *et al.*, 1994; Deckart *et al.*, 1998). Entretanto carecem de estudos magnéticos de detalhe.

A relevância deste estudo é contribuir para uma melhor compreensão do magmatismo ocorrido na região, pois a utilização das técnicas magnéticas nos permite verificar as relações desses diques com os eventos tectônicos ocorridos na região costeira do Estado de São Paulo, a exemplo do sucesso alcançado nos enxames de diques do Arco de Ponta Grossa (Raposos & Ernesto, 1995) e do sudeste da Bahia (Raposos & D'Agrella Filho, 2000).

1.1. Objetivos

Este estudo tem por objetivos:

- Determinar a anisotropia de suscetibilidade magnética com o intuito de obter as tramas magnéticas dos diques. Estas tramas, se primárias, permitem investigar o fluxo magmático no preenchimento das fraturas;
- Determinar a anisotropia de remanência magnética, visando verificar se os minerais ferromagnéticos apresentam a mesma orientação dos minerais paramagnéticos e, conseqüentemente, verificar se os diques foram afetados por algum evento tectônico após a sua colocação;
- Realizar um estudo detalhado de magnetismo de rocha visando identificar os minerais que controlam as anisotropias magnéticas, assim como os minerais magnéticos responsáveis pela magnetização remanente das rochas;
- Determinar as direções de magnetização remanente característica dos diques, com vistas na direção do campo geomagnético da época de formação da rocha, na tentativa de verificar se houve episódios intrusivos distintos, a exemplo do encontrado para os diques do Arco de Ponta Grossa (Raposos, 1995).
- Verificar possíveis diferenças magnéticas entre os diferentes litotipos (lamprófito e diabásio) que possibilitem a sua distinção;
- Comparar os dados obtidos com os resultados magnéticos (Raposos, 1995; Raposos & Ernesto, 1995; Raposos & Malo, 2006; Malo, 2007) já existentes, visando uma melhor compreensão do magmatismo ocorrido na costa norte do Estado de São Paulo.

1.2. Localização da área

A área em estudo localiza-se no município de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 45°W 00' e 45°W 15' de longitude e 23°S 25' e 23°S 37' de latitude. O acesso pode ser feito pela rodovia dos Tamoios até Caraguatatuba e, então, seguir em sentido norte até Ubatuba (**Figura 1**).

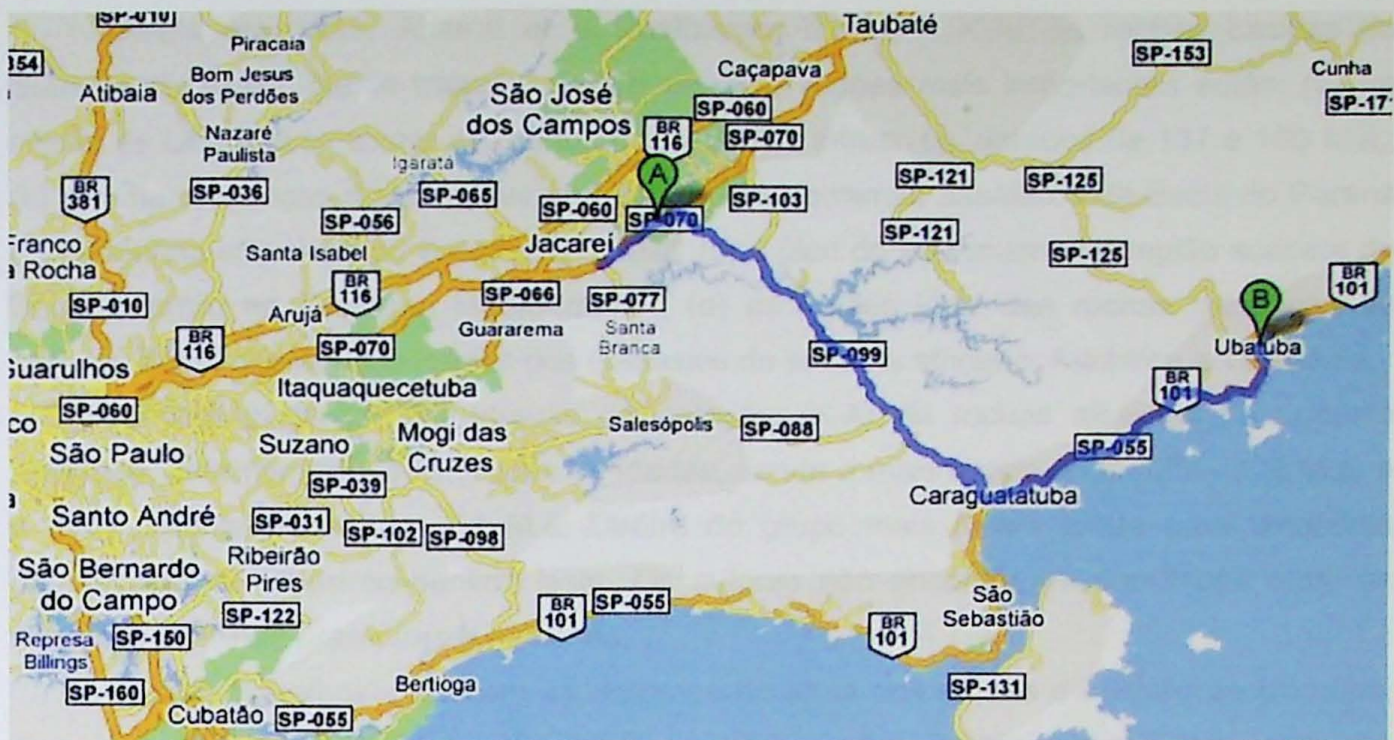


Figura 1: Mapa de localização da região em estudo (www.maps.google.com).

2. Trabalhos prévios

A “Ativação Mesozóica” (Almeida, 1972), que coincide com o início da fragmentação do Supercontinente Gondwana, teve início no Jurássico Superior e a ela estão relacionados eventos magmáticos em duas fases distintas. A primeira, de caráter básico e alcalino, é representada por diques e sills contemporâneos aos derrames da Bacia do Paraná e aos da Bacia de Santos. A segunda, sob a forma mais pontual, é representada por *stocks* ou chaminés e diques de rocha alcalina.

De modo geral, a colocação dos diques das regiões costeiras ocorre nas zonas de fraqueza herdadas do embasamento e reativadas. Quanto mais próximo da costa, mais o magmatismo está relacionado aos processos de quebra continental e separação dos continentes sul-americano e africano (Mizusaki & Thomas Filho, 2004).

O primeiro trabalho de mapeamento detalhado e de classificação petrográfica dos diques básicos e ultrabásicos da costa norte do Estado de São Paulo foi realizado por Damasceno (1966). Neste trabalho, Damasceno constatou vários afloramentos de diques desde o Porto de Ubatuba até a Praia de Maranduba, em uma linha de costa de 70 quilômetros. Os diques são subverticais e, em sua maioria, apresentam direção NE, com exceção de 10 diques que apresentam direção NW. Um fato que chama atenção é a regularidade, paralelismo e retilinidade dos diques, sendo a maioria destes intrudidos no sistema principal de fraturas. Este autor considera que a intrusão dos diques ocorreu no Cretáceo Inferior e que eles podem ser correlacionados às atividades vulcânicas da Bacia do Paraná.

Ainda em 1966, Amaral *et al.* realizaram datações K-Ar de rochas básicas do Sudeste do Brasil. Neste trabalho dentre as observações mais importantes estão: (a) na região de Ubatuba existiram ao menos dois eventos intrusivos, datados de 137 e 130 M.a.; (b) não há diferenças significativas nas idades dos derrames basálticos da Bacia do Paraná e das rochas intrusivas do sudeste do Brasil; (c) o pico do vulcanismo na região sudeste do Brasil ocorreu no Cretáceo Médio-Inferior; (d) as idades K-Ar das rochas basálticas do sudeste Brasil diferem das idades dos diabásios do sudeste africano, Antártica e Tasmânia.

Amaral *et al.* (1967), através de datações K-Ar de rochas alcalinas do sudeste brasileiro, determinaram dois grupos de idades, sendo o mais antigo entre 133 – 122 M.a. e o mais recente entre 82 – 51 M.a. Dentro do grupo mais jovem existe uma tendência decrescente de idade no sentido leste. Os autores não encontraram correlação entre as intrusões alcalinas brasileiras e africanas.

Outros trabalhos enfatizam aspectos particulares dos diques da região de Ubatuba, dos quais destacam-se Gomes (1974) e Gomes & Berenholc (1980), que realizaram estudos sobre a petrologia e feições geoquímicas de um dique na praia Toninhas.

Coutinho & Ens (1992) estudaram diques lamprófíricos e diferenciados carbonatíticos do litoral norte do Estado de São Paulo até Itanhaém (SP). Neste estudo, a ocorrência de dois lamprófíros carbonatizados sugere diferenciação de magmas lamprófíricos envolvendo imiscibilidade de líquidos.

Turner *et al.* (1994) e Deckart *et al.* (1998) descreveram o mecanismo de abertura do Atlântico Sul com vista em estudos geocronológicos (^{40}Ar - ^{39}Ar). Nestes trabalhos os autores indicam idades entre 135 e 130 M.a. para diques de diabásio de Ubatuba. Estas idades são equivalentes às dos basaltos da Bacia do Paraná, cujos derrames ocorreram entre 137 e 127 M.a. (Turner *et al.*, 1994). Deckart *et al.* (1998) determinaram idades ^{40}Ar - ^{39}Ar de rochas alcalinas no Estado do Rio de Janeiro entre $81 \pm 1,8$ e $69,7 \pm 0,2$ M.a. e concluíram que essas rochas caracterizam um segundo evento magmático.

Garda (1995) realizou um estudo detalhado sob os aspectos petrográficos, geoquímicos e de química mineral nos diques básicos e ultrabásicos da região costeira entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba. A autora defende as seguintes idéias: (a) os diques básicos a intermediários apresentam características semelhantes às dos basaltos da Bacia do Paraná; (b) o evento que resultou na formação da ampla variedade de lamprófíros certamente representa uma transição de magmas alcalinos para magmas de afinidade carbonatítica; (c) pelo menos dois eventos alcalinos importantes afetaram a região de São Sebastião – Ubatuba, incluindo as ilhas, o litoral sul do Estado de São Paulo e do Estado do Rio de Janeiro, um evento relacionado à geração de uma suíte de lamprófíros máficos-ultramáficos e outro relacionado ao magmatismo intrusivo das ilhas de São Sebastião, Búzios e Vitória, de aproximadamente 80 M.a.; (d) uma vez colocados os diques básicos a

intermediários em zonas de fraqueza da encaixante, ficaram abertas passagens para as manifestações do magmatismo alcalino.

Malo (2007), através de estudos magnéticos em diques de São Sebastião (SP) inferiu que existem pelo menos duas fontes alimentadoras para os diques lamprofíricos.

3. Aspectos teóricos

3.1. Anisotropias magnéticas

A *anisotropia de suscetibilidade magnética (ASM)* é um tensor de segunda ordem formado pelos autovetores de suscetibilidade magnética máxima, intermediária e mínima ($K_{max} > K_{int} > K_{min}$) (Tarling & Hrouda, 1993) e representa a contribuição de todos os minerais presentes na rocha, ou seja, os dia-, para- e ferromagnéticos. Quando a suscetibilidade magnética é controlada por minerais paramagnéticos, (titano)hematita e pirrotita, a ASM é devido à estrutura cristalina dos minerais (*anisotropia magnetocristalina*), onde os momentos magnéticos se posicionam de acordo com a direção de mais fácil magnetização. Por outro lado, quando a suscetibilidade magnética é controlada pela titanomagnetita ou a magnetita, a ASM é dada pela forma do grão (*anisotropia de forma*), onde K_{max} é paralelo ao maior eixo do grão, enquanto K_{min} é paralelo ao menor eixo (para grãos multidomínio).

A orientação dos autovetores fornece a trama magnética, onde K_{max} e K_{int} definem o plano da foliação magnética, sendo K_{min} o pólo desta foliação. A direção da lineação magnética é dada por K_{max} . A comparação da orientação dos eixos principais da ASM com a direção do plano de diques fornece três diferentes tipos de tramas magnéticas: *normal*, *intermediária* e *inversa* (Rochette *et al*, 1992).

Em uma *trama normal* a foliação magnética, formada pelos eixos K_{max} e K_{int} , é paralela ao plano do dique, sendo o pólo da foliação (K_{min}), ortogonal ao mesmo. Este tipo de trama é comumente relacionado a fluxo magmático.

A *trama intermediária* ocorre quando o plano formado pelos eixos K_{max} e K_{min} é paralelo à direção do plano do dique, sendo K_{int} ortogonal a ele.

A *trama inversa* apresenta o plano formado pelos eixos K_{int} e K_{min} paralelo à direção do plano do dique, sendo a lineação magnética (K_{max}) ortogonal a este plano.

As tramas intermediária e inversa são consideradas anômalas e podem estar relacionadas a eventos tectônicos.

Uma ferramenta auxiliar para o estudo da anisotropia de suscetibilidade magnética é a *anisotropia de remanência magnética (ARM)*. A ARM é uma anisotropia calculada através da imposição de uma magnetização artificial em diferentes posições de uma amostra. A ARM também é um tensor de segunda ordem e é dada exclusivamente pelos minerais

magnéticos presentes nas rochas (Jackson, 1991). A comparação das tramas dadas pela ASM e ARM permite verificar a existência de possíveis tramas tectônicas nos diques.

3.2. Propriedades magnéticas

a) Suscetibilidade magnética (K)

A suscetibilidade magnética é expressa pela Lei de Curie, na qual a magnetização induzida (M) pode ser diretamente relacionada com o campo aplicado (H), sendo a suscetibilidade magnética (K) uma constante de proporcionalidade. Para materiais isotrópicos a magnetização é dada pela seguinte equação:

$$M = KH$$

O monitoramento da magnetização (M) em função do campo magnético (H) indica a existência de três tipos de materiais fundamentais (Butler, 1992):

- Materiais *diamagnéticos*: quando um campo magnético é aplicado a qualquer substância com carga elétrica completa é produzida uma magnetização no sentido oposto ao campo aplicado, mas esta se perde após a remoção do campo (**Figura 2a**). Neste caso $K < 0$;
- Materiais *paramagnéticos*: são substâncias com carga elétrica incompleta e que quando submetidas a um campo é produzida uma magnetização no mesmo sentido do campo aplicado, que é perdida com a remoção do campo (**Figura 2b**). Neste caso $K > 0$;
- Materiais *ferromagnéticos*: são substâncias que apresentam magnetização espontânea, ou seja, a magnetização se mantém após a remoção do campo aplicado (**Figura 2c**). Neste caso ocorre o fenômeno de histerese.

O termo ferromagnético engloba os termos *antiferromagnético* e *ferrimagnético*. Em composições complexas, como os óxidos da primeira série dos elementos de transição os momentos magnéticos podem apontar para sentidos opostos, apresentando uma resultante nula. Estes são os materiais *antiferromagnéticos* (**Figura 2d**). Porém, em alguns casos, os momentos magnéticos que apontam para o sentido do campo aplicado são mais intensos que os demais, resultando em materiais *ferrimagnéticos* (**Figura 2e**).

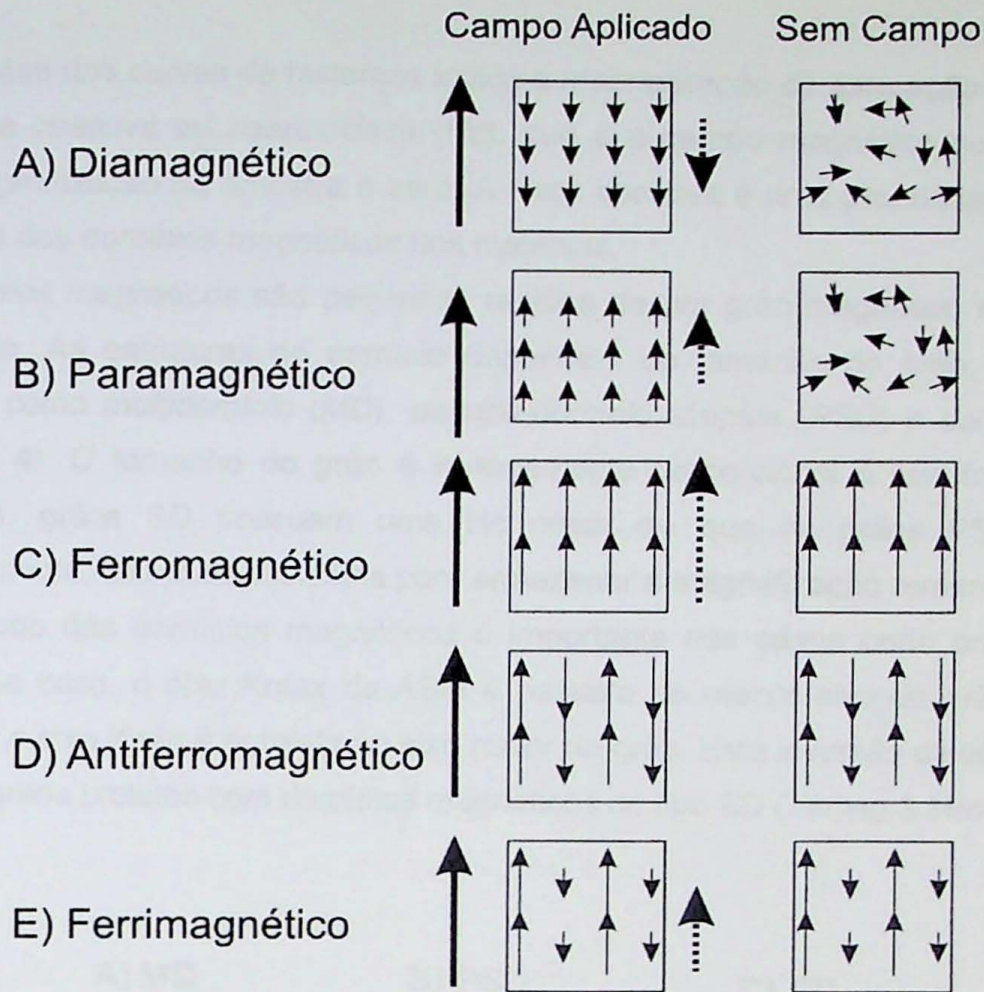


Figura 2: Comportamento dos momentos magnéticos (modificado de Tarling & Hrouda, 1993).

b) Curvas de histerese

Uma *curva de histerese* (Figura 3) é obtida quando são aplicados campos magnéticos sucessivos em uma amostra de rocha, até que seja atingida a magnetização de saturação e, posteriormente, os campos magnéticos são aplicados sucessivamente em direção oposta, até que a magnetização de saturação seja atingida do lado oposto. Para finalizar a curva de histerese aumenta-se novamente o campo magnético até que a primeira magnetização de saturação seja atingida novamente.

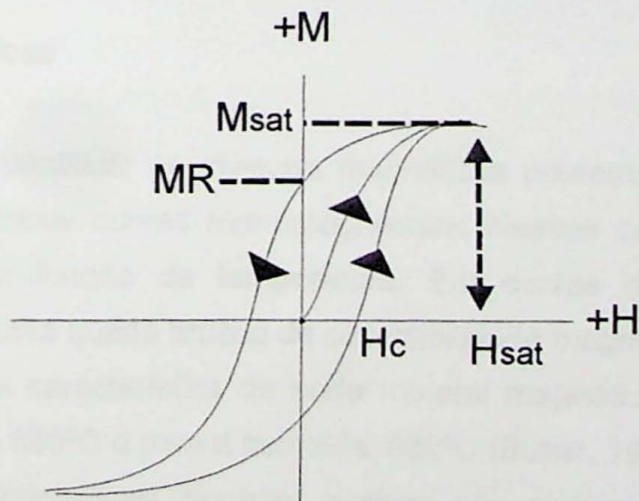


Figura 3: Modelo de curva de histerese (modificado de Tarling & Hrouda, 1993).

A análise das curvas de histerese indica a *magnetização de saturação* (M_s) da rocha e a sua *força coerciva* ou *coercividade* (H_c), que é o campo magnético necessário para reduzir a magnetização da amostra à zero. A força coerciva é uma propriedade importante para o estudo dos *domínios magnéticos* nos materiais.

Domínios magnéticos são pequenas regiões de um grão magnético representadas por um dipolo. As estruturas de domínio dependem do tamanho do grão, podendo ser classificadas como *multidomínio* (MD), *pseudo-domínio simples* (PSD) e *domínio simples* (SD) (**Figura 4**). O tamanho do grão é inversamente proporcional à sua força coerciva. Sendo assim, grãos SD possuem uma H_c maior do que os grãos PSD e MD e, conseqüentemente, são mais eficientes para armazenar a magnetização remanente.

O estudo dos domínios magnéticos é importante nos casos onde ocorre a trama inversa. Nesse caso, o eixo K_{max} da ASM é paralelo ao menor eixo do grão magnético enquanto que o eixo K_{min} é paralelo ao eixo maior do grão. Esta inversão de eixos pode ser resultado de grãos prolatos com domínios magnéticos do tipo SD (Tarling & Hrouda, 1993).

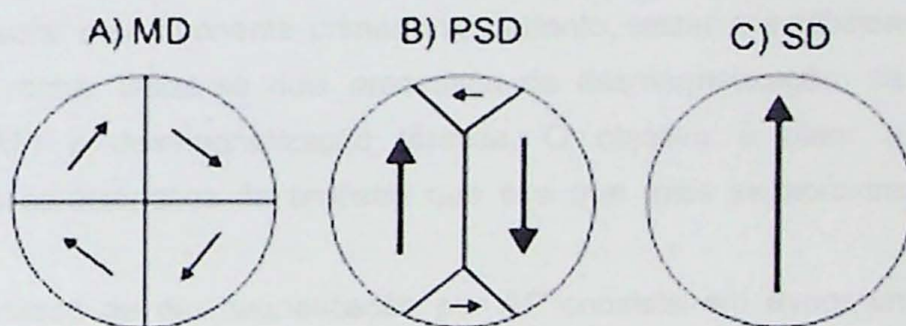


Figura 4: Modelos de estruturas de domínios magnéticos: a) multidomínio, b) pseudo-domínio simples, c) domínio simples (modificado de Tauxe, 1998).

c) Curvas termomagnéticas

Uma maneira de identificar os minerais magnéticos presentes em uma amostra de rocha consiste em determinar curvas termomagnéticas. Nessas curvas, a suscetibilidade magnética é medida em função da temperatura. Em curvas de alta temperatura, a temperatura onde ocorre uma queda brusca de suscetibilidade magnética é conhecida como temperatura de Curie e é característica de cada mineral magnético. Para a magnetita a temperatura de Curie é de 580°C e para a hematita, 680°C (Butler, 1992).

As curvas termomagnéticas também podem ser obtidas a baixa temperatura (nitrogênio líquido). Nestes casos são observados aumentos na suscetibilidade magnética

em função da temperatura. A temperatura onde ocorre o aumento de suscetibilidade magnética é conhecida como ponto de transição e é característico do mineral magnético. O ponto de transição da magnetita é de aproximadamente -150°C , conhecido como transição de Verwey, enquanto para a hematita é em torno de -5°C , conhecida como transição de Morin.

3.3. Magnetizações remanentes

Embora a maioria dos minerais formadores das rochas sejam essencialmente não-magnéticos, todas as rochas exibem alguma propriedade magnética devido à presença, principalmente, de óxidos de ferro como minerais acessórios em pequena fração na rocha (McElhinny & McFadden, 2000).

A magnetização inicialmente medida em rochas é a *magnetização remanente natural* (MRN). O mecanismo em que a MRN foi adquirida depende tanto do modo de formação e história da rocha, como das características dos minerais magnéticos. A MRN é uma somatória das componentes primária (da época de formação da rocha) e secundária (adquirida após a formação da rocha).

Para isolar a componente primária e, portanto, testar a estabilidade magnética das amostras de rocha, utiliza-se dois processos de desmagnetização: campos magnéticos alternados (AF) e desmagnetização térmica. O objetivo é obter a componente de magnetização característica da amostra que é a que mais se aproxima da componente primária.

O processo de desmagnetização por AF consiste em expor um espécime a um campo alternado oscilatório com ondas em forma senoidal (Butler, 1992), começando em um campo de pico, que vai decrescendo até chegar a zero. Com a alternância rápida do campo, devido às oscilações, os momentos magnéticos vão apresentar direções e sentidos de forma randômica, reduzindo a magnetização dos grãos com coercividades menores do que o campo AF aplicado.

No processo de desmagnetização térmica um grupo de espécimes é aquecido a uma temperatura pré-determinada, depois é resfriado em campo nulo e, posteriormente, é medida sua magnetização remanente. Esse procedimento é repetido várias vezes, aumentando a temperatura a cada passo. A desmagnetização térmica tem se mostrado uma forte ferramenta para remover componentes de magnetização secundária (Strangway, 1970).

A *magnetização remanente isoterma* (IRM) é um tipo de magnetização secundária e é adquirida em um curto intervalo de tempo, a uma temperatura constante, sob influência de um campo externo (usualmente forte). A IRM é adquirida por grãos ferromagnéticos com força coerciva menor ou igual à intensidade do campo aplicado (Butler, 1992). Na natureza

este tipo de magnetização ocorre devido à queda de raios nos afloramentos. A IRM também é adquirida em laboratório e serve para estudar os minerais magnéticos.

Outro tipo de magnetização secundária é a *magnetização remanente anisterética (MRA)*, que é produzida em laboratório por um campo magnético alternado, na presença de um campo magnético fraco fixo, gerado por corrente contínua (DC).

4. Materiais e métodos

4.1. Trabalhos de campo

Foram realizadas duas viagens de campo com duração de 7 a 8 dias cada. Inicialmente fez-se um trabalho de reconhecimento na tentativa de localizar os diques citados na literatura para, então, proceder com a coleta das amostras. Para os trabalhos de Campo foram utilizadas as cartas topográficas de Ubatuba (IBGE, 1973) e da Ilha Anchieta (IBGE, 1974), na escala 1:50.000.

O acesso a alguns diques só é possível por meio de barco ou densas trilhas. Em alguns casos os diques foram observados, porém, o acesso a eles foi impossível, devido à inexistência de trilhas de acesso por terra e à alta periculosidade em se acessar por barco ou pela costeira como, por exemplo, o ocorrido no costão entre as praias do Bonete e do Cedro.

Ao todo, foram amostrados 19 diques (**Anexo I**). As amostras foram coletadas sob a forma de cilindros com o auxílio de uma perfuratriz, movida à gasolina e com broca diamantada. Os cilindros foram orientados com bússolas solar (quando possível) e magnética.

A amostragem foi efetuada tanto nas margens (de modo simétrico, sempre que possível) como no centro dos diques. Coletou-se no mínimo 15 cilindros com 2,5 cm de diâmetro por dique (6 em cada borda e 3 no centro). Entretanto, para diques mais espessos (>10m) a amostragem foi mais densa e até mais de 20 furos foram feitos, como foi o caso dos diques da Ponta das Toninhas e Praia Grande do Bonete. Este tipo de amostragem tem como objetivo verificar se há diferenças nas propriedades magnéticas devido ao resfriamento do corpo, além de verificar a presença de imbricação dada pelos dois contatos.

Os diques em estudo cortam os granitos e os migmatitos do Complexo Costeiro. Apresentam espessuras variadas, alguns com vários metros de espessura (em média 5 metros – **Foto 1**), outros com apenas alguns centímetros (em média 40 cm – **Foto 2**). A maioria deles tem direção predominante N30-70°. Alguns diques apresentam enclaves (**Fotos 3 e 4**), baionetas (**Foto 5**) e estreitamento de espessura. Macroscopicamente apresentam texturas variadas (desde afanítica até fanerítica fina), amígdalas e fenocristais.

Como é difícil a classificação dos diques em campo, foi confeccionada uma lâmina para cada dique amostrado.

Entre os diques mais espessos são raros os casos em que a amostragem pôde ser realizada próximo aos dois contatos, pois na maioria das vezes um deles está erodido (**Foto 6**). Mesmo assim, na maioria dos casos é possível observar os contatos, pois a encaixante se encontra preservada. Para esses diques a amostragem foi feita o mais próximo possível da região de contato. Ocorrem também diques lado a lado, separados por uma fina fatia da encaixante (**Foto 7**), como os diques UB-15 e UB-16, na praia do Sununga.



Foto 1: Dique espesso na Ponta das Toninhas (UB-6).

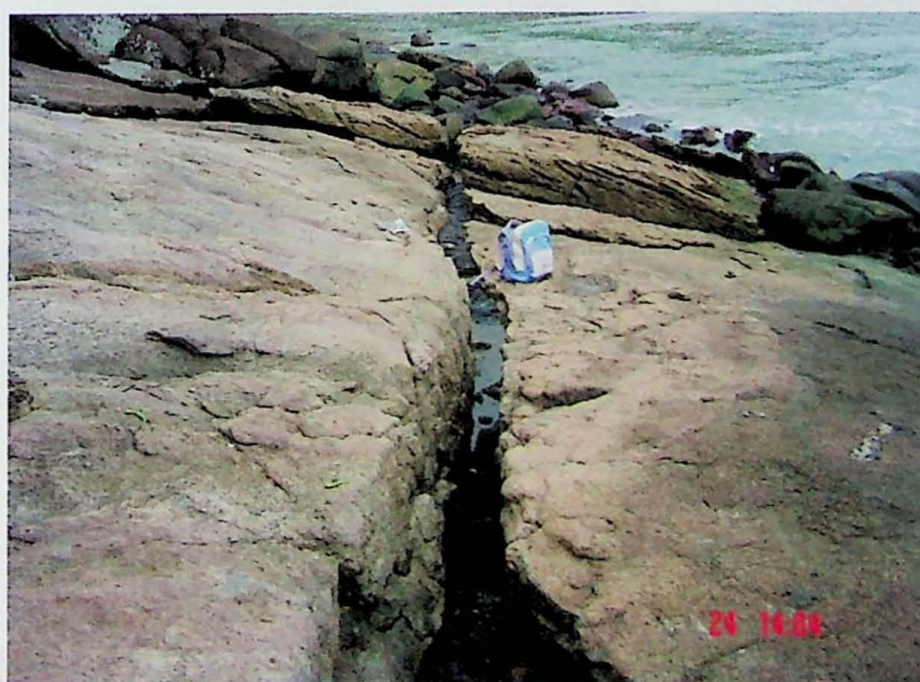


Foto 2: Dique estreito na Praia da Enseada (UB-3).



Foto 3: Enclave (Praia da Enseada, UB-3).



Foto 4: Enclave (Ponta das Toninhas, UB-5).



Foto 5: Baioneta (Ponta das Toninhas, UB-5).



Foto 6: Dique espesso na Praia Grande do Bonete, um dos contatos está erodido (UB-18).

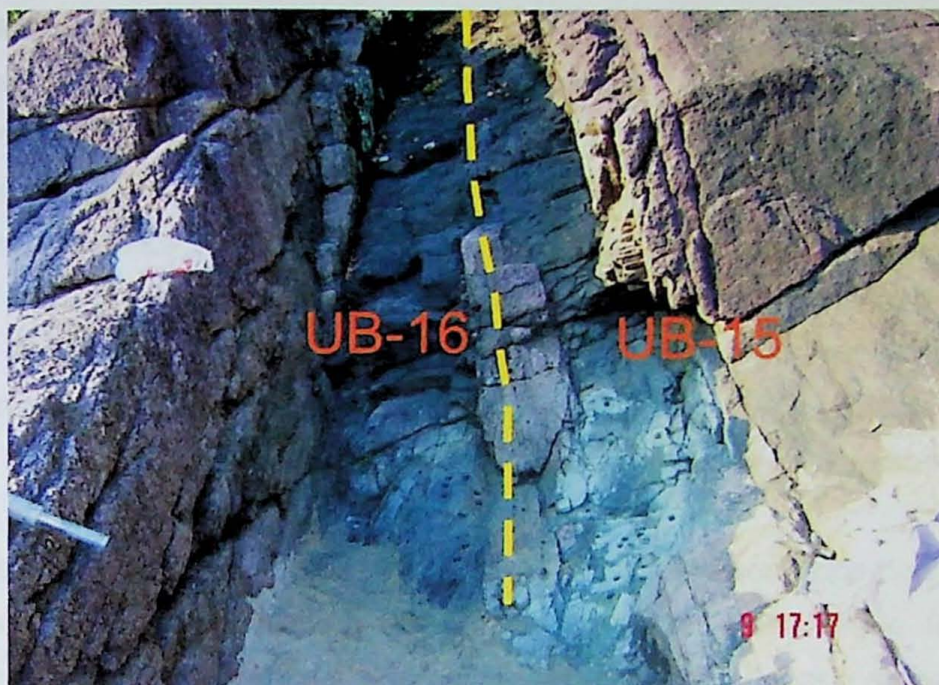


Foto 7: Diques lado a lado, Praia do Sununga.

4.2. Trabalhos de laboratório

4.2.1. Preparação das amostras

Os cilindros coletados no campo foram cortados em espécimes de 2,2 cm de altura. De cada cilindro foram cortados de dois a quatro espécimes, conforme seu tamanho. Os espécimes foram marcados de acordo com a orientação de campo e embalados com papel filme. Ao todo foram preparados 596 espécimes dos diques amostrados.

Uma amostra de cada dique foi moída em moinho de ágata. Também foi selecionada uma amostra por dique para confecção de seções delgadas.

4.2.2. Experimentos efetuados

Foram efetuadas medidas de suscetibilidade magnética (K) e de anisotropia de suscetibilidade magnética (ASM) dos 19 diques amostrados. Para tanto utilizou-se o equipamento KLY-3S (*Kappabridge*). Através destas medidas, é possível determinar a petrotrama magnética formada por todos os minerais presentes na rocha. Os resultados de ASM foram fornecidos em termos de declinação e inclinação dos eixos do elipsóide de anisotropia de suscetibilidade magnética, os quais são corrigidos para posição original da amostra no campo em relação ao norte geográfico.

Determinou-se a anisotropia de remanência magnética em 5 diques selecionados. Esta anisotropia foi determinada aplicando-se a magnetização artificial anisterética em 7

posições em uma amostra de rocha, utilizando-se o desmagnetizador Molspin com uma fonte de corrente contínua acoplada a ele.

Curvas de histerese foram adquiridas com o uso do magnetômetro VSM (*vibrating sample magnetometer*), a partir de amostras em pó. O principal objetivo das curvas de histerese é verificar a contribuição dos minerais (dia-, para- e ferromagnéticos) para a suscetibilidade magnética.

Medidas termomagnéticas (suscetibilidade magnética em função de alta e baixa temperatura) foram efetuadas para os 19 corpos amostrados em atmosfera de argônio. Neste experimento foi utilizado o equipamento “*furnance*” acoplado ao Kappabridge (CS3-CS3L-KLY3). Essas curvas foram efetuadas nos pós das amostras. Essas curvas visam reconhecer o mineral magnético presente nas amostras.

Para testar a estabilidade magnética dos diques foram escolhidos dois espécimes de cada um deles, chamados “piloto”. Em um espécime de cada dique foi efetuada a desmagnetização da *Magnetização Remanente Natural (MRN)* por campos magnéticos alternados (AF) de 5 a 100 mT, em passos de 5 mT, através do desmagnetizador Molspin. O outro espécime piloto foi submetido à desmagnetização térmica da MRN através do equipamento *Thermal Specimen Demagnetizer (ASC SCIENTIFIC/ MODEL TD-48SC)*. Para medir as magnetizações remanentes nos intervalos de cada passo de desmagnetização por ambos os métodos (AF e térmico) foi utilizado o magnetômetro JR5A (AGICO).

O espectro de coercividade remanente das amostras foi determinado através da magnetização anisterética parcial (PARM).

Foram obtidas curvas de aquisição da magnetização remanente isotermal (IRM) através do magnetômetro tipo “pulse”, visando o conhecimento dos minerais magnéticos. Depois de atingida a magnetização de saturação (SIRM), os espécimes foram desmagnetizados por AF.

Para a determinação das direções paleomagnéticas foram desmagnetizados em média 10 espécimes de cada dique selecionado. As direções de magnetização dos espécimes foram determinadas pela seleção visual dos segmentos lineares do gráfico de Zijderveld (1967) e pela análise da componente principal (Kirschvink, 1980). A direção média da magnetização característica para cada dique foi obtida pela média da direção de magnetização de cada espécime do dique correspondente. Os parâmetros estatísticos foram calculados pelo método de Fisher (1953).

5. Desenvolvimento dos trabalhos

A **Tabela 1** mostra o cronograma das atividades desenvolvidas. As únicas dificuldades encontradas foram nos trabalhos de campo, devido ao difícil acesso aos

afloramentos. Não houve problemas na execução dos demais procedimentos desta pesquisa.

Tabela 1: Cronograma de atividades.

Atividade / Período	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Levantamento bibliográfico	■	■	■	■	■	■	■			
Elaboração de Projeto Inicial	■	■								
Trabalhos de Campo					■	■				
Preparação das amostras						■				
Trabalhos Experimentais						■	■	■	■	
Elaboração do Relatório de Progresso						■				
Análise de dados							■	■	■	
Interpretação de dados								■	■	
Elaboração da Monografia									■	■

6. Resultados

6.1. Petrografia

Foram analisadas seções delgadas de todos os diques amostrados, com o objetivo de diferenciar os diabásios dos lamprófiros.

A análise das lâminas mostrou que os diques UB-1, UB-4, UB-5, UB-6, UB-12, UB-14 e UB-18 são diabásio. Estes apresentam textura fanerítica muito fina, com matriz basicamente formada por plagioclásio ripiforme (idiomórfico e subidiomórfico) e piroxênio (pigeonita). Ocorre cerca de 10% de minerais opacos.

Os diques UB-7, UB-8, UB-9, UB-10, UB-11, UB-15, UB-16 e UB-19 são lamprófiros. Estes apresentam textura porfírica. A matriz é formada por um material isotrópico muito fino. Em alguns casos ocorre plagioclásio ripiforme idiomórfico a subidiomórfico na matriz. Todos os lamprófiros apresentam piroxênio castanho escuro, possivelmente titano-augita. Na maioria dos casos, apresentam fenocristais de olivina em abundância. Ocorrem ainda vesículas preenchidas por material carbonático. Em poucos casos ocorrem pseudomorfos de olivina, preenchidos por filossilicatos. Ocorre cerca de 7 a 10% de minerais opacos.

Alguns diques são afaníticos (UB-2, UB-3, UB-13 e UB-17), sendo impossível identificar sua mineralogia mesmo em seções delgadas. Um desses diques apresenta um material preto, de aspecto vítreo (UB-17). Os litotipos destes diques foram definidos com base na literatura (Garda, 1995; Damasceno, 1966), sendo todos eles tidos como diabásio. Entretanto, não pode-se afirmar com certeza o litotipo dos diques UB-2 e UB-3.

6.2. Anisotropias magnéticas

6.2.1. Anisotropia de suscetibilidade magnética (ASM)

A **Tabela 2** apresenta os resultados obtidos através das medidas de ASM para todos os diques estudados.

Tabela 2: Resultados de ASM obtidos para os diques de Ubatuba

Dique	Coordenadas		Loc.	Lit.	Direção	Espessura (m)	N	Parâmetros Escalares			Parâmetros direcionais			Trama
	Lat.	Long.						Km (10-3)	P	T	Kmax (Dec/Inc)	Kint (Dec/Inc)	Kmin (Dec/Inc)	
UB-1	23°27'33,4"	45°01'08,9"	PG	DIA	N67°	5	31	35,809	1,026	0,319	59/8	163/60	325/28	NOR
UB-2	23°29'28,9"	45°06'10,6"	SR	DIA?	N40°	?	48	67,442	1,038	-0,194	55/13	161/50	315/38	NOR
UB-3	23°29'32,8"	45°05'53,6"	EN	DIA?	N13°	0,2	20	57,978	1,025	-0,153	303/13	206/28	57/59	INV
UB-4	23°27'55,7"	45°03'27,8"	TE	DIA	N44°	>5	48	98,742	1,015	0,136	345/38	206/44	93/22	?
UB-5	23°29'38,6"	45°04'2,1"	PT	DIA	N45°	5	32	88,322	1,034	-0,364	71/54	220/32	319/15	NOR
UB-6	23°29'39,5"	45°04'2,1"	PT	DIA	N50°	10	53	90,729	1,020	0,226	75/28	176/20	297/55	?
UB-7	23°28'03,1"	45°03'7,5"	TE	LAMP	N40°	0,5	26	90,451	1,133	-0,231	223/6	105/78	314/11	NOR
UB-8	23°28'03,1"	45°03'7,5"	TE	LAMP	N40°	0,4	24	83,796	1,121	-0,024	231/5	104/82	322/7	NOR
UB-9	23°28'03,1"	45°03'7,5"	TE	LAMP	N44°	0,2	23	64,445	1,094	0,331	253/12	74/78	343/0	NOR
UB-10	23°28'03,1"	45°03'7,5"	TE	LAMP	N55°	0,2	26	77,639	1,077	-0,116	263/22	40/60	166/18	NOR
UB-11	23°28'01,9"	45°03'09,4"	TE	LAMP	N50°	0,5	26	54,594	1,136	0,579	55/7	282/80	146/7	NOR
UB-12	23°27'59,2"	45°03'09,3"	TE	DIA	N70°	0,1	27	72,141	1,031	0,104	220/23	352/58	121/21	NOR
UB-13	23°27'59,2"	45°03'09,3"	TE	DIA	N40°	0,35	15	46,506	1,039	-0,407	231/52	354/23	98/28	?
UB-14	23°27'54,7"	45°03'10,9"	TE	DIA	N40°	>40	36	46,717	1,015	0,307	212/18	94/54	312/30	NOR
UB-15	23°30'33,8"	45°07'52,7"	SU	LAMP	N40°	0,45	26	45,489	1,046	0,083	244/4	47/86	154/1	NOR
UB-16	23°30'33,8"	45°07'52,7"	SU	LAMP	N50°	0,7	38	45,489	1,046	0,083	230/17	83/70	323/10	NOR
UB-17	23°30'31,5"	45°07'53,8"	SU	DIA	N310°	0,25	11	30,786	1,013	-0,196	187/42	75/22	325/40	INV
UB-18	23°32'20,3"	45°11'04,7"	GB	DIA	N32°	>30	50	37,241	1,059	0,352	207/60	39/29	306/5	NOR
UB-19	23°32'19,8"	45°10'09,0"	CE	LAMP	N40°	2	36	101,730	1,023	-0,433	33/1	129/77	303/13	NOR

Lat e Long são respectivamente latitude (graus S) e longitude (graus W); Loc. é a localização dos diques estudados: PG = Ponta Grande, SR = Praia Santa Rita, EN = Praia da Enseada, TE = Praia do Tenório, PT = Ponta das Toninhas, SU = Praia do Sununga, GB = Praia Grande do Bonete e CE = Praia do Cedro; Lit. corresponde à litologia: DIA = Diabásio e LAMP = Lamprófiro; N é o número de espécimes medidos; Km é a suscetibilidade média do dique (SI); P = grau de anisotropia do dique; T = parâmetro da forma; Kmax, Kint e Kmin são respectivamente os eixos de suscetibilidade máxima, intermediária e mínima; Dec e Inc correspondem respectivamente à declinação e inclinação. Os tipos de tramas magnéticas são NOR = normal, INV = inversa e o símbolo "?" aparece quando não foi possível identificar o tipo de trama.

Os dados de ASM indicam que a maioria dos diques apresenta *trama magnética normal*, enquanto apenas dois diques (UB-3 e UB-17) apresentam *trama magnética inversa*. Exemplos dessas tramas magnéticas são apresentados na **Figura 5**.

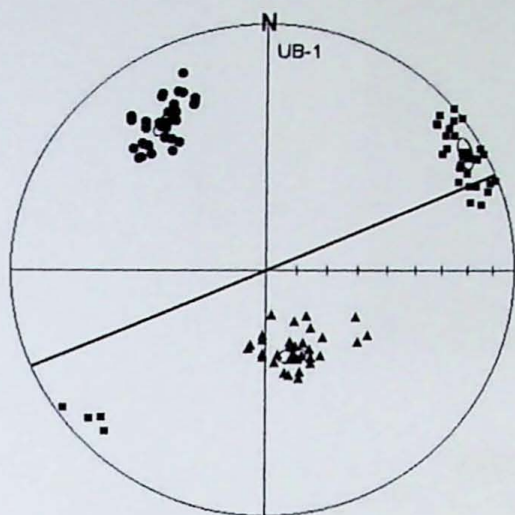
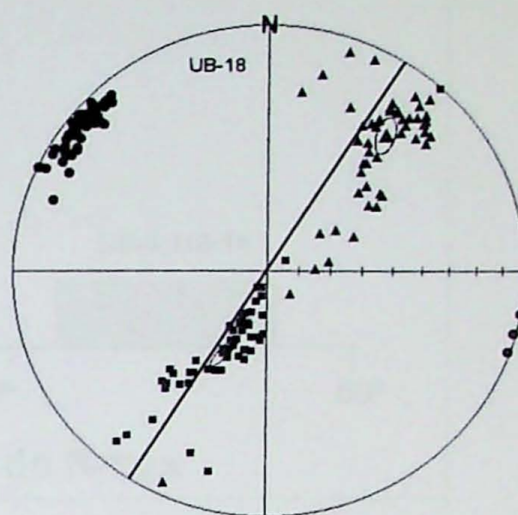
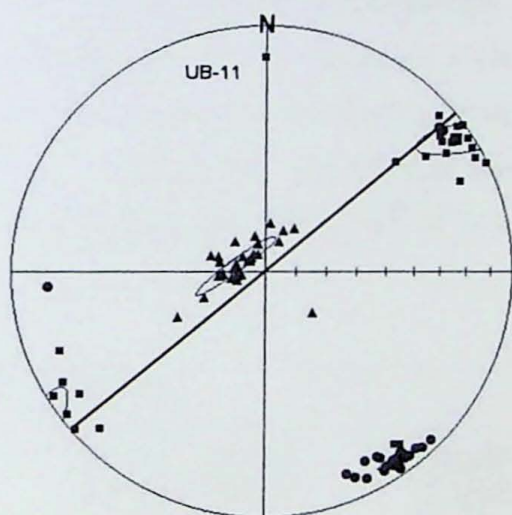
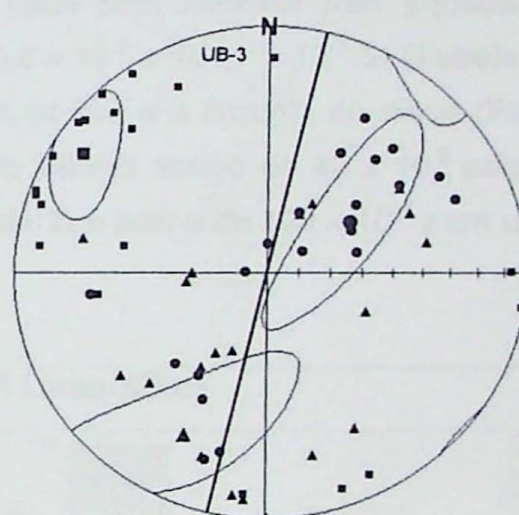
A) Diabásio – Trama Normal**B) Diabásio – Trama Normal****C) Lamprófiro – Trama Normal****D) Diabásio – Trama Inversa**

Figura 5: Exemplos de tramas magnéticas definidas pela ASM. (A) Trama normal com fluxo horizontal em dique de diabásio; (B) Trama normal com fluxo inclinado em dique de diabásio; (C) Trama normal com fluxo horizontal em dique lamprófico; (D) Trama inversa em dique de diabásio. Os eixos Kmax, Kint e Kmin são representados respectivamente pelos símbolos quadrados, triângulos e círculos. As médias são representadas pelos símbolos maiores. As direções dos diques são representadas pelos traços cheios.

A trama normal é comumente relacionada ao fluxo magmático. A direção do eixo Kmax (lineação magnética) indica a direção de fluxo de magma no preenchimento das fraturas. Através da inclinação deste eixo pode-se inferir a posição relativa das fontes alimentadoras dos diques. Quanto mais inclinado for o eixo Kmax, maior é a proximidade entre a fonte e as fraturas.

Neste estudo 14 diques apresentam trama normal bem definida, sendo 6 diabásios e 8 lamprófiros (**Tabela 2**). Na maioria dos casos o eixo Kmax é horizontal a subhorizontal, com inclinação $< 30^\circ$ (**Figura 6**). Apenas dois diques apresentam Kmax inclinado (UB-5 e UB-18), com inclinação entre 30 e 60° .

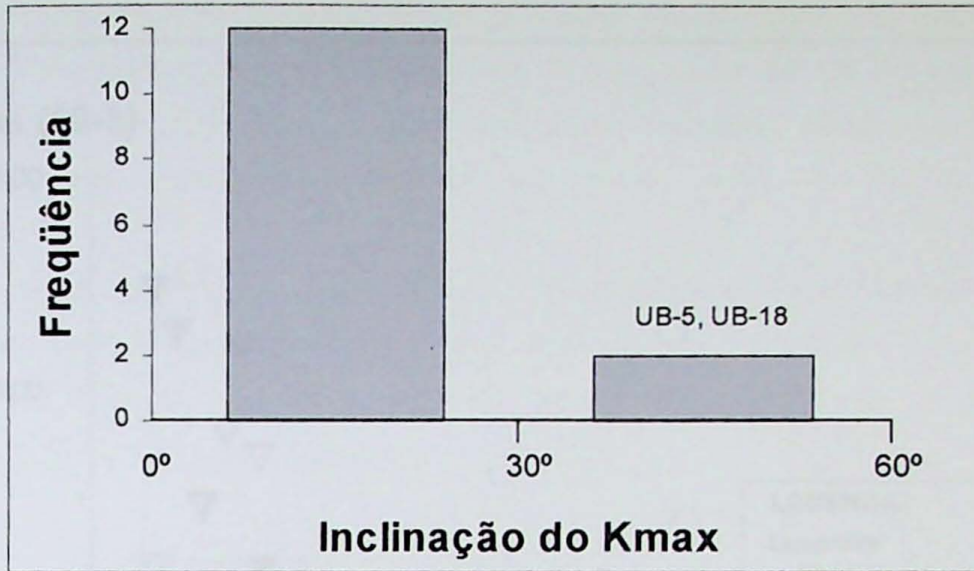


Figura 6: Histograma de frequência de inclinação do eixo Kmax para os diques com trama normal.

A suscetibilidade magnética média de cada sítio, definida pela equação $K_m = (K_{max} + K_{int} + K_{min})/3$, apresenta valores entre $35,8 \times 10^{-3}$ e $101,7 \times 10^{-3}$ SI (Tabela 2). Não existe uma relação significativa entre os valores de K_m e a litologia do dique (Figura 7). Nota-se apenas que, em poucos casos, ocorrem valores abaixo de 40×10^{-3} para alguns diques de diabásio (UB-1, UB-17 e UB-18, Tabela 2) e acima de 100×10^{-3} para um dique lamprofírico (UB-19).

A) Diabásios

B) Lamprófios

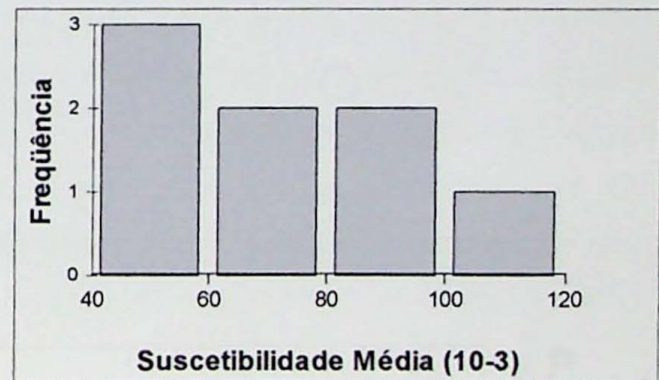
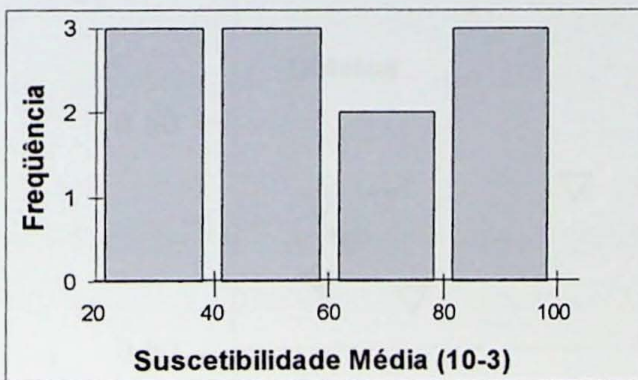


Figura 7: Histograma de frequência dos valores de suscetibilidade magnética média (unidade SI).

A magnitude da anisotropia magnética é definida pelo grau de anisotropia (P), onde $P = K_{max}/K_{min}$. Para os diques estudados não há relação direta entre os parâmetros P e K_m (Figura 8A). Pode-se considerar, apenas, que os diques lamprofíricos da Praia do Tenório apresentam o grau de anisotropia superior aos demais diques analisados.

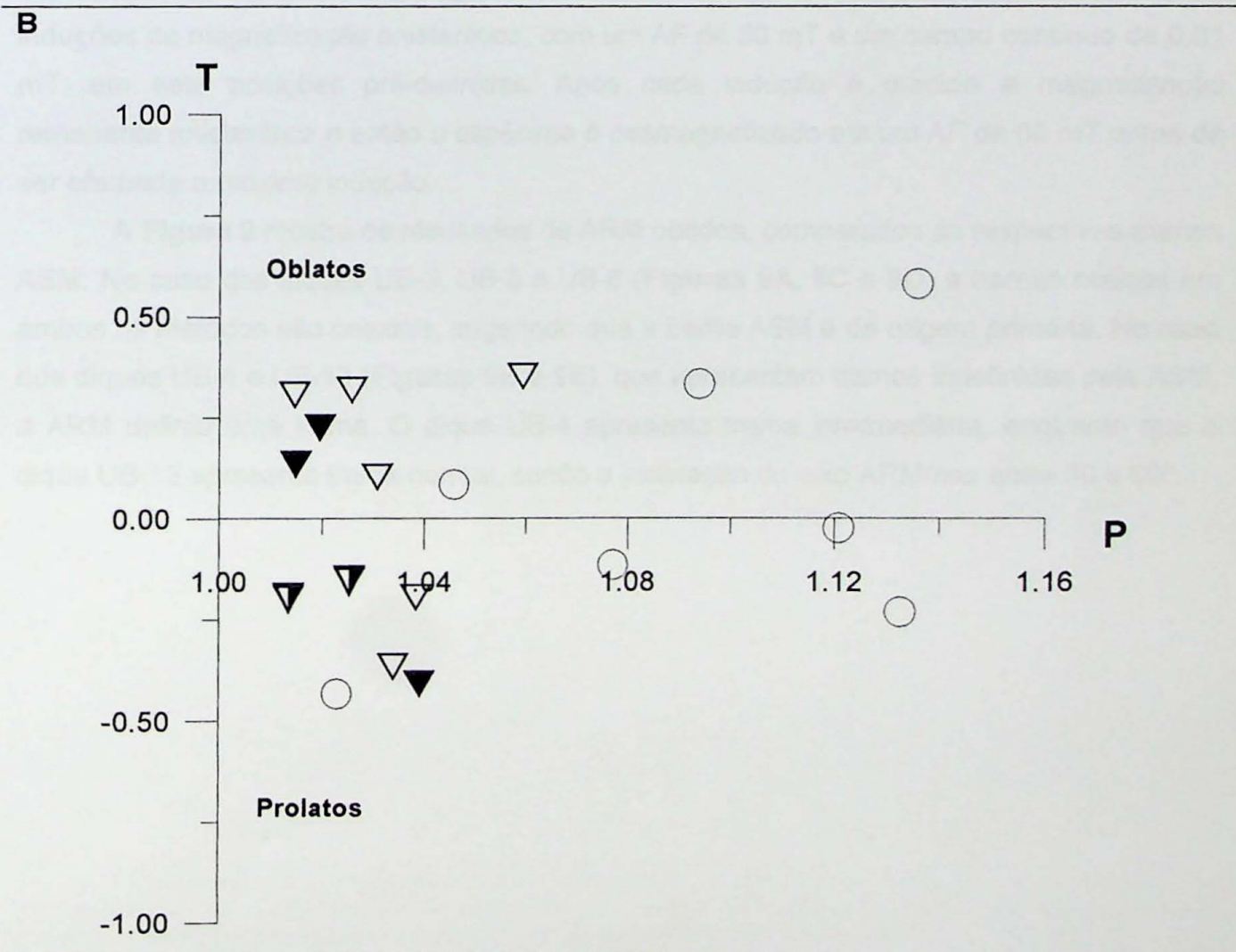
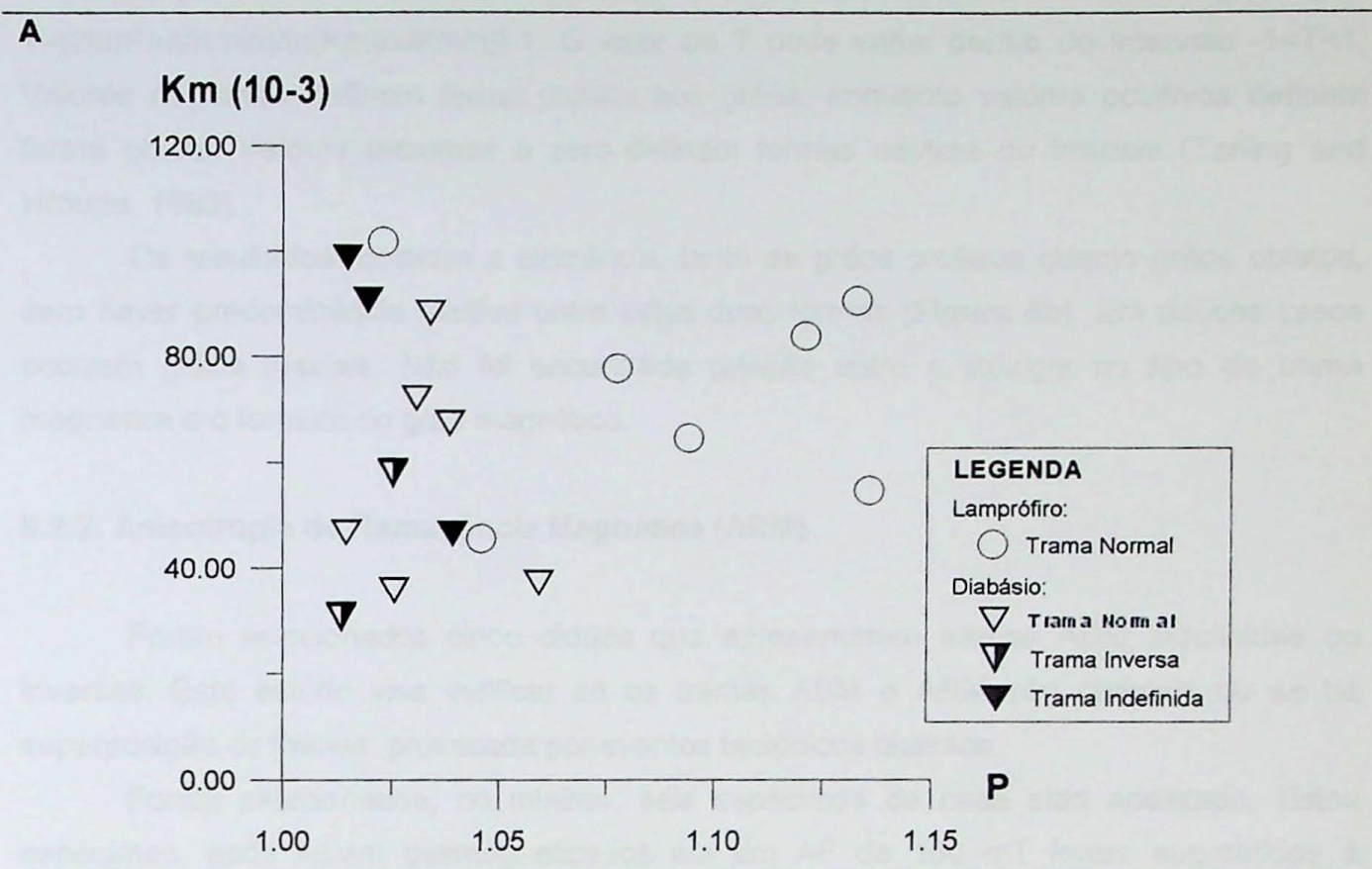


Figura 8: Comparação dos parâmetros escalares de ASM. (A) P x K; (B) P x T.

O parâmetro T (**Tabela 2**) define a forma do elipsóide de anisotropia, onde $T = [2\ln(K_{int}/K_{min})/\ln(K_{max}/K_{min})] - 1$. O valor de T pode variar dentro do intervalo $-1 < T < 1$. Valores negativos definem forma prolata aos grãos, enquanto valores positivos definem forma oblata. Valores próximos a zero definem formas neutras ou triaxiais (Tarling and Hrouda, 1993).

Os resultados mostram a existência, tanto de grãos prolatos quanto grãos oblatos, sem haver predominância relativa entre estas duas formas (**Figura 8b**). Em poucos casos ocorrem grãos triaxiais. Não foi encontrada relação entre a litologia ou tipo de trama magnética e o formato do grão magnético.

6.2.2. Anisotropia de Remanência Magnética (ARM)

Foram selecionados cinco diques que apresentaram tramas ASM indefinidas ou inversas. Este estudo visa verificar se as tramas ASM e ARM são coaxiais ou se há superposição de tramas, provocada por eventos tectônicos distintos.

Foram selecionados, no mínimo, seis espécimes de cada sítio analisado. Estes espécimes, após serem desmagnetizados em um AF de 100 mT foram submetidos à induções de magnetização anisterética, com um AF de 50 mT e um campo contínuo de 0,01 mT, em sete posições pré-definidas. Após cada indução é medida a magnetização remanente anisterética e então o espécime é desmagnetizado em um AF de 60 mT antes de ser efetuada a próxima indução.

A **Figura 9** mostra os resultados de ARM obtidos, comparados às respectivas tramas ASM. No caso dos diques UB-3, UB-5 e UB-6 (**Figuras 9A, 9C e 9D**) a tramas obtidas em ambos os métodos são coaxiais, sugerindo que a trama ASM é de origem primária. No caso dos diques UB-4 e UB-13 (**Figuras 9B e 9E**), que apresentam tramas indefinidas pela ASM, a ARM definiu uma trama. O dique UB-4 apresenta trama intermediária, enquanto que o dique UB-13 apresenta trama normal, sendo a inclinação do eixo ARM_{max} entre 30 e 60°.

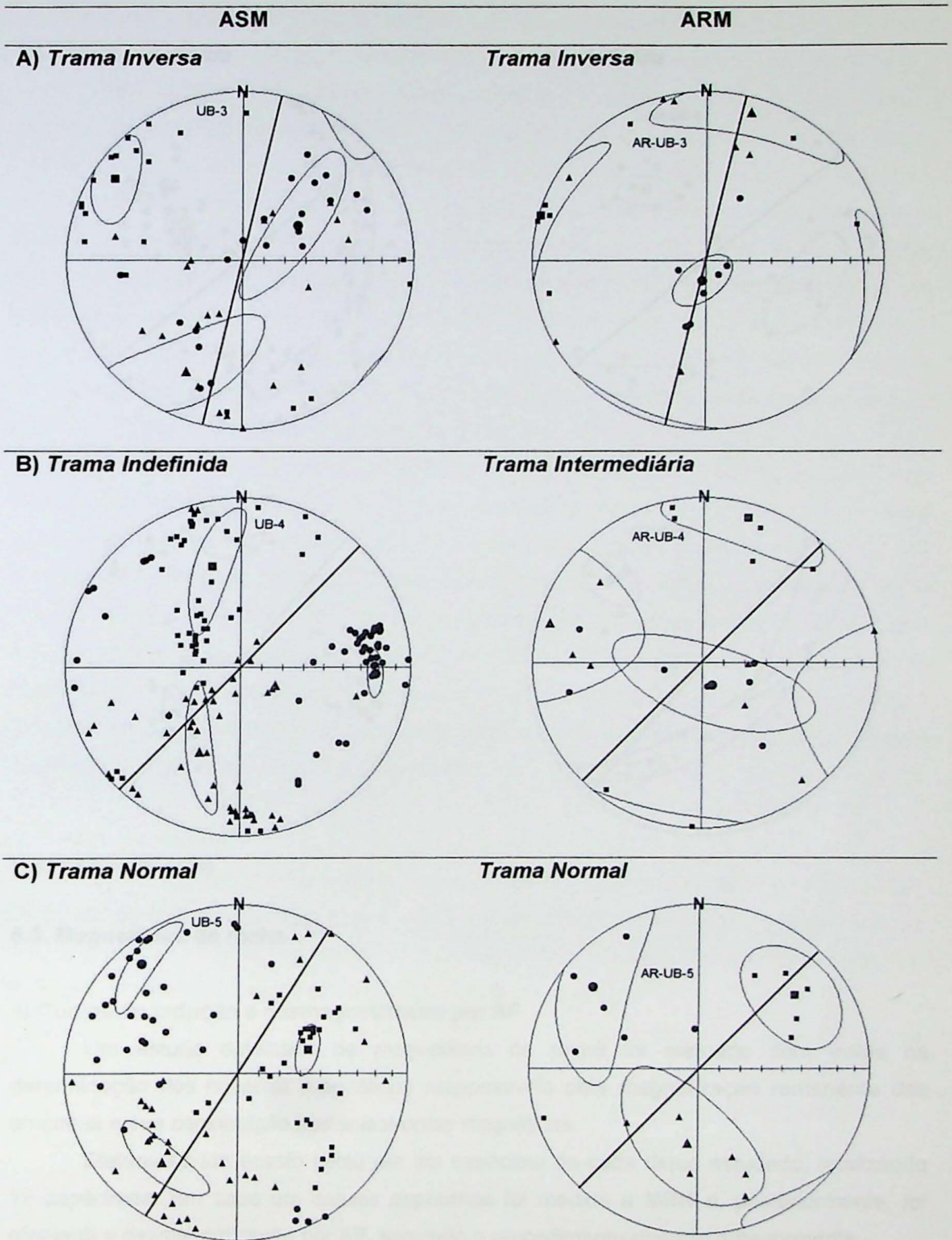


Figura 9: Comparação das tramas ASM com as tramas ARM. Os eixos Kmax, Kint e Kmin são representados respectivamente pelos símbolos quadrados, triângulos e círculos. As médias são representados pelos símbolos maiores. As direções dos diques são representadas pelos traços cheios. (Continua...)

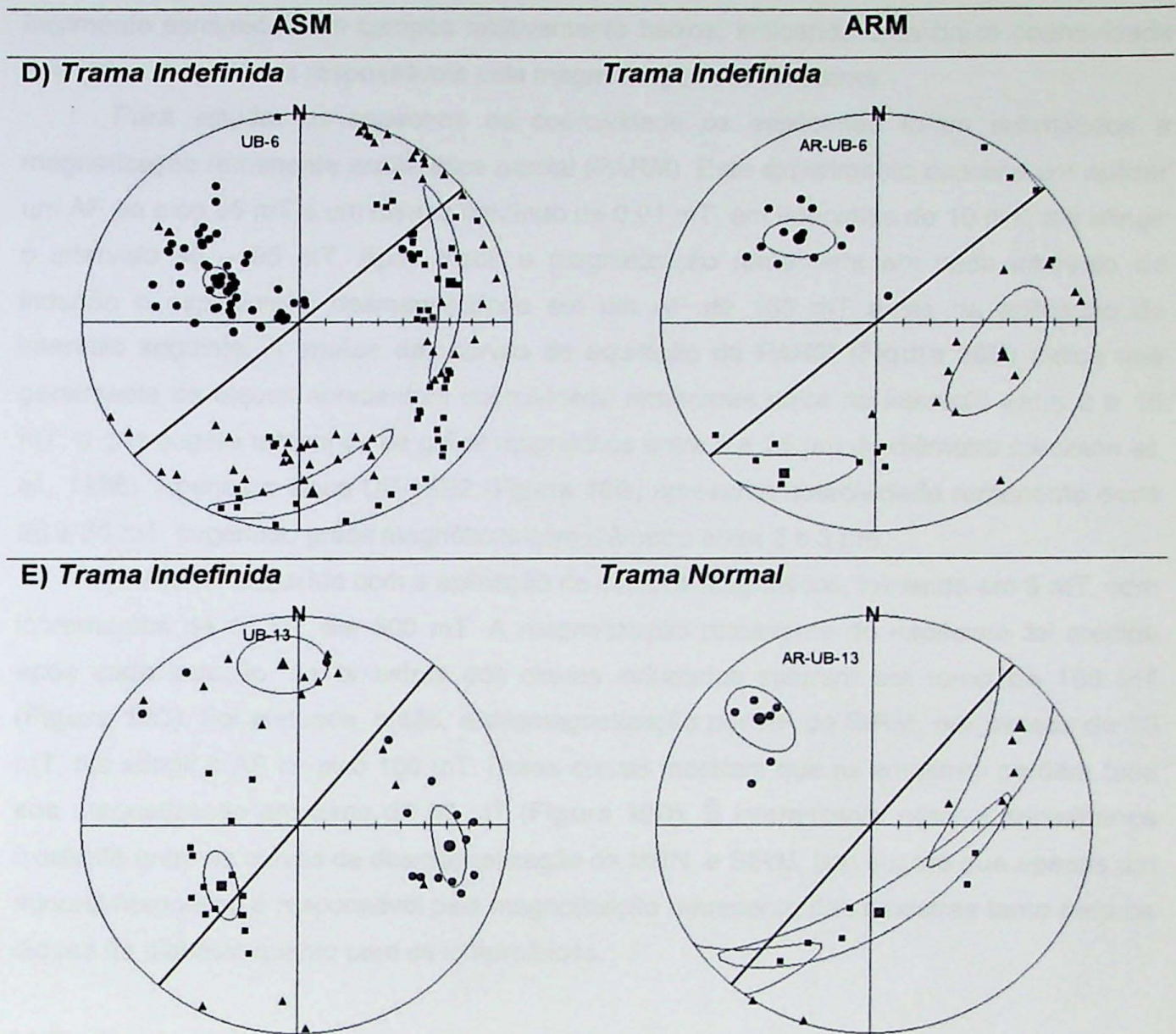


Figura 9 (Continuação)

6.3. Magnetismo de rocha

a) Curvas de indução e desmagnetização por AF

Um estudo detalhado de magnetismo de rocha foi efetuado com vistas na determinação dos minerais magnéticos responsáveis pela magnetização remanente das amostras e sua contribuição nas anisotropias magnéticas.

Efetua-se um ensaio piloto em um espécime de cada dique estudado, totalizando 19 espécimes. Em cada um desses espécimes foi medida a MRN e, posteriormente, foi efetuada a desmagnetização por AF, seguindo o procedimento descrito anteriormente.

As curvas de desmagnetização da MRN (**Figura 10A**) mostram comportamentos semelhantes entre os espécimes de diabásio e de lampróiro. Na maioria dos casos os espécimes perdem 90% na MRN entre 10 e 20 mT. Em poucos casos essa perda ocorre acima de 30 mT. Observa-se também que em 60 mT a maioria dos espécimes perde

praticamente toda sua magnetização. De modo geral, as componentes de magnetização são facilmente eliminadas em campos relativamente baixos, indicando uma baixa coercividade dos grãos magnéticos responsáveis pela magnetização das amostras.

Para estudar os espectros de coercividade os espécimes foram submetidos à magnetização remanente anisterética parcial (PARM). Este experimento consiste em aplicar um AF de pico 95 mT e um campo contínuo de 0,01 mT, em intervalos de 10 mT, até atingir o intervalo 90 – 95 mT. Após medir a magnetização remanente em cada intervalo de indução o espécime é desmagnetizado em um AF de 100 mT antes da aplicação do intervalo seguinte. A análise das curvas de aquisição da PARM (**Figura 10B**) indica que geralmente os diques apresentam coercividade remanente entre no intervalo entre 0 e 10 mT, o que sugere tamanhos de grãos magnéticos entre 5 e 25 μm de diâmetro (Jackson *et. al.*, 1988). Apenas o dique UB-13E2 (**Figura 10B**) apresenta coercividade remanente entre 20 e 30 mT, sugerindo grãos magnéticos com diâmetro entre 2 e 3 μm .

A IRM foi adquirida com a aplicação de campos magnéticos, iniciando em 5 mT, com incrementos de 10 mT até 500 mT. A magnetização remanente do espécime foi medida após cada indução. As amostras dos diques estudados saturam em torno de 100 mT (**Figura 10C**). Foi efetuada, então, a desmagnetização por AF da SIRM, em passos de 10 mT, até atingir o AF de pico 100 mT. Essas curvas mostram que as amostras perdem toda sua magnetização em torno de 60 mT (**Figura 10D**). É interessante notar a semelhança existente entre as curvas de desmagnetização da MRN, e SIRM. Isto sugere que apenas um mineral magnético é responsável pela magnetização remanente das amostras tanto para os diques de diabásio quanto para os lamprofíricos.

b) Curvas de histerese

Para aquisição dos dados de histerese foi selecionada uma amostra de cada dique. As curvas de histerese (**Figura 11**) apresentam forma simétrica e indicam que os minerais ferromagnéticos controlam a suscetibilidade magnética. Observa-se que as curvas de histerese são semelhantes para os lamprofíros e diabásios.

A **Tabela 3** mostra os parâmetros de histerese adquiridos para todos os diques estudados. A análise desses parâmetros mostra que a força coerciva (H_c) varia entre 4,3 e 29,8 mT e a força coerciva remanente (H_{cr}) varia entre 10,9 e 66,36 mT. Esses valores não mostram diferenças significativas entre os diabásios e os lamprofíros. No entanto, alguns diques de diabásio apresentam H_{cr} bem superiores aos demais, como é o caso dos UB-12 e UB-17.

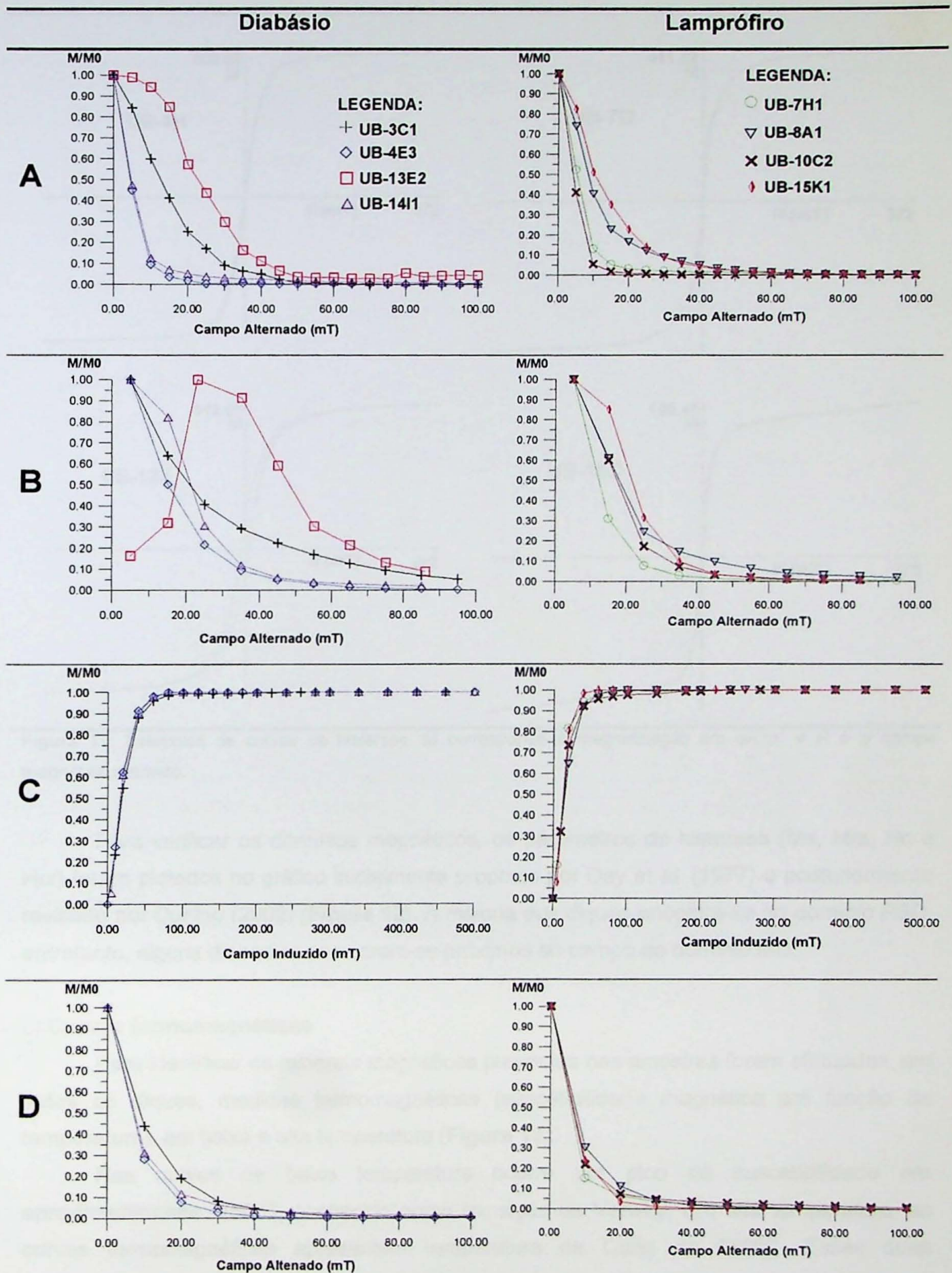


Figura 10: Exemplos dos dados de magnetismo de rocha. M = Magnetização Remanente; M0 = Magnetização Inicial. (A) Desmagnetização por AF da MRN; (B) Aquisição da PARM; (C) Aquisição da IRM; (D) Desmagnetização da SIRM.

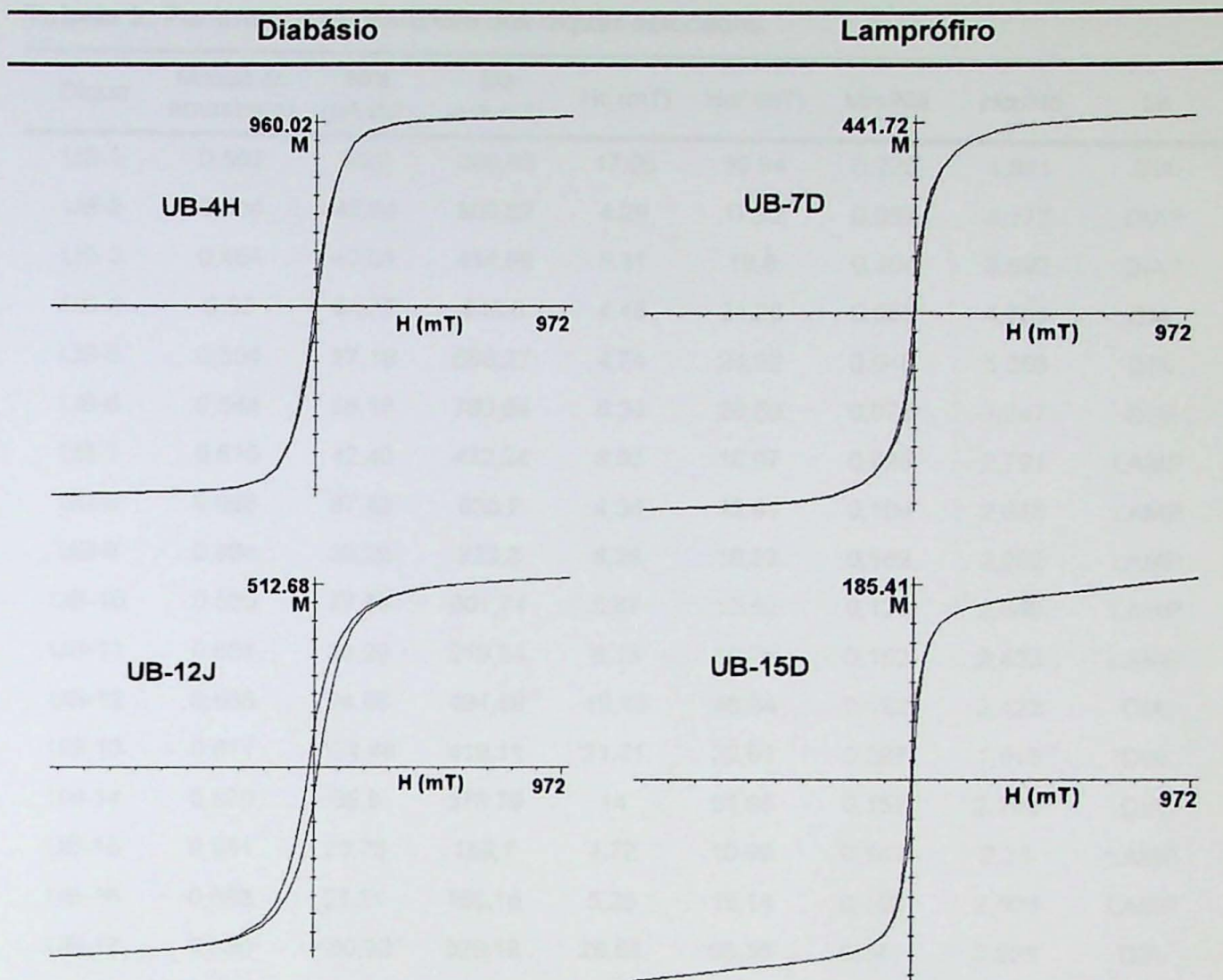


Figura 11: Exemplos de curvas de histerese. M corresponde à magnetização em $\mu\text{A}\cdot\text{m}^2$ e H é o campo magnético aplicado.

Para verificar os domínios magnéticos, os parâmetros de histerese (M_s , M_r , H_c e H_{cr}) foram plotados no gráfico inicialmente proposto por Day *et al.* (1977) e posteriormente revisado por Dunlop (2002) (**Figura 12**). A maioria dos diques encontra-se no domínio PSD, entretanto, alguns diabásios encontram-se próximos ao campo do domínio MD.

c) Curvas termomagnéticas

Para identificar os minerais magnéticos presentes nas amostras foram efetuadas, em todos os diques, medidas termomagnéticas (susceptibilidade magnética em função da temperatura), em baixa e alta temperatura (**Figura 13**).

Nas curvas de baixa temperatura ocorre um pico de susceptibilidade em aproximadamente -150°C , conhecido como transição de Verwey. Em alta temperatura, as curvas termomagnéticas apresentam temperatura de Curie de 580°C . Essas duas características indicam a magnetita como o principal mineral magnético presente, tanto nos diques de diabásio quanto nos diques lamprófiricos.

Tabela 3: Parâmetros de histerese dos diques estudados.

Dique	Massa da amostra(g)	Mrs ($\mu\text{A.m}^2$)	Ms ($\mu\text{A.m}^2$)	Hc (mT)	Hcr (mT)	Mrs/Ms	Hcr/Hc	Lit
UB-1	0,553	69,2	306,03	17,08	30,94	0,226	1,811	DIA
UB-2	0,514	45,84	803,62	4,29	17,92	0,057	4,177	DIA?
UB-3	0,454	43,01	414,66	5,31	19,6	0,104	3,692	DIA?
UB-4	0,65	54,77	943,6	4,45	21,26	0,058	4,781	DIA
UB-5	0,594	27,19	568,27	4,74	24,92	0,048	5,256	DIA
UB-6	0,544	58,16	760,84	6,34	20,58	0,076	3,247	DIA
UB-7	0,615	42,43	432,24	3,93	10,97	0,098	2,791	LAMP
UB-8	0,695	97,42	936,2	4,36	12,41	0,104	2,848	LAMP
UB-9	0,684	36,26	223,3	8,28	18,23	0,162	2,202	LAMP
UB-10	0,539	77,59	601,74	5,87	15,52	0,129	2,646	LAMP
UB-11	0,666	33,29	219,54	8,13	19,78	0,152	2,433	LAMP
UB-12	0,666	94,86	494,59	19,13	46,34	0,192	2,423	DIA
UB-13	0,611	124,46	419,11	21,71	32,91	0,297	1,515	DIA
UB-14	0,679	56,9	373,79	14	31,95	0,152	2,283	DIA
UB-15	0,551	23,76	159,7	4,72	10,99	0,149	2,33	LAMP
UB-16	0,663	25,31	166,15	5,25	13,14	0,152	2,503	LAMP
UB-17	0,698	180,32	529,18	29,81	66,36	0,341	2,226	DIA
UB-18	0,6	76	547,25	12,28	28,98	0,139	2,36	DIA
UB-19	0,603	26,12	494,79	3,76	12,97	0,053	3,445	LAMP

Mrs (magnetização de saturação remanente), Ms (magnetização de saturação), Hc (força coerciva), Hcr (força coerciva de remanência). Lit. define o litotipo, sendo DIA = diabásio e LAMP = lamprófiro.

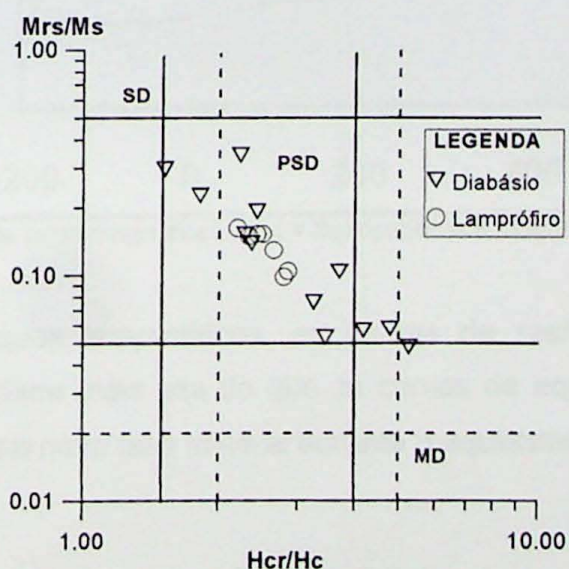


Figura 12: Gráfico Mrs/MS versus Hcr/Hc. Os traços contínuos representam os limites propostos por Day *et al.* (1977). Os traços pontilhados são os limites recalculados por Dunlop (2002). Mrs (magnetização de saturação remanente), Ms (magnetização de saturação), Hc (força coerciva), Hcr (força coerciva de remanência).

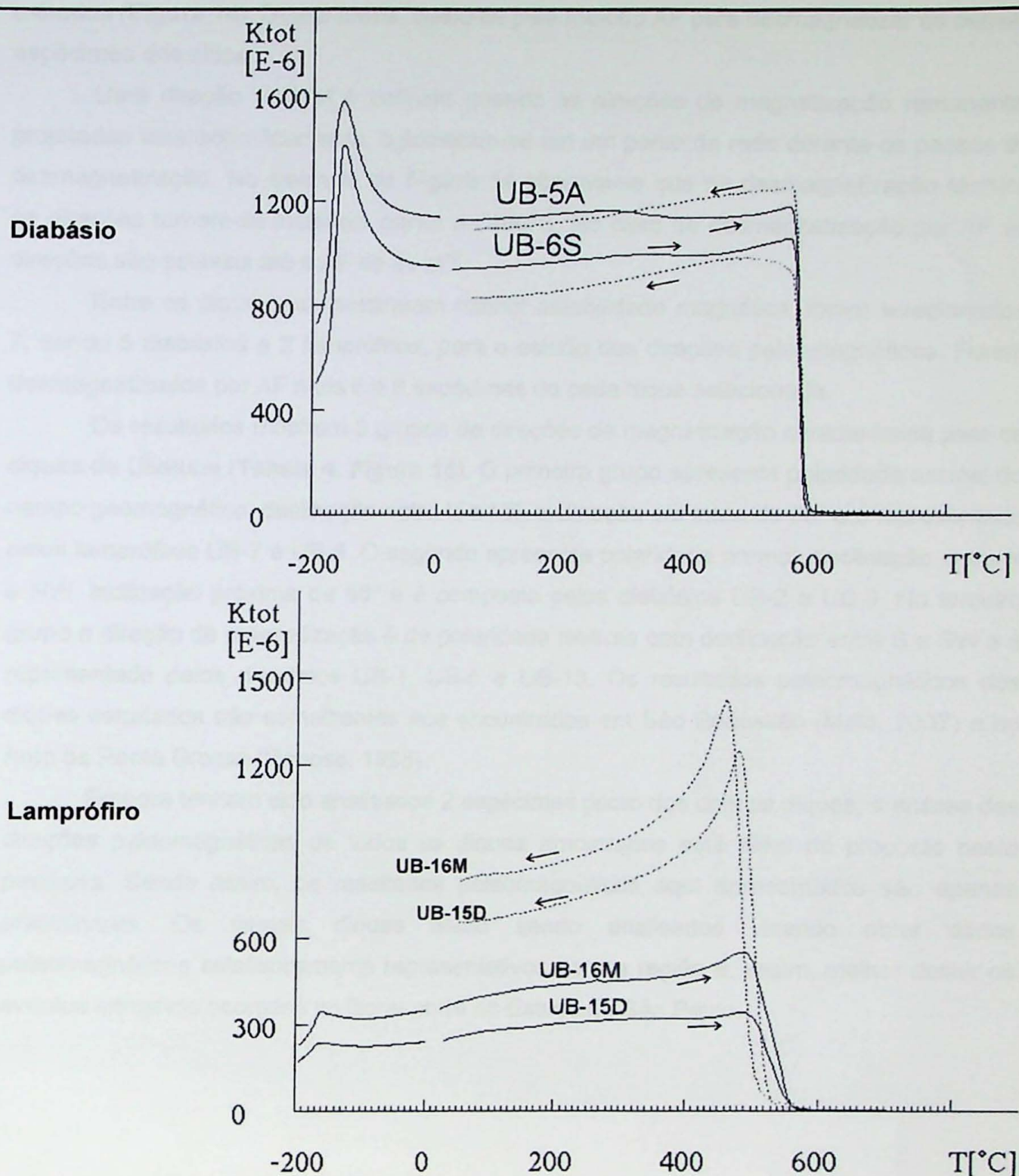


Figura 13: Exemplos de curvas termomagnéticas. K_{tot} = Suscetibilidade Magnética total (SI). T = Temperatura.

No caso dos diques lamprófiros, as curvas de resfriamento são irreversíveis, apresentando suscetibilidade mais alta do que as curvas de aquecimento (Figura 13). Isto sugere a formação de uma nova fase mineral durante o aquecimento.

6.4. Paleomagnetismo

Os dados das desmagnetizações térmicas e por AF realizadas nos espécimes piloto mostram semelhança nas direções de magnetização remanente encontradas em ambos os

métodos (**Figura 14**). Dessa forma, optou-se pelo método AF para desmagnetizar os demais espécimes dos sítios.

Uma direção estável é definida quando as direções de magnetização remanente, projetadas estereograficamente, aglomeram-se em um ponto da rede durante os passos de desmagnetização. No exemplo da **Figura 14** observa-se que na desmagnetização térmica as direções tornam-se instáveis acima de 400°C. No caso da desmagnetização por AF as direções são estáveis até o AF de 80 mT.

Entre os diques que mostraram melhor estabilidade magnética, foram selecionados 7, sendo 5 diabásios e 2 lamprófiros, para o estudo das direções paleomagnéticas. Foram desmagnetizados por AF mais 6 a 8 espécimes de cada dique selecionado.

Os resultados mostram 3 grupos de direções de magnetização característica para os diques de Ubatuba (**Tabela 4, Figura 15**). O primeiro grupo apresenta polaridade normal do campo geomagnético, declinação entre N e NE, inclinação em torno de 50° e é representado pelos lamprófiros UB-7 e UB-8. O segundo apresenta polaridade normal, declinação entre N e NW, inclinação próxima de 50° e é composto pelos diabásios UB-2 e UB-6. No terceiro grupo a direção de magnetização é de polaridade reversa com declinação entre S e SW e é representado pelos diabásios UB-1, UB-5 e UB-13. Os resultados paleomagnéticos dos diques estudados são semelhantes aos encontrados em São Sebastião (Malo, 2007) e no Arco de Ponta Grossa (Raposo, 1995).

Embora tenham sido analisados 2 espécimes piloto dos demais diques, a análise das direções paleomagnéticas de todos os diques amostrados está além do proposto nesta pesquisa. Sendo assim, os resultados paleomagnéticos aqui apresentados são apenas preliminares. Os demais diques estão sendo analisados visando obter dados paleomagnéticos estatisticamente representativos para a região e, assim, melhor definir os eventos intrusivos ocorridos no litoral norte do Estado de São Paulo.

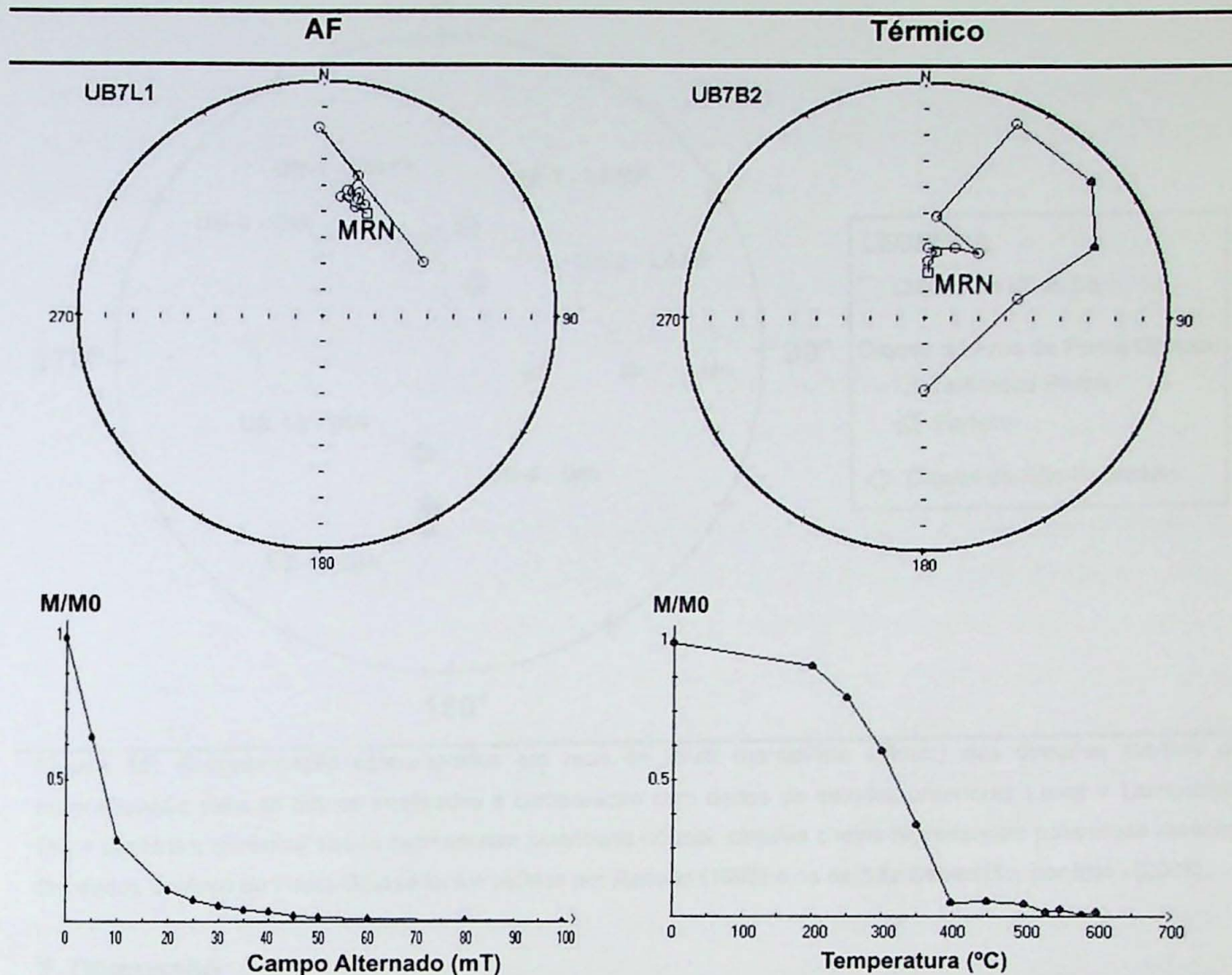


Figura 14: Exemplos de direções de magnetização remanente e suas respectivas curvas de desmagnetização dos métodos AF e térmico.

Tabela 4: Dados paleomagnéticos dos diques de Ubatuba.

sítio	Coordenadas Geográficas		Lit.	Nº	Direção de Magnetização Média				Pol.	Pólo Geomagnético Virtual			
	Long. ° W	Lat. ° S			Dec. (graus)	Inc. (graus)	$\alpha_{95\%}$ (graus)	K		Long. (graus)	Lat. (graus)	Dm (graus)	Dp (graus)
UB-1	-45,02	-23,46	DIA	9	185,7	32,6	5,9	77,3	R	179,0	-82,1	6,7	3,8
UB-2	-45,10	-23,49	DIA?	10	355,8	-44,1	5,9	68,5	N	11,8	-85,5	7,4	4,6
UB-5	-45,07	-23,49	DIA	10	192,3	54,5	5,6	76,2	R	274,9	-74,3	7,9	5,5
UB-6	-43,07	-23,49	DIA	10	337,2	-52,8	9,1	29,2	N	15,6	-67,8	12,6	8,7
UB-7	-45,05	-23,47	LAMP	9	19,0	-49,5	5,4	93,0	N	251,1	-71,8	7,1	4,7
UB-8	-45,05	-23,47	LAMP	9	33,9	-47,5	6,9	57,1	N	241,9	-59,2	8,9	5,8
UB-13	-45,05	-23,47	DIA	8	193,9	54,7	2,5	480,7	R	272,3	-73,2	3,6	2,5

Long. = Longitude (°W); Lat. = Latitude (°S); Lit. = Litologia: DIA = Diabásio, LAMP = Lamprófire; Nº= número de espécimes analisados; $\alpha_{95\%}$ e K são os parâmetros estatísticos de Fischer (1953); Pol = Polaridade; Dm e Dp definem o círculo de 95% de confiança dos pólos geomagnéticos virtuais.

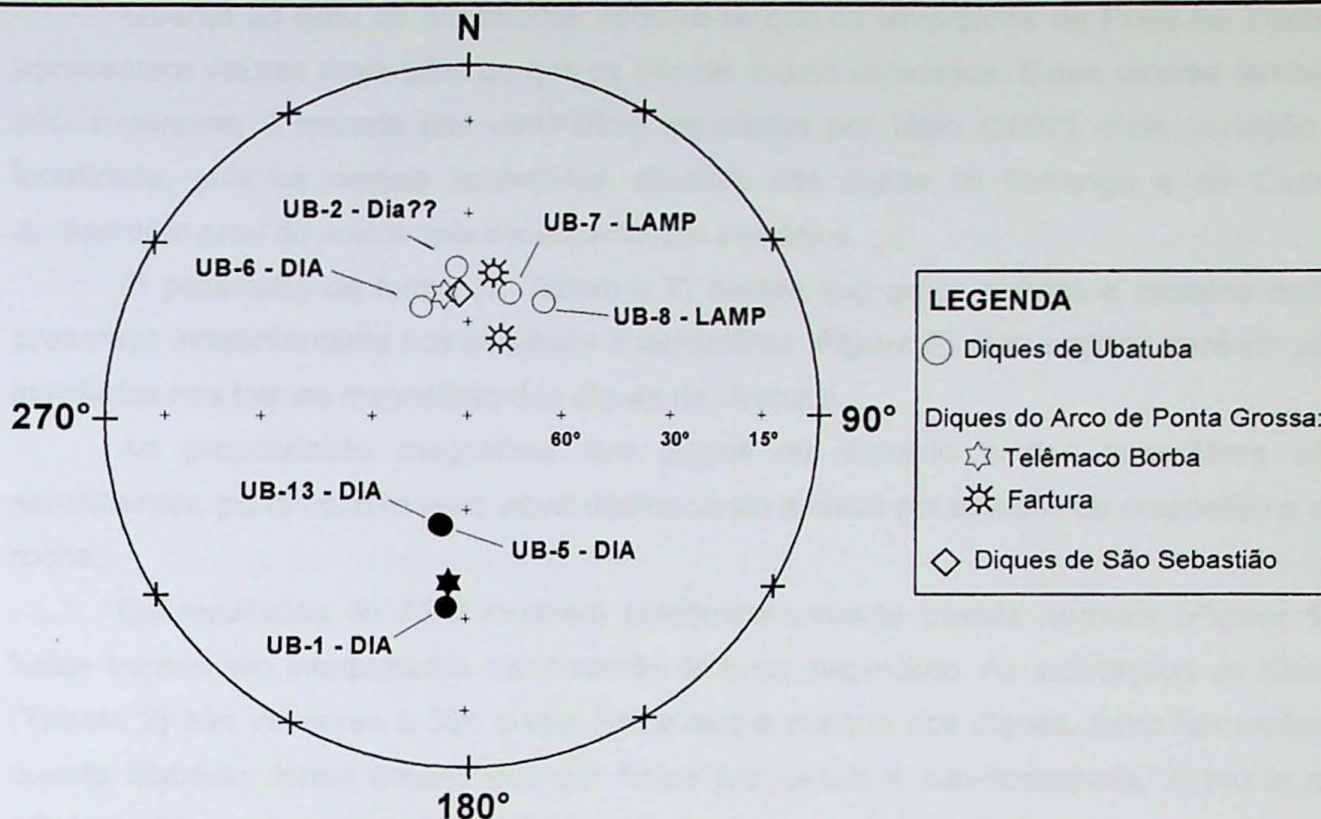


Figura 15: Representação estereográfica em rede de Wulff (hemisfério inferior) das direções médias de magnetização para os diques analisados e comparação com dados de estudos anteriores Lamp = Lamprófiro; Dia = Diabásio; símbolos vazios representam polaridade normal; círculos cheios representam polaridade reversa. Os dados do Arco de Ponta Grossa foram obtidos por Raposo (1995) e os de São Sebastião, por Malo (2007).

7. Discussão

Os dados de magnetismo de rocha mostram que a suscetibilidade magnética das rochas estudadas é controlada pelos minerais ferromagnéticos, sendo a contribuição paramagnética praticamente nula, como se observa nas formas das curvas de histerese (**Figura 11**). As curvas de desmagnetização da MRN, aquisição da IRM e desmagnetização da SIRM (**Figuras 10A, 10C e 10D**) sugerem que apenas um mineral magnético, de baixa coercividade, contribui para a magnetização remanente das amostras. As curvas termomagnéticas (**Figura 13**) mostram temperaturas de Curie em torno de 580°C e uma transição a -150°C (transição de Verwey), estas temperaturas são características da magnetita, portanto, este é o mineral magnético presente nos diques de Ubatuba.

O estudo dos domínios magnéticos indica que os diques se enquadram no domínio PSD, estando alguns diabásios próximos ao campo do domínio MD (**Figura 12**). Isto é reforçado pela análise das curvas de aquisição da PARM (**Figura 10B**), que sugere grãos magnéticos com tamanhos entre 5 e 25 μm .

A magnitude da suscetibilidade magnética varia entre $35,8 \times 10^{-3}$ e $101,7 \times 10^{-3}$ SI (**Tabela 2**). Estes valores foram encontrados tanto para os diabásios como para os lamprófiros.

Quanto ao grau de anisotropia, observa-se que os lamprófios da Praia do Tenório apresentam valores mais altos do que os demais diques estudados. Estes valores também são superiores à maioria dos lamprófios estudados por Malo (2007). Esta variação é localizada, pois os demais lamprófios, situados nas praias do Sununga e do Cedro, apresentam grau de anisotropia semelhante aos diabásios.

O parâmetro de forma (T , Tabela – 2) mostra que grãos oblatos e prolatos estão presentes indistintamente nos diabásios e lamprófios (**Figura 8**). Estes grãos também são indistintos nas tramas magnéticas dos diques de Ubatuba.

As propriedades magnéticas dos diques de diabásio e dos lamprófios são semelhantes, portanto, não seria viável diferenciá-los apenas por estudos de magnetismo de rocha.

Os resultados de ASM mostram predominantemente tramas normais (**Figura 5**). Estas tramas são interpretadas como sendo de fluxo magmático. As inclinações de K_{max} (**Tabela 2**) são inferiores a 30° , o que indica que a maioria dos diques, tanto lamprófios quanto diabásio, foram preenchidos por fluxos horizontais a sub-horizontais. A trama de ASM mostra que apenas 2 diques de diabásio foram preenchidos por fluxos inclinados (com inclinação entre 30 e 60°) um na Ponta da Toninhas e outro na Praia Grande do Bonete. As tramas dadas pela ASM e ARM são coaxiais para a maioria dos diques analisados (**Figura 9 A, 9C e 9D**). Entretanto a ARM definiu uma trama normal para o dique UB-13 que também é diabásio, este dique foi preenchido por fluxo inclinado como mostra o eixo de $ARM_{max} > 30^\circ$ (**Figura 9E**). Estes padrões de fluxo também foram encontrados nos diques de São Sebastião (Malo, 2007) e nos diques do enxame do Arco de Ponta Grossa (Raposo & Ernesto, 1995).

A ocorrência de diques de composições básica e lamprófica na região de Ubatuba indica que pelo menos duas fontes magmáticas distintas alimentaram os diques. As tramas de fluxo horizontal a sub-horizontal sugerem que os diques estavam distantes das suas respectivas fontes alimentadoras (câmara magmática). Já os diques que apresentam fluxo inclinado estariam relativamente mais próximos a elas.

A trama de fluxo magmático horizontal a sub-horizontal encontrada para os lamprófios permite inferir uma fonte alimentadora localizada na região de São Sebastião, onde fluxos verticais foram encontrados para diques de mesma composição (Malo, 2007).

A maioria dos diabásios apresenta fluxo horizontal a sub-horizontal sugerindo que a fonte alimentadora estava distante da região de Ubatuba. Entretanto em três diques o fluxo magmático é inclinado, o que sugere uma fonte localizada relativamente próxima à região estudada. O padrão de fluxo encontrado para os diques de diabásio (horizontal-inclinado) permite inferir que (i) os diques foram alimentados por mais de uma fonte (câmara magmática) magmática localizadas em diferentes regiões ou (ii) os diques foram

alimentados por uma única fonte, tendo ocorrido um deslocamento da Placa Sul-Americana, o que justificaria o fluxo horizontal.

As direções paleomagnéticas obtidas para os diques analisados (total de 7), embora preliminares, indicam que os diques de diabásio foram colocados em dois eventos intrusivos distintos, como é evidenciado pelas polaridades normal e reversa do campo geomagnético. Os diques de lamprófiros foram colocados quando o campo geomagnético apresentava polaridade normal e direção de magnetização ligeiramente distinta dos diabásios com polaridade normal.

Os dados paleomagnéticos obtidos foram comparados com os existentes para os diques de lamprófiro de São Sebastião (Malo, 2007) e para os diques de diabásio do Arco de Ponta Grossa (Raposo, 1995). A direção de magnetização dos diabásios de Ubatuba com polaridade normal (**Figura 15**) é semelhante às direções de magnetização dos lamprófiros de São Sebastião e dos diabásios com polaridade normal de Telêmaco Borba (região central do Arco de Ponta Grossa). Os diabásios de Ubatuba com polaridade reversa apresentam direção de magnetização semelhante a dos diabásios de polaridade reversa de Telêmaco Borba (**Figura 15**). A direção de magnetização dos lamprófiros de Ubatuba é semelhante àquelas encontradas para a área de Fatura (diabásios, região norte do Arco de Ponta Grossa).

A análise comparativa das direções de magnetização sugere que os diques de diabásio de Ubatuba, com polaridade normal, foram colocados contemporaneamente aos diques de Telêmaco Borba e aos lamprófiros de São Sebastião, enquanto que os lamprófiros de Ubatuba foram contemporâneos aos diques de Fatura. Isto indica que fontes geoquimicamente distintas estavam ativas simultaneamente durante o Cretáceo. Os diabásios de Ubatuba, com polaridade reversa, foram contemporâneos aos diques de Telêmaco Borba indicando que fontes geoquimicamente semelhantes também estavam ativas simultaneamente nesse período. Portanto, os dados paleomagnéticos permitem inferir que os lamprófiros de Ubatuba e de São Sebastião foram colocados em episódios intrusivos distintos, entretanto, esta hipótese será melhor investigada quando mais dados paleomagnéticos forem obtidos para os demais diques do litoral norte do estado de São Paulo.

A associação das tramas magnéticas com os dados paleomagnéticos não é trivial de ser feita, tendo em vista a carência de dados paleomagnéticos dos demais diques que foram analisados somente para as anisotropias magnéticas. Entretanto, mesmo assim, um fato que chama a atenção é que dos três diques de diabásio, com polaridade reversa, dois deles apresentam fluxo magmático inclinado, sugerindo uma fonte próxima a eles. Se os demais diabásios de Ubatuba foram alimentados por essa fonte, então, a Placa Sul-Americana deve ter sofrido um deslocamento.

8. Conclusões

A magnetita é o mineral magnético responsável pela magnetização remanente e pelas anisotropias magnéticas tanto nos diabásios quanto nos lamprófiros. Seus grãos têm tamanhos entre 5 e 25 μm e apresentam estruturas de domínio do tipo PSD, alguns diques estão próximos do tipo MD. Os litotipos estudados (lamprófiros e diabásios) apresentam propriedades magnéticas semelhantes.

A maioria dos diques apresenta trama magnética do tipo normal. Esta trama é interpretada como fluxo magmático. A análise da inclinação da lineação magnética (K_{max}) permitiu inferir que os diques foram predominantemente alimentados por fluxos horizontais a sub-horizontais e apenas três diabásios apresentam fluxos inclinados. Portanto, o modo de preenchimento das fraturas independe da composição do dique. Uma possível fonte alimentadora dos lamprófiros estaria localizada na área de São Sebastião, enquanto que para os diabásios a fonte estaria próxima da região de Ubatuba. Porém se esta fonte também alimentou os diabásios com fluxos horizontais, pode ser inferido um deslocamento da Placa Sul-Americana que provocou um maior distanciamento entre fonte e as fraturas.

Os dados paleomagnéticos sugerem que os diques de Ubatuba foram colocados em três eventos intrusivos diferentes. A comparação dos dados paleomagnéticos dos diques de Ubatuba, São Sebastião e Arco de Ponta Grossa sugere que fontes geoquimicamente distintas e similares estavam ativas simultaneamente. Esses dados, ainda, sugerem que os lamprófiros de Ubatuba e de São Sebastião foram colocados em tempos distintos, entretanto, isto necessita de mais estudos paleomagnéticos (em andamento) e radiométricos.

A associação das tramas magnéticas com os dados paleomagnéticos não é simples de ser feita, pois nem todos os diques analisados para as anisotropias foram analisados paleomagneticamente. Para um melhor entendimento dos eventos intrusivos ocorridos no litoral norte do Estado de São Paulo mais corpos intrusivos devem ser estudados pela metodologia apresentada neste trabalho.

9. Referências bibliográficas

- ALMEIDA, F.F.M., 1972. Tectono-magmatic activation of the South American Plataform and associated mineralization. In: IUGS, Int. Geol. Congr., 24, Montreal, 1972. Actas...Montreal, Section 3 – Tectonics, p. 339-343.
- AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H., 1966. Potassium-argon dates of basaltics rocks from Southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 30: 159-189.
- AMARAL, G., BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H., 1967. Potassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 31: 117-142.
- BORRADAILE, G.J & HENRY, B., 1997. Tectonic application of magnetic susceptibility and its anisotropy. *Earth-Science Reviews*, 42: 49-93.
- BUTLER, R. F., 1992. Paleomagnetism magnetic domains to geologic terranes. Blackwell Scientific Publications, Boston, 319 pp.
- COUTINHO, J.M.V. & ENS, H.H., 1992. Diques lamprofíricos e diferenciados carbonatíticos da região de São Sebastião e Itanhaém – SP (resultados preliminares). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos*, SBG/SP, p. 512-513.
- DAMASCENO, E.C., 1966. Estudo preliminary dos diques de rochas básicas e ultrabásicas da região de Ubatuba, Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 38 (2): 293-304.
- DAY, R., FULLER, M., SCHMIDT, V.A., 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain size and compositional dependence. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 13: 260-267.
- DECKART, K.; FÉRAUD, G.; MARQUES, L.S.; BERTRAND, H., 1998. New time constraint on dyke swarms related to the Paraná – Etendeka magmatic province, and subsequent South Atlantic opening, southeastern Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 80: 67-83.

- DUNLOP, D.J., 2002. Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc). *Journal of the Geophysical Research*, v. 107, B3: 4-22.
- FISHER, R.A., 1953. Dispersion on a sphere. *Proc. R. Soc. London, Ser. A.* 217, 295-305.
- GARDA, G.M., 1995. Os diques básicos e ultrabásicos da região costeira entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, IG-USP, 156 pp.
- GOMES, C.B., 1974. Mineralogia do dique de Toninhas, Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo: feldspatos. *Revista Brasileira de Geociências*, 4: 80-87.
- GOMES, C.B., & BERENHOLC, M., 1980. Some geochemical features of the Toninhas dyke, Ubatuba, State of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52: 339-346.
- IBGE, 1973. Carta topográfica – Ubatuba em escala 1:50.000, folha SF-23-Y-D-III-4. Min. do Planejamento e Coordenação Geral, Depto. de Cartografia, Rio de Janeiro.
- IBGE, 1974. Carta topográfica – Ilha Anchieta em escala 1:50.000, folha SF-23-Y-D-VI-2. Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Depto. de Cartografia, São Paulo.
- JACKSON, M., GRUBER, W., MARVIN, J., BARNERJEE, S.K., 1988. Partial anhysteritic remanence and its anisotropy: applications and grain-size-dependence. *Geophys. Res. Lett.* 15, 440-443.
- JACKSON, M., 1991. Anisotropy of magnetic remanence: a brief review of mineralogical sources, physical origins and geological applications, and comparison with susceptibility anisotropy. *Pure Appl. Geophys.* 136, 1-28.
- KIRSCHVINK, J., 1980. The least-squares line and plane analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 62, 699-718.
- MALO, G.K.M., 2007. Estudos magnéticos nos diques de São Sebastião, São Paulo (SP). Trabalho de Formatura, IG-USP, 40 pp.

- MCELHINNY, M. W. & P. L. MCFADDEN, 2000. *Paleomagnetism – Continents and Oceans*, Academic Press, San Diego.
- MIZUSAKI, A.M.P. & THOMAS FILHO, A., 2004. O magmatismo pós-paleozóico no Brasil. In: *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, p. 281-291.
- RAPOSO, M.I.B., 1995. Episódios intrusivos no Arco de Ponta Grossa, determinados através de um estudo paleomagnético. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 3-19.
- RAPOSO, M.I.B. & ERNESTO, M., 1995. Anisotropy of magnetic susceptibility in the Ponta Grossa dike swarm (Brazil) and its relationship with magma flow direction. *Physics of Earth and Planetary Interiors*, 87: 183-186.
- RAPOSO, M.I.B. & D'AGRELLA FILHO, M.S., 2000. Magnetic fabrics of dike swarms from SE Bahia State, Brazil: their significance and implications for Mesoproterozoic basic magmatism in the São Francisco Craton. *Precambrian Research*, v. 99, n. 3-4, p. 309-325.
- RAPOSO, M.I.B. & MALO, G.K.M., 2006. Trama magnética dos diques máficos da região de São Sebastião (SP): resultados preliminares. *Anais do XLIII Congresso Brasileiro de Geologia*. Aracaju, p. 299.
- ROCHETTE, P.; JACKSON, M.; AUBORG, C., 1992. Rock magnetism and the interpretation of anisotropy magnetic susceptibility. *Rev. Geophys*, 30: 209-226.
- STRANGWAY, D.W., 1970. *History of the Earth's magnetic field*. University of Toronto, Toronto, 168 pp.
- TARLING, D.H. & HROUDA, F., 1993. *The magnetic anisotropy of rocks*. Capman & Hall, London: 217 pp.
- TAUXE, L., 1998. *Paleomagnetic Principles and Practice*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 299 pp.

TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; MANTOVANI, M., 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 121: 333-348.

ZIJDERVELD, J.D.A., 1967. A.C. demagnetization of rocks: analysis of results, in: Collinson, D.W., Creer, K.M., Runcorn, S.K. (Eds.), *Methods in Paleomagnetism*, pp. 254-286, Elsevier, Amsterdam.

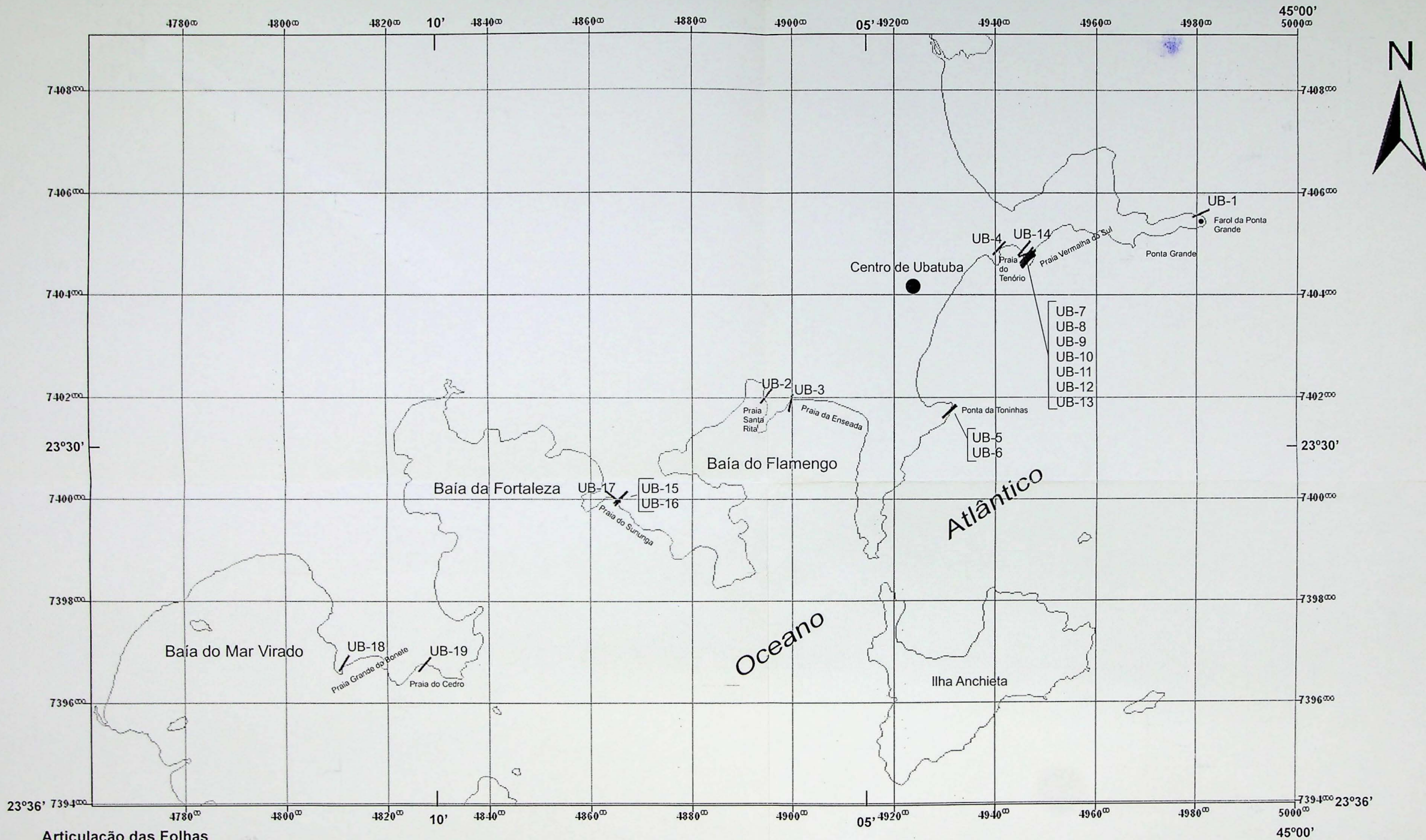
TURNER, S. R. & ROELOFF, M. KELLEY, S. HAWKSWORTH, C. MANTOVANI, M. 1994
Magnesian and carbonate breccia in the South Atlantic rift system. *AGU-1994*
Geochronology Earth and Planetary Science Letters, 127: 237-248

ZUGRIVEL, D. A. 1987. A.C. demagnetization of rock: analysis of results. In: *Collected*
D.W. Gies, K.M. Ruxton, S.K. (Eds.) *Methods in Paleomagnetism*, pp. 254-282
Elsevier, Amsterdam

DOAÇÃO _____
IGC-USP
Data: *20/02/09*

Anexo I: Mapa de Pontos - Ubatuba

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
 - BIBLIOTECA -
 21638



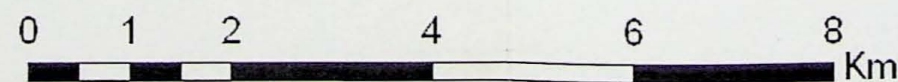
Articulação das Folhas

Natividade da Serra	Ubatuba	Picinguaba
Caraguatatuba	Ilha Anchieta	
São Sebastião	Parnambi	

Localização da área no Estado



Datum horizontal: Córrego Alegre, MG



Escala Gráfica

Legenda

Diques Amostrados

