# EPISÓDIOS INTRUSIVOS NO ARCO DE PONTA GROSSA, DETERMINADOS ATRAVÉS DE UM ESTUDO PALEOMAGNÉTICO

## MARIA IRENE BARTOLOMEU RAPOSO

ABSTRACT INTRUSIVE EPISODES IN THE PONTA GROSSA ARCH, DETERMINED B Y A PALEO-MAGNETIC STUDY. This work presents paleomagnetic data on the mafic dyke swarm associated with the tectonic structure known as the Ponta Grossa Arch. It is generally accepted that the dykes were emplaced when this structure were already well developed, during the Lower Cretaceous. The existing faults and fractures were then filled with magmatic material, mainly of basic composition giving rise to the so called Ponta Grossa Swarm. For the paleomagnetic analyses, 127 dykes were sampled which are widely distributed in the whole area of the Ponta Grossa Arch. These dykes cut the Paraná Basin sediments, mainly Paleozoic in age, as well as the crystalline basement. About 400 hand-samples and cylinders were collected and oriented by both magnetic and sun compasses. The magnetic stability was investigated by both thermal and alternate magnetic field demagnetization methods. The characteristic remanent magnetization of each sample was identified through Zijderveld diagrams. Normally 3 specimens from each sample were submitted to the proper fields or temperatures. The mean magnetization direction of each dyke was calculated by averaging the data from the corresponding specimens. Statistic parameters associated to the means were calculated by Fisher's statistics (1953). Paleomagnetic directions recorded within each of the areas where the dykes are concentrated: Fartura, Sapopema, Telêmaco Borba, Curitiba and Guapiara, show significant differences suggesting that the dykes were emplaced in different intrusive phases. A statistical comparison of the magmatic phases from different areas indicate that frequently not all the areas were active at the same time. It is suggested that the Ponta Grossa Arch was affected by nine main intrusive episodes, from which five took place during a normal polarity geomagnetic interval, three took place a during reversed interval and one occurred when the geomagnetic field presented anomalous directions. This latter episode was only recorded in Guapiara and Fartura. In general each episode affected two or more areas. However, one of the normal field episodes was identified only in Fartura and one of the reversed field episodes affected only Curitiba.

Keywords: Mafic dikes, Ponta Grossa Arch, Paleomagnetism.

**RESUMO** Foi realizado estudo paleomagnético do enxame de digues associado à estrutura tectônica de soerguimento conhecida como Arco de Ponta Grossa. Acredita-se que os diques foram colocados quando essa estrutura encontrava-se no seu ponto máximo de evolução ocorrido no Cretáceo Inferior, quando originaram-se inúmeras falhas e fraturas que foram preenchidas por material magmático, essencialmente, básico. Desse modo, o enxame de diques ficou conhecido como enxame de diques do Arco de Ponta Grossa. Foram analisados 127 corpos intrusivos amplamente distribuídos por toda a área ocupada pelo Arco de Ponta Grossa, que cortam tanto os sedimentos, principalmente Paleozóicos, da Bacia do Paraná como as rochas do embasamento cristalino. Um total de cerca de 400 amostras de mão e cilindros, orientados com auxílio de bússolas magnética e solar, foram coletados e analisados. Estudou-se a estabilidade magnética das amostras através de desmagnetizações térmica e por campos magnéticos alternados. Procurou-se identificar a magnetização remanescente característica das amostras com auxílio do diagrama de Zijderveld e submeteu-se, pelo menos, 2 ou 3 espécimens da mesma amostra a campos ou temperaturas selecionadas. A direção média de magnetização de cada dique foi calculada através da média das direções dos espécimens correspondentes. Os parâmetros estatísticos foram obtidos através de Fisher (1953). Analisou-se individualmente os grupos de direções de magnetização relativos aos diques afiorantes nas àreas de concentração: Fartura, Sapopema, Telêmaco Borba, Curitiba e Guapiara. Os dados mostraram que há diferenças significativas nas direções paleomagnéticas dos diques pertencentes a uma mesma área, sugerindo que estes corpos foram colocados em fases ou episódios intrusivos distintos. Através de uma comparação estatística entre as fases intrusivas das diversas áreas, verificou-se que nem sempre essas áreas estiveram, ativas simultanea-mente. Desse modo, sugere-se que o Arco de Ponta Grossa foi afetado por nove episódios intrusivos principais, dos quais cinco ocorreram durante um período de campo geomagnético normal, três durante um período de campo geomagnético reverso e um durante um campo de transição. Este último só foi registrado em Guapiara e Fartura. De modo geral, cada episódio encontra correspondente em duas ou mais áreas. Entretanto, um dos episódios de campo geomagnético normal foi identificado somente em Fartura e outro, de campo geomagnético reverso, somente em Curitiba.

Palavras-chaves: Diques máficos, Arco de Ponta Grossa, Paleomagnetismo.

**INTRODUÇÃO** No Brasil ocorrem inúmeros enxames de diques máficos tanto Pré-Cambrianos como Fanerozóicos. No entanto, ao contrário de outras regiões do mundo, os enxames Fanerozóicos são mais abundantes (Oliveira & Montes 1984); entre eles destacam-se os de idade Mesozóica por apresentarem maior densidade de diques, sendo que estes possuem grande extensão, além de estarem relacionados com a ruptura dos continentes Sul-Americano e Africano (Sial et al. 1987).

Èntre os enxames de diques máficos Mesozóicos aquele que ocorre inserido quase que totalmente no Estado do Paraná, representa o mais expressivo enxame de diques Fanerozóicos já documentados no Brasil (Oliveira & Montes 1984). Parece consenso geral que este enxame está associado ao desenvolvimento da estrutura tectônica de arqueamento conhecida como Arco de Ponta Grossa. Deste modo, o enxame de diques ficou conhecido como enxame de diques máficos do Arco de Ponta Grossa.

Durante o Cretáceo Inferior ocorreu um intenso vulcanismo que preencheu grande parte da Bacia do Paraná e estabeleceram-se, então, os enxames de diques expostos nas bordas da Bacia, entre eles o enxame associado ao Arco de Ponta Grossa. Este enxame é particularmente importante porque seus diques apresentam-se muito espessos com gran-

Instituto Astronômico e Geofísico- Universidade de São Paulo. Av. Miguel Stefano 1400, Caixa Postal 9.638, CEP: 01065-970, Água Funda, São Paulo SP, Brasil. Fax: (11) 276 3848; fone (011) 577 8599; e-mail irene@iag.usp.br.

dês extensões e direção preferencial NW. Este fato induziu a um relacionamento genético direto entre os diques e as rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. Entretanto estudos geoquímicos efetuados por Piccirillo et al. (1988, 1989, 1990) e Pinese (1989) mostraram que os diques são geoquímicamente semelhantes somente às rochas vulcânicas da Região Norte da Bacia do Paraná (isto é, ao norte do lineamento do Rio Piquiri, Fig.l). Estudos paleomagnéticos realizados por Ernesto *et al.* (1990) e Raposo & Ernesto (1989), em seqüências de derrames da Formação Serra Geral e nas rochas intrusivas do Arco de Ponta Grossa, mostraram que os diques são mais jovens que as rochas vulcânicas da Bacia do Paraná.

Este trabalho apresenta um estudo paleomagnético pormenorizado do enxame de diques do Arco de Ponta Grossa, o qual torna-se essencial ao conhecimento dos episódios intrusivos ocorridos no Arco. Neste caso o método paleomagnético é particularmente importante pois, é capaz de detectar mudanças significativas do campo magnético terrestre chamadas de variação secular, além das inversões de polaridade, o que permite relacioná-las com tempos diferentes de colocação dos corpos os quais não são detectados por métodos radiométricos tais como K-Ar e Rb-Sr.

Foram estudados paleomagneticamente 127 corpos intrusivos amplamente distribuídos pelo Arco de Ponta Grossa tendo por objetivo estudar detalhadamente a atividade intrusiva ocorrida no Arco, além de contribuir para uma melhor compreensão do evento tectono-magmático ocorrido no sul do Brasil durante o Cretáceo. Resultados paleomagnéticos preliminares de alguns dos diques incluídos neste trabalho, foram apresentados por Raposo & Ernesto (1989) e revelaram-se discordantes daqueles apresentados por Ernesto *et al.* (1990). Isto levou as autoras a concluirem que poderia haver dentro do Arco, áreas onde os diques apresentassem diferentes idades de magnetização, uma vez que parte dos dados referia-se a diques aflorantes na área do Pré-Cambriano (Ernesto *et al.*, 1990) e os demais (Raposo & Ernesto, 1989), a diques que cortam os sedimentos Paleozóicos. Como será visto no decorrer deste trabalho, esta hipótese não pode ser descartada embora a totalidade dos dados, não aponte para diferenças significativas de idades.

ASPECTOS GEOLÓGICOS DO ARCO DE PONTA GROSSA E DO ENXAME DE DIQUES AS SOCIADO Arco de Ponta Grossa O Arco de Ponta Grossa é uma megaestrutura de soerguimento cujo eixo orienta-se a N W com mergulho para o interior da Bacia do Paraná. Localiza-se na borda sudeste do território brasileiro e é bem visível nos mapas geológicos pela reentrância da borda oriental da Bacia do Paraná (Fig. 1).

Almeida (1983) e Ferreira (1982) admitiram que a área crustal onde situa-se o Arco de Ponta Grossa apresentava tendência ao soerguimento desde o Devoniano. Essa estrutura configurou-se como área positiva no Permiano e condicionou a deposição dos sedimentos na Bacia do Paraná, subdividindo-a em duas sub-bacias denominadas de São Paulo e Santa Catarina. Entretanto durante o Triássico-



Figura 1 - Mapa geológico generalizado da Bacia do Paraná, destacando o Arco de Ponta Grossa, 1 - embasamento cristalino; 2 - sedimentos pré-vulcânicos (principalmente Paleozóicos); 3 - derrames básicos-intermediários da Formação Serra Geral; 4 - derrames ácidos tipo Palmas da Formação Serra Geral; 5 - derrames ácidos tipo Chapecó da Formação Serra Geral; 6 - sedimentos pós-vulcânicos (principalmente Cretáceo Superior); 7 - estrutura tipo arco; 8 - lineamentos tectônicos e/ou magnéticos

Figure 1 - Generalized geological map of the Paraná Basin showing the Ponta Grossa Arch. 1 - crystalline basement; 2 - prevolcanic sediments; 3 - basic to intermediate flood volcanics from Serra Geral Formation; 4 - acid lava flows (Palmas type); 5 - acid lava flows (Chapecó type); 6 - postvolcanic sediment (mainly upper Cretaceous); 7 - arch-type structure; 8 - tectonic and/or magnetic lineaments

#### Revista Brasileira de Ceociências, Volume 25, 1995

Jurássico o soerguimento tornou-se mais pronunciado separando mais nitidamente as duas sub-bacias onde foram acumulados os sedimentos continentais das Formações Pirambóia, na sub-bacia de São Paulo, e Rosário do Sul, na subbacia de Santa Catarina. Porém, somente entre o Jurássico e o Cretáceo Inferior é que as feições do Arco de Ponta Grossa mais se realçaram e adquiriram a configuração que hoje apresentam (Almeida, 1986).

Asmus (1981) concluiu que o Arco de Ponta Grossa não existia até o final do Permiano, admitiu a hipótese de que o soerguimento crustal do Arco tenha ocorrido no Triássico e tenha sido responsável pelo aparecimento de duas subbacias na porção sudeste da Bacia do Paraná, uma ao norte do Arco, onde acumularam-se os sedimentos da Formação Pirambóia, e outra ao sul do Arco onde depositaram-se os sedimentos da Formação Rosário do Sul.

Embora em termos de idade, o início do soerguimento do Arco de Ponta Grossa seja motivo de controvérsias, parece consenso geral que o clímax desse soerguimento tenha ocorrido no Jurássico-Cretáceo Inferior, juntamente com o evento tectono-magmático da reativação Wealdeniana definida por Almeida (1967), que foi responsável pelo vulcanismo da Bacia do Paraná e das Bacias costeiras de Santos e Campos (Almeida, 1983; Asmus & Porto, 1980). Nesse intervalo desenvolveram-se no Arco grandes fraturas e falhas de distensão paralelas ao seu eixo (NW) e, portanto, transversais às estruturas do embasamento e que propiciaram as intrusões básicas e alcalinas (Almeida, 1986). Uma provável estensão desse evento originou o enxame de diques que aflora desde o litoral norte paulista até o Estado do Rio de Janeiro e o enxame de Florianópolis (SC). Associadas, ainda, ao magmatismo básico, ocorreram inúmeras intrusões alcalinas.

Através da interpretação das anomalias magnéticas obtidas por levantamentos aeromagnéticos da porção centrooriental da Bacia do Paraná e, portanto, pequenas porções da área ocupada pelo Arco de Ponta Grossa, Ferreira *et al.* (1981) e Ferreira (1982) comprovaram a existência dos falhamentos no Arco de Ponta Grossa, já referidos por Vieira (1973) e Algarte (1972), batizando-os de Alinhamento de Guapiara, Alinhamento São Jerônimo-Curiúva e Alinhamento do Rio Alonzo.

Os dados aeromagnéticos permitiram a Ferreira (1982) definir o Alinhamento do Rio Piquiri, além de definir a geometria do Arco, estabelecer seus limites e dividi-lo em três grandes regiões. Cabe ressaltar que em muitos locais os alinhamentos aeromagnéticos foram inferidos, através de estudos de sensoriamento remoto, devido à ausência de aerolevantamentos.

De acordo com Ferreira (1982) o limite norte do Arco de Ponta Grossa é marcado pelo Alinhamento de Guapiara, que passa próximo à cidade de Fartura, estende-se desde Iguape (leste) até o Rio Paraná (oeste), apresenta 600 km de extensão e larguras variáveis de 20 a 100 km. A região norte do Arco está compreendida entre os Alinhamentos de Guapiara e São Jerônimo-Curiúva (Fig. 1).

A região central é definida pelos Alinhamentos São Jerônimo-Curiúva e do Rio Alonzo, caracteriza-se por intenso fraturamento e falhamentos de pequeno rejeito. O limite sul do Arco é caracterizado pelo Alinhamento do Rio Piquiri que é orientado a N60-65W, com extensão de 115 km e largura máxima de 20 km. A região sul é limitada pelos Alinhamentos do Rio Alonzo e do Rio Piquiri.

Segundo esses limites o Arco de Ponta Grossa (Fig. 1) situa-se quase que totalmente no Estado do Paraná, restando pequenas parcelas nos Estados de São Paulo e Santa Catarina e ocupa uma área aproximada de 134.000 km<sup>2</sup>.

**Enxame de Diques** Estudos pioneiros sobre os diques parecem ser os de Marini et al. (1967) e Fúlfaro & Suguio (1967). Os primeiros pesquisadores estudaram o Primeiro Planalto do Paraná (região central do Arco) e verificaram a ocorrência de diques paralelos orientados a NW-SE, com espessuras variáveis de 20 a 50 m, podendo atingir localmente 600 m e confinados numa faixa de 70 km de largura que se estendia desde o vale do rio Ivaí até o litoral paranaense. A frequência de diques era em torno de 1,5 dique/km e, às vezes, 4 diques/km.

Fúlfaro & Suguio (1967) estudaram três áreas de ocorrência de diques: 1) Rodovia do Café (do km 160 até a Serra do Cadeado - região Central do Arco), onde observaram diques direcionados segundo dois sistemas N40-45W e N25E, com espessuras de 52 m até 950 m (média 200 m) e extensões de até 4 km; 2) Rodovia Piraju-Fartura, próximo a Fartura (região norte do Arco); nesta região foram encontrados 5 diques de direções N40-45W com espessuras compreendidas entre 60-100 m (média 80 m) em 7 km da rodovia; os autores sugerem que os diques são os possíveis condutos alimentadores das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, uma vez que eles se colocam sob os derrames; 3) Rodovia Tambaú-Santa Rosa do Viterbo, onde ocorrem diques orientados predominatemente a N60-70E e secundariamente a N40-45W e com espessura média de 200 m.

Os autores citados concluíram, de modo geral, que os diques formam sistemas paralelos e orientados preferencialmente a NW, embora a direção NE também esteja presente, ocasionando sistemas secundários de direções perpendiculares nas regiões do Paraná e Sul do Estado de São Paulo. Entretanto a situação é exatamente inversa na área situada ao norte do Estado de São Paulo, onde a direção NE é predominante. Fúlfaro & Suguio foram contrários às afirmações de Bigarella e Salamuni (1967; in Fúlfaro & Suguio, 1967) de que sistemas paralelos com direções NE eram insignificantes, ao menos, para o flanco norte da Bacia do Paraná, assim como também não era verdadeiro que as concentrações de diques diminuíam a distâncias maiores da área da cidade de Ponta Grossa.

Embora os estudos iniciais sobre os diques tenham sido baseados em dados de campo, os mesmos não foram efetuados em todas as áreas de ocorrência dos diques. Atualmente o método aeromagnético está sendo bastante aplicado no mapeamento de diques, além da metodologia tradicional de sensoriamento remoto.

Ferreira (1982) comparou as anomalias aeromagnéticas dos levantamentos efetuados na Bacia do Paraná, os guais cobrem pequenas porções do Arco de Ponta Grossa, com mapas geológicos existentes, onde geralmente os diques são assinalados com auxílio de fotos aéreas e imagens de satélite, e concluiu que as anomalias representavam diques. No entanto, quando as anomalias não encontravam correspondência com os mapas geológicos, o autor inferiu diques não aflorantes. Os mapas aeromagnéticos apresentam anomalias com direções predominantes NW, inúmeras com direção NE e poucas E-W. Ferreira (1982) considerou menos expressivas as anomalias NE e E-W e associou somente aquelas com direções NW a diques. Entretanto cabe ressaltar que a direção NE representa a orientação principal do sistema de fraturas do embasamento cristalino e também ocorre na Bacia do Paraná (Soares et al. 1982; Zalán et al 1988). Portanto, as anomalias NE e E-W poderiam igualmente representar diques.

Dessa maneira os diques do Arco de Ponta Grossa têm sido considerados quase que exclusivamente com direção NW. Um mapa de ocorrência desses diques, com controle rígido de campo, parece não existir. Os mapeamentos geológicos efetuados em diversas áreas do Arco não dão muita importância para o posicionamento real dos diques, uma vez que eles podem ser marcados através de anomalias aeromagnéticas, imagens de satélite ou ainda uma combinação de ambas as metodologias. Assim, os mapas geológicos do Arco de Ponta Grossa, no tocante aos diques, são errôneos pois, mostram uma quantidade muito grande de diques que não foram encontrados no campo. Estes mapas deveriam ser reanalisados tendo em vista que Ussami *et al.* (1991) mostraram através de um estudo integrado de aeromagnetometria, magnetometria terrestre e magnetismo de rocha que nem sempre as anomalias magnéticas existentes nos mapas aeromagnéticos nas escalas convencionais (por exemplo, 1:1000.000) correspondem a diques.

As medidas, quer da direção estrutural quer da espessura dos diques, são algumas vezes difíceis de serem efetuadas em campo, devido à ausência dos contatos desses corpos com as encaixantes ou a não continuidade do corpo mesmo que os contatos existam. No entanto, mesmo com esta dificuldade foi possível obter, com certa confiança, algumas medidas de direções tanto para NW como para NE concordantes, portanto, com Fúlfaro & Suguio (1967) (Tabelai). Resultados obtidos por Raposo & Ernesto (1991) com a aplicação da técnica de anisotropia de suscetibilidade magnética, permitiram definir melhor as direções dos diques.

Os diques, na realidade, não são uniformemente distribuídos por toda região ocupada pelo Arco de Ponta Grossa, mas encontram-se concentrados sobretudo nas áreas aqui designadas de Fartura (SP) e Guapiara (SP) (porções NE e SE, repectivamente, do Arco entre os alinhamentos aeromagnéticos de São Jerônimo-Curiúva e Guapiara, próximo a este último, (Fig. 1); Sapopema (PR), Telêmaco Borba (PR) e Curitiba (PR) (porções centro - as duas primeiras - e SE, do Arco entre os alinhamentos de São Jerônimo-Curiúva e do Rio Alonzo, (Fig. 1), sendo escassas as ocorrências ao sul do alinhamento do Rio Alonzo. Na Tabela 1 são apresentadas as coordenadas geográficas, as espessuras (larguras), as direções estruturais medidas em campo e o número de amostras coletadas, para todos os corpos estudados, e a localização encontra-se na Figura 2.

De modo geral os diques são subverticais a verticais e cortam tanto os sedimentos, principalmente Paleozóicos, da Bacia do Paraná como as rochas Pré-Cambrianas do embasamento cristalino na porção mais oriental do Arco (Fig. 1 e 2).

Na área de Fartura os corpos intrusivos são predominantemente diques, embora existam alguns na forma de sills como apontado por Fúlfaro & Suguio (1974). Os sills são por vezes difíceis de serem identificados devido aos processos erosivos ocorridos na região, além da proximidade dos derrames da Formação Serra Geral. Os corpos intrusivos alojam-se nos sedimentos do Grupo Itararé e nas Formações Rio Bonito, Palermo, Tatui, Rio do Rasto, Irati, Corumbataí, Pirambóia e Botucatu (Fúlfaro & Suguio, 1974; IPT, 1981). Em determinados locais, os diques cortam as rochas vulcânicas ácidas e básicas da Formação Serra Geral. Apresentam-se orientados preferencialmente a NW, embora orientações a NE e N-S também tenham sido encontradas (Tabela 1); suas espessuras são variáveis desde poucos centímetros até uma centena de metros, média de 50 m, Tabela 1).

Na área de Sapopema os diques cortam os sedimentos das Formações Furnas, Ponta Grossa, Rio Bonito\* Palermo, Irati e Teresina, além do Grupo Itararé (Mineropar, 1989). Orientam-se preferencialmente a NW, porém, direções a NE e N-S também foram econtradas. Nesta área os diques são ligeiramente mais espessos em relação às demais áreas e apresentam uma espessura média de 90 m, atingindo até 500 m (ponto 29, Tabela 1).

Em Telêmaco Borba os diques alojam-se principalmente nos sedimentos do Grupo Itararé e das Formações Ponta Grossa e Furnas (Mineropar, 1989). Orientam-se quase na mesma proporção a NW (13 diques) e a NE (10 diques), apresentam espessuras variáveis entre 20 a 150 m, com média em torno de 50 m (Tabela 1).

Os diques da área de Curitiba cortam as rochas do Pré-Cambriano, principalmente os granitos alcalinos fácies Graciosa, Anhangava, Marumby e Serra da Igreja, xisto e gnaisses do complexo Serra Negra, as Formações Itaiacoca e Votuverava do Grupo Açungui e as Formações Água Clara e Perau do Grupo Setuva (Mineropar, 1989). Orientam-se predominantemente a NW, entretanto, as direções NE, N-S e E-W também foram encontradas. Apresentam espessuras médias de 50 m, com intervalo de poucos centímetros até 150 m (Tabela 1).

Na área de Guapiara os diques apresentam, como encaixantes, as rochas do embasamento cristalino, principalmente os granitos sintectônicos da fácies Cantareira e o Grupo Açungui (IPT, 1981). Orientam-se segundo direções NW e NE. Suas espessuras são de difícil determinação devido ao alto grau de intemperismo, podendo variar de dezenas a centenas de metros (Tabela 1).

Em geral não se observa grandes variações tanto de espessura como de granulação entre os diques que cortam as rochas do embasamento cristalino e os sedimentos da Bacia do Paraná. Entretanto, na área de Sapopema (Tabela 1), encontram-se diques ligeiramente mais espessos e de granulação mais grosseira. Este fato pode indicar que o embasamento cristalino já estava exposto quando ocorreu a atividade intrusiva.

Os diques são representados, predominantemente, por andesi-basaltos constituídos essencialmente de plagioclásios, piroxênios (augita e pigeonita), óxidos de Fe e Ti principalmente titanomagnetitas e, subordinadamente, pirita e calcopirita. Porém nas áreas de Fartura (1 dique) e Curitiba (3 diques), ocorrem diques riodacíticos compostos por plagioclásios, piroxênios (augita e pigeonita), feldspato alcalino, titanomagnetitas, apatita e quartzo. Estes diques apresentam composição química (Benini, 1992) semelhante às rochas vulcânicas do tipo Chapecó, definido por Bellieni *et al.* (1984), da Formação Serra Geral.

Pinese (1989) e Piccirillo *et al.* (1990) mostram, de modo geral, que os diques possuem valores de TiO<sub>2</sub> baixo (< 2%), intermediário (2-3%) e alto (>3%) e apresentam composição química similar às rochas vulcânicas da Região Norte da Bacia do Paraná (ao norte do alinhamento do Rio Piquiri, Fig.1, Bellieni *et*«/., 1984). Razões isotópicas de Sr^/Sr<sup>86</sup> e de <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd, apresentadas por esses mesmos autores, também são semelhantes àquelas das rochas vulcânicas, particularmente, os diques básicos da área de Fartura e as vulcânicas adjacentes. Os diques ácidos apresentam valores de razões isotópicas mais baixos do que as vulcânicas ácidas da área de Fartura indicando, assim, que os diques são poucos ou não contaminados.

Estudos geoquímicos realizados nas mesmas amostras analisadas no presente trabalho (Benini, 1992), indicam diferenças geoquímicas entre as cinco áreas (onde os diques acham-se concentrados) que, embora não muito acentuadas, são significativas. Sob esse aspecto os diques das áreas de Fartura e Guapiara são semelhantes e apresentam-se mais evoluídos em relação às demais áreas. Os diques de Curitiba apresentam valores mais elevados de MgO (>6%) e são os mais primitivos do Arco de Ponta Grossa. Os diques das áreas de Sapopema e Telêmaco Borba são semelhantes entre si e ocupam uma posição intermediária entre aqueles das áreas de Fartura-Guapiara e Curitiba.

Em termos de idade, os diques apresentam um valor médio de  $132 \pm 10$  Ma, obtido com o método radiométrico K-Ar, com intervalo de 114-144 Ma (Pinese, 1989). Este valor é concordante com a idade atribuída à fase de maior atividade vulcânica da Bacia do Paraná, que corresponde a 130-135 Ma, sendo o intervalo de 112-155 Ma para todo o vulcanismo da Bacia (Rocha Campos *et al.* 1988).

Entretanto as idades das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná foram obtidas pelos métodos K-Ar e Rb-Sr. Desse modo, o amplo intervalo de tempo dado para todo o vulcanismo da Bacia, parece não ser verdadeiro pois, é conflitante com os dados de Ernesto *et al.* (1990) e Renne *et al* (1992).

Tabela 1 - Coordenadas geográficas, espessuras (larguras) e direção estrutural dos 127 diques estudados. N corresponde ao número de amostras coletadas Table 1 - Geographic coordinates, thickness (width) and strike of the 127 sudied dikes. N corresponds to number of the collected samples

Sítios	Coorde	enadas		Espessura	Direcão	Steine	Const			E	Discoto
	Longitude	Latitude	ัท	(m)	Estrutural	aluos	Longindo	Latitude	N	Espessura	Estentued
	(911)	(29)		(,	Louwini		Longitude	Lautuce (IC)	И	(m)	Estrutural
	(")	(3)					(°W)				
		F /	ARTUI	RA		61	50,70	24,47	3	50	N34W
1	49,49	23,41	3	30	N41W	63	50,69	24,50	1	20	?
2	49,50	23,40	3	7	N-5	64	50,67	24,52	3	?	N85E
3	49,51	23,40	2	?	N36W	65	50,65	24,56	3	50	?
4	49,50	23,38	3	7	N24W	66	50,63	24,60	3	20	N40E
5	49,50	23,36	3	7	?	67	50,60	24,62	3	20	N80W
6	49,50	23,34	3	40	?	68	50,57	24,64	3	20	N25W
7	49,47	23,32	3	50	N4E	69	50,50	24,71	3	100	N75E
8	49,47	23,32	4	15	?	70	50,48	24,71	3	30	N75E
9	49,39	23,64	3	?	N34E	71	50,48	24,74	4	30	N75E
10	49,46	23,68	6	30	?			ĊŪ	RITI	BA	
11	49,69	23,62	3	1	?	72	49,86	25,05	2	0,3	N40W
12	49,90	23,61	7	50	?	73	49.87	25.07	I	2	?
13	49,90	23,60	3	100	?	74	49.89	25.09	4	2	?
14	49,85	23.49	2	20	?	75	49.90	25.10	3	ż	N60W
15	49.82	23.49	. 1	.7	?	76	49 89	25 17	2	Ś	N-S
16	49.55	23.39	3	9	N61W	77	40 00	25 17	ĩ	30	NAOW
17	49.56	23.39	2	7	7	78	40 00	25 20	2	20	7
18	49.57	23.39	3	2	N87E	70	48 03	25,20	-	100	NAKW
19	49.58	23.39	3	10	N54W	75	40,95	25,59	2	80	N71W
21	49,50	23.49	6	100	N86W	20	40,71	25,59	2	20	EW
21	40 70	23 47		15	9		40,07	23,07	2	20	9 E-11
22	40 74	22,47	5	50	N76W	01 01	40,04	23,37	4	10	( N70W
84	40.51	23,35	2	100	N76W	02	40,01	23,34	4	10	NUW
110	47,51	23,40	4	100	NCIW	83	48,91	25,25	4	7	7
100	49,20	23,70	4	70	MICH	28	48,81	25,19	2	100	N/DW
120	49,30	23,03	3	/0	r NGOW	86	48,87	25,22	2	80	N70W
121	49,40	23,67	3	50	NOUW	87	49,11	25,12	5	30	N56W
		S A	POPE	MA		88	49,00	24,71	2	10	?
24	50,47	24,03	3	?	N51W	89	49,23	24,83	2	20	?
25	50,48	24,02	3	?	?	90	49,39	25,02	4	?	?
26	50,49	24,00	3	30	N25W	91	49,43	25,06	4	40	?
27	50,53	23,96	3	100	N-S	92	49,46	25,09	2	40	N30W
28	50,54	23,95	7	70	N65E	93	49,47	25,12	2	20	N44E
29	50,56	23,94	2	500	N45W	94	49,33	25,19	2	?	?
30	50,61	23,90	4	200	?	95	49,33	25,21	3	120	N74E
31	50,62	23,88	3	40	?	96	49,32	25,28	4	?	N66W
32	50,62	23,86	3	?	N35W	97	49.32	25.31	4	?	N66W
33	50,62	23,84	3	300	N60W	98	49.32	25.32	2	1	N56W
34	50,62	23,83	3	50	N35W	99	49.32	25.34	3	40	N30W
35	50,70	23,80	3	50	N20W	100	49.31	25.37	2	20	N30W
46	50.01	24,38	2	150	N45E	101	49.30	25.39	3	60	N60W
47	49.97	24.76	3	50	N45E	102	49.29	25 35	2	70	N41W
52	50.48	24.04	3	2	N30W	102	40 13	25,23	ī	60	N71W
	+-, ++	TELÊM	ACO	BORBA		104	48.90	24.68	å	150	2
36	\$1.08	24 04	4	201211	N15W	122	40.12	25,00	2	4	NIOF
37	51.07	24.05	3	100	NSOE	122	40 13	25,70	2	10	NOOE
28	\$1.03	24,05	5	100	NON	123	49,13	<i>13.11</i>	4 • • • • • •	D A IU	NOOE
30	51,00	24,11	2	30	N75E	106	40.41	24.14	A E 1 A	60 KA	NCOW
40	50.05	24,15	3	- UC - P	MASE	105	40,41	24,14	-	30	NO7W
40	50,93	24,10		7 9	NOJE	106	48,50	24,18	5	7	NOUW
41	50,64	24,31	4	1	NOUW	107	48,53	24,18	3	200	N32W
42	50,63	24,30	2	50	NOSW	108	48,54	24,18	1	?	7
43	50,60	24,34	3	150	?	109	48,56	24,18	3	100	?
44	50,57	24,32	3	30	N53W	110	48,64	24,18	1	?	?
45	50,38	24,49	2	?	N45W	111	48,66	24,18	3	?	?
49	50,35	24,54	3	20	N55W	112	48,68	24,18	2	?	?
50	50,44	24,76	2	?	N85W	113	48,72	24,20	3	30	?
51	50,53	24,75	3	100	N60W	114	48,77	24,27	3	100	N47W
53	50,92	24,22	3	100	N50W	115	48,78	24,28	2	3	?
54	50,95	24,18	3	50	?	116	48.81	24,46	2	?	?
55	50,95	24,17	3	20	?	117	48.77	24,18	2	?	N33E
56	50,78	24.64	3	50	?	118	48.74	24.20	3	10	?
57	50.94	24.56	2	10	N50E	131	49.88	23.97	3	2	N35W
58	51.33	24.64	3	30	N84E	117	48.67	24.18	ž	2	N78E
59	51.38	24.59	3	40	2	122	48 57	24 18	2	,	N7W
60	51.58	24.53	3	100	N41E	124	42 41	24 19	1	9	NATE
62	50.77	24.45	17	2	2	124	48 56	24.32	3	,	2
		,	• •	•	•	100	-0,00	ڪ هيو کا هو	_	•	•



Figura 2-Mapa de localização dos diques estudados, destacando as áreas estabelecidas neste trabalho, 1-Alinhamento de Guapiara, 2-Alinhamento São Jerônimo-Curíuva, 3-Alinhamento do Rio Alonzo e 4-Alinhamento do Rio Piquiri Figure 2 - Localization map of the studied dikes. The areas detached were established in this paper. 1-Guapiara lineament, 2-São Jerônimo -Curiuva lineament, 3-Rio Alonzo lineament and 4-Rio Piquiri lineament

#### Revista Brasileira de Geociências, Volume 25, 1995

Estes autores através de estudos, respectivamente, paleomagnéticos e geocronológicos (método Ar-Ar) de seqüências de lavas da Região Sul da Bacia do Paraná (sul do lineamento do Rio Uruguai, Fig. 1), concluíram que o empilhamento das lavas foi extremamente rápido. Os dados Ar-Ar obtidos revelaram uma idade de 133  $\pm$  1 Ma para o vulcanismo na parte Sul da Bacia e um intervalo de duração de 1 Ma.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL Amostragem

As amostras analisadas foram coletadas em afloramentos ao longo de rodovias existentes. Coletou-se um total de 400 amostras orientadas (blocos de mão e cilindros) que correspondem a 127 corpos intrusivos amplamente distribuídos no Arco de Ponta Grossa (Fig. 2).

Para a orientação das amostras utilizou-se bússola magnética e, sempre que possível, bússola solar. Procurou-se coletar amostras distribuídas em toda a largura do corpo intrusivo, isto é, de contato a contato. Desse modo o número de amostras coletadas por sítio (dique) foi variável. Procurou-se coletar no mínimo 3 amostras para cada um deles (Tabela 1). No entanto, para corpos muito espessos e sempre que as condições do afloramento permitiam a amostragem foi mais densa. Esse procedimento teve por objetivo detectar possíveis variações na direção de magnetização em corpos muito espessos. Estas variações podem estar relacionadas com o tempo de resfriamento do corpo, que pode ser suficientemente longo para que sejam registradas variações geomagnéticas importantes.

Procurou-se amostrar o maior número possível de diques, entretanto, nem todos puderam ser amostrados devido ao alto grau de alteração em que se encontravam. Em afloramentos onde não foi possível coletar amostra-de-mão, utilizou-se um perfurador portátil, que corresponde a uma moto-serra adaptada para extrair cilindros diretamente do afloramento. Antes de serem extraídos, os cilindros foram orientados.

### Medidas da Magnetização Remanescente e Estabilidade Magnética das Amostras Estudadas

Para efetuar as medidas de magnetização remanescente das amostras, foi necessário prepará-las de forma conveniente. As amostras foram cortadas em cilindros orientados de 2,5 cm de diâmetro de onde foram cortados discos (espécimens) de 2,5 cm de altura.

Inicialmente mediu-se a magnetização remanescente natural (MRN) dos espécimens (discos) em magnetômetro tipo rotativo da Molspin Ltd. A seguir, testou-se a estabilidade magnética das amostras pelos processos convencionais de desmagnetização por campos magnéticos alternados e térmico.

Para testar a estabilidade magnética das amostras pelo processo de desmagnetização por campos magnéticos alternados, submeteu-se um espécimen (disco-piloto) de cada amostra a etapas sucessivas de desmagnetização, a partir de campos com intensidade de 5 mT e até o máximo de 80 mT ou 100 mT, em intervalos de 5 mT. Em alguns casos reduziu-se o intervalo para 2 ou 3 mT. Algumas amostras, embora poucas, foram desmagnetizadas até campos de 180 ou 190 mT. Ao final de cada etapa de desmagnetização mediu-se novamente a magnetização remanescente.

A desmagnetização térmica foi realizada em um segundo disco-piloto de cada amostra, a partir de 150°C até, em geral, 600°C com incrementos de 50°C até 500°C e intervalos menores de 20 ou 30°C até 600°C. Em poucos casos aqueceu-se os espécimens até 680 ou 700°C. Após cada etapa de desmagnetização mediu-se novamente a magnetização remanescente. As possíveis alterações mineralógicas nas amostras que poderiam interferir na remanescência magnética foram monitoradas pelas medidas de suscetibilidade magnética realizadas, no final de cada etapa de desmagnetização, através de um medidor Bison, do tipo ponte e do equipamento SI-1 da Sapphire Instruments. Em nenhum caso verificou-se alteração significativa da suscetibilidade.

De modo geral, a maioria das amostras estudadas mostrou alta estabilidade magnética quando submetidas aos dois processos de desmagnetização o que sugere que os minerais magnéticos presentes nas amostras são capazes de reter a magnetização primária. Selecionou-se, através do diagrama de Zijderveld (1967) campos magnéticos entre 15 a 35 mT ou temperaturas de 200 a 450°C para desmagnetizar pelo menos outros 2 ou 3 espécimens de uma mesma amostra. Esses campos ou temperaturas foram suficientes para eliminar magnetizações secundárias viscosas que afetam os grãos magnéticos de baixa coercitividade. Desse modo isolou-se a magnetização característica de cada espécimen. Uma descrição mais detalhada sobre o comportamento magnético das amostras estudadas pode ser encontrada em Raposo (1992).

Cerca de 7<sup>%</sup> das amostras (total de 2<sup>9</sup>) foram desprezadas porque não foi possível isolar nenhuma componente de magnetização.

**Mineralogia Magnética** Investigou-se a mineralogia magnética das rochas, com o intuito de verificar quais são os minerais magnéticos responsáveis pela magnetização remanescente dos diques e, consequentemente, avaliar se esta magnetização é primária ou secundária.

Inicialmente fez-se um estudo em seções polidas com auxílio de microscópio polarizante com luz refletida. Identificou-se os minerais; ilmenitas, titanomagnetitas (série ulvoespinélio-magnetita<sub>ss</sub>) que são mais abundantes e, pequenas quantidades de sulfetos (pirita e calcopirita).

Em todas as seções analisadas observou-se um intercrescimento de ilmenita em titanomagnetitas. Este intercrescimento origina três tipos de textura denominadas por Buddington & Lindsley (1964) de "Trellis", "Composite" (interna e externa) e "Sandwich".

O tipo "Trellis" corresponde a uma rede ou grade de lamelas de ilmenitas em forma de ripas cruzadas as quais originam-se por oxidação a elevadas temperaturas (> 600°C) da série Usp-Mt<sub>ss</sub>.

A textura "Composite" corresponde a inclusões de cristais euhedrais ou subhedrais de ilmenitas nas titanomagnetitas. Este tipo de textura pode ser dividido em "Composite" interna quando os grãos de ilmenita são totalmente inclusos nas titanomagnetitas e, "Composite" externa quando grãos ou lamelas de ilmenita são parcialmente inclusos nas titanomagnetitas ou ocorrem nas bordas das mesmas. As formas e os contatos das ilmenitas com as titanomagnetitas raramente são orientados ao longo de planos (Haggerty, 1981). Este tipo textural é menos abundante nas rochas e as ilmenitas podem ser originadas tanto por cristalização direta do líquido magmático como por oxidação. O tipo "Sandwich" corresponde a espessas lamelas de

O tipo "Sandwich" corresponde a espessas lamelas de ilmenitas na forma de ripas orientadas ao longo de planos e são relativamente comuns nas rochas. As lamelas podem ocorrer em pequenos números, no entanto, é mais comum a presença de uma única lamela na forma de ripa dentro das titanomagnetitas. Nesta textura as ilmenitas podem ser originadas diretamente do magma ou podem ser resultado da oxidação da série ulvoespinélio-magnetita<sub>ss</sub>.

Os três tipos texturais foram encontrados na maioria das seções estudadas, embora a textura tipo "Trellis" tenha sido predominante. Este fato indica que as titanomagnetitas foram formadas a temperaturas elevadas e são, portanto, capazes de reter magnetização remanescente primária.

Foi utilizada uma balança termomagnética para investigar as temperaturas de Curie dos minerais presentes nas amostras. A figura 3 mostra exemplos, que são representativos dos diques analisados. As curvas termomagnéticas fo-



*Figura 3 - Exemplos de curvas termomagnéticas dos diques aflorantes nas cinco áreas e com diferentes polaridades* Figure 3 - Examples of thermomagnetic curves of the dikes from the five areas of the Ponta Grossa Arch with different polarities

ram obtidas em diques com diferentes polaridades do campo geomagnético e aflorantes nas cinco áreas onde acham-se concentrados, isto é, Fartura, Sapopema, Telêmaco Borba, Curitiba e Guapiara.

De modo geral os diques apresentaram um único valor de temperatura de Curie, que está contido no intervalo de 500-580°C. Este intervalo mostra que os minerais magnéticos presentes nos diques são titanomagnetitas oxidadas a altas temperaturas, o que é perfeitamente concordance com os minerais identificados nas seções polidas. Isto indica que as direções de magnetização dos diques são confiáveis, isto é, devem corresponder à magnetização primária.

## **RESULTADOS Direções Paleomagnéticas Com**

o término dos trabalhos de laboratório, obteve-se a direção e a intensidade da magnetização remanescente característica (MRC) de, no mínimo, 3 espécimens medidos para cada dique (sítio) estudado. Calculou-se, então, a direção média da MRC de cada sítio e os parâmetros estatísticos de acordo com Fisher (1953), através da média das MRCs dos espécimens correspondentes. Alguns diques não deram resultados consistentes porque as amostras estavam intemperizadas e não foram capazes de reter a magnetização remanescente primária. Calculou-se, também, para cada dique o pólo geomagnético virtual (PGV) associado à direção de magnetização. Estes dados encontram-se na tabela 2 e as direções das MRCs foram representadas em um estereograma (rede) de Wulff da figura 4.

A figura 4 mostra que os diques estudados apresentam polaridade normal e reversa e que o campo geomagnético, apresentava características de campo dipolar, estas características foram comprovadas através do "teste reverso", método apresentado por McFadden & Lowes (1981). O teste aplicado foi positivo, isto é, para o nível de confiança de 95% a média da direções de polaridade normal não é distinta da média das direções de polaridade reversa. Algumas direções anômalas também foram registradas (sítios 5, 16, 17, 18, 19, e 118, Tabela 2) e podem estar associadas com inversões de polaridade ou excursões geomagnéticas. Somente este fato é suficiente para afirmar que os diques do Arco de Ponta Grossa não ocorreram durante um único evento intrusivo, mas tiveram sua colocação em, pelo menos, três episódios distintos, sendo que a maioria dos corpos foram colocados quando o campo magnético terrestre apresentava polaridade normal, como é evidenciado pelo maior número de diques com essa polaridade.

Investigou-se a possibilidade das direções de magnetização estarem relacionadas com as direções estruturais dos diques. Desse modo, representou-se na Figura 5 as direções de magnetização dos diques considerando-se as orientações NW e NE. Pode ser observado que não existe uma relação entre as direções estruturais e as direções de magnetização Tabela 2 - Resultados paleomagnéticos dos diques do Arco de Ponta Grossa. Onde Class.=classificação, N=número de espécimens medidos, n-número de espécimens incluídos na média, Decl.=declinação, Incl.=inclinação,  $\alpha_{95}$ -raio do círculo de 95% de confiança, R-comprimento do vetor resultante, k=parâmetro de precisão, Pol.- polaridade (N-normal, I-intermediária e R-reversa) Long.=longitude do PGV, Lat.-latitude do PGV, DM e DP-oval de 95% de confiança, AB-andesi-basalto, LA-lati-andesito, RY=riolito, AN=andesito, BT-basalto toleítico, RD=riodacito, LB=lati-basalto (de acordo com Benini,J992), S.R.S=sítios sem resultados consistentes

Table 2 - Paleomagnetic data for the Ponta Grossa dikes. Class.=classification, N=number of specimens per site, n=number of specimens included in the mean, Decl.=declination, Incl.=inclination,  $\alpha_{95}$ =confidence circle of the 95%, R=long of the resultant vector, k=precision parameter, Pol.=polarity (N=normal, I=intermediate and R=reverse), Lat.=latitude of the VGP, Long=longitude of the VGP, DM and DP define the 95% confidence oval for the Virtual Geomagnetic poles, LA=lati-andesite, RY=rhyolite, AN=andesite, BT=tholeiitic basalt, RD=rhyodacite, LB=lati-basalt (according to Benini.1992), S.R.S=sites without consistent results

				DIREÇÃO	MÉDIA D	E MAGN	ETIZAÇÃO	)	PÓL	OS GEOM	AGNÉTIC	OS VIRTU	JAIS
SÍTIO	Class	TiO <sub>2</sub>	N/a	Decl.	Incl.	α95	R	k	Pol	Long.	Lat.	DM	DP
		-		(*)	· (°)	(°)				(°)Ē	(°)	്ര	(°)
						FAR	TURA			• •		•••	
1	AB	3.77	9/9	352.3	-35.8	2.8	8.977	341.8	N	245.5	82.0	3.2	1.9
2	LA	3.09	8/8	166.2	30.3	4.3	7,959	170.9	R	66.6	-75.2	4.7	2.6
3	AB	2.42	6/6	167.7	40.1	6.2	5.957	116.5	R	41.0	-78.7	7.5	4.5
4	AB	2.70	9/9	346.4	-31.8	5.0	8.926	108.2	Ň	243.9	75.8	5.6	3.1
5	AN	3.21	14/14	188.2	-1.5	2.6	13.945	234.6	Ī	149.9	64.6	2.6	1.3
6.	AB	2.59	9/9	23.3	-63.3	6.0	8.891	73.6	Ň	94.7	61.4	9.5	7.5
7	RY	1.20	11/8	175.5	51.3	4.0	7.965	197.4	R	334.2	-80.5	5.4	3.6
8	AB	2.88	12/12	348.9	-29.8	2.4	11.967	331.2	Ň	253.4	77.2	2.6	1.5
9	AB	3.77	10/10	156.6	62.3	2.2	9,982	488.3	R	348.7	-62.3	3.4	2.7
10	AB	2.76	18/18	15.9	-46.5	4.4	17,733	63.7	Ň	59.8	75.2	5.6	3.6
11	AB	2.83	9/6	346.4	-34.7	1.7	5,997	1472.5	N	237.4	76.6	2.0	1.2
12	LA	3.57	22/19	165.9	32.6	3.3	18.829	105.4	R	61.7	-75.6	3.7	2.1
13	LA	3.62	10/10	164.3	31.4	2.1	9,984	550.1	R	61.4	-73.9	2.3	1.3
14	AB	2,38	6/6	344.0	-37,3	1.5	5,997	1967.3	N	227,0	75.0	1.8	1.0
15	AB	2.61	4/4	342.6	-34.1	2.0	3.999	2032.8	N	233.3	73.1	2.3	1.3
16	LA	3.17	10/10	167.3	-1.5	2.4	9,978	413.1	I	101.6	62.9	2.4	1.2
17	LA	3.04	6/6	170.5	-1.2	0.9	5,999	5649.7	I	108.1	64.3	0.9	0.4
18	LA	3.16	9/9	167.4	0.5	2.9	8.975	322.5	Ī	100.8	-63.8	2.9	1.4
19	LA	3.13	10/6	173.4	-4.4	4.2	5.981	261.2	Ī	115.4	63.6	4.2	2.1
21	AB	2.79	18/18	348.8	-29.3	1.8	17.952	357.0	Ň	254.8	76.9	2.0	1,1
22	AB	2.70	6/6	349.0	-40.7	2.4	5.994	778.8	Ň	219.3	79.9	2.9	1.8
23	AB	2.45	6/6	345.2	-42.7	4.9	5.974	189.5	N	211.2	76.4	6.0	3.7
84	AB	2.45	9/9	164.9	31.5	3.7	8,960	198.1	R	62.0	-74.5	4.1	2.3
119	AB	2.47	12/12	4.2	-46.8	4.5	11.881	92.2	· N	90.6	84.3	5.9	3.8
120	AB	3.77	9/9	158.8	57.5	4.5	8.939	130.5	R	356.9	-66.8	6.6	4.9
121	AB	2.77	15/15	9.4	-43.7	1.6	14.977	599.0	N	54.5	81.3	2.0	1.2
						SAPO	PEMA		-			-,-	
24	AB	2.58	9/9	349.4	-37.8	2.6	8.979	382.8	N	233.3	79.8	3.1	1.8
25	AB	2.78	9/9	344.6	-36.3	4.8	8.930	115.0	Ň	231.5	75.2	5.6	3.3
26	AN	3.67	-						S.R.C.				••
27	AN	2.82	9/6	354.5	-44.7	2.3	5,994	856.8	N	193.7	84.5	2.9	1.8
28	ĽA	3.12	21/21	353.8	-42.7	1.8	20.940	331.5	Ň	210.7	84.3	2.2	1.3
29	LA	3.12	6/6	5.9	-31.4	2.3	5.994	847.4	Ň	348.4	81.1	2.6	1.4
30	LA	3 19	14/14	355.4	-50.6	80	13 491	25.5	N	157.4	81.5	10.8	7.3
31	AB	3.65	12/12	10.2	-26.5	5.0	11.856	76.2	Ň	355.9	76.3	5.4	2.9
32	LA	2,91	10/10	350.5	-29.1	2.8	9.970	304.4	N	260.1	77.9	3.1	1.7
33	LA	2.76	9/9	356.9	-34.3	3.9	8.954	174.2	Ň	278.0	84.3	4.5	2.6
34	AB	3.03	10/10	352.2	-33.4	4.6	9.919	110.9	N	255.1	80.9	5.2	3.0
35	AB	2.62	9/9	339.2	-28.0	8.1	8,805	41.0	N	240.0	68.5	8.9	4.9
46	LA	2.68	6/6	176.4	58.7	6.0	5,960	126.5	R	320.4	-74.7	8.9	6.6
47		-,	9/9	355.4	-52.8	3.3	8,968	247.9	Ň	153.6	80.4	4.5	3.1
52	AB	2.28	11/11	347.8	-42.2	3.1	10.953	213.2	N	217.8	78.9	3.9	2.4
•-		-1	• • • • •	517,0	TE	LÊMA	COBOR	BA	••			-1-	
36	AB	2.92	16/11	354.5	-35.0	1.5	10.989	873.2	N	260.9	83.0	1.8	1.0
37	AB	2.57	9/9	181.2	51.0	4.7	8.934	121.0	R	301.2	-82.3	6.4	4.3
38	LA	2.54	6/6	334.8	-40.5	10.3	5.885	43.4	Ň	216.0	66.9	12.5	7.5
39	AB	2.83	9/6	154.4	56.1	2.0	5,996	1150.6	R	3.3	-64.7	2.8	2.0
40			3/3	3.5	-52.9	4.5	2.997	757.2	Ň	111.4	80.2	6.2	4.3
41	AB	2.93	6/6	3.4	-39.1	3.3	5.988	404.7	N	4.9	86.1	4.0	2.4
42	AN	3.28	10/10	2.9	-33.8	4.5	9.924	118.8	N	334.7	83.5	5.1	2.9
43	AN	2.65	9/9	353.0	-43.1	2.7	8,979	372.3	N	211.7	83.6	3.3	2.1
44	LA	3.29	10/10	341.8	21.0	3.1	9,963	246.0	N	254.0	68.1	3.2	1.7
45	AR	3.26	7/7	160 1	57 3	24	6.990	620.8	R	356 4	-68 4	3.5	26
49	AR	2,38	0,0	156 1	57 5	57	8,910	90,0	R	01	-65 6	7.6	5,6
50	LA	3.01	6/6	10 1	-40.6	27	5,002	592.0	N	317	80.6	3 2	2.0
51	AR	246	8/R	0.5	.41.7	22	7 076	286.0	N	330.0	88.8	40	74
53	AN	2.10	9/0	3577	-29 0	26	8,980	402.8	Ň	294.6	81 3	2.8	1.6
54	AR	2,38	9/9	331 1	-57.5	2.0	8,086	568 0	N	182.7	61 8	3.2	23
55	AN	1 48	11/11	<u>4</u> 1	-48.2	64	10 800	57.5	N	92.0	83 7	81	55
		147U		-,-		v,-	10,009	خربت ب		×		0,0	

Tabela 2 (continuação)	
Tabela 2 (continuation)	

				DIRECAO	MÉDIA D	EMAGN	TIZACÃO	)	 ד/זיק	OS GEOM	AGNÉTIC	OS VIRTI	JAIS
STTIO	Class	TiO <sub>2</sub>	N/n -	Deci.	Inci.	a95	R	, k	Pol.	Long.	Lat.	DM	DP
				(°)	(°)	ൗ				(°) E	(°)	(*)	(?)
56	AB	2,12	8/6	347,3	-46,6	2,5	5,993	701,1	N	200,9	78,2	3,3	2,1
57	AB	3,31	6/6	341,6	-58,0	3,8	5,984	311,9	N	172,7	69,0	5,6	4,1
58	AN	2,54	7/7	147,9	46,7	9,3	6,862	43,5	R	24,9	-61,1	11.9	7,7
29 60		3,45	9/9	192,7	21,7	1,5	8,995	1460,2	K N	200.9	-72,0	1,4	0,8
61	AD BT	4,07	9/9	3597	-36,2	1,2	8 990	807 A	N	1793	00,9 77 7	2.6	1,1
62	AB	1.89	56/43	186.8	39.5	1.7	42.749	167.6	R	202.3	-83.4	2.0	1.2
63			3/3	2,0	-54.2	2.2	2,999	3221.4	Ň	120,2	79.7	3.1	2,1
64	AB	2,30	8/8	358,0	-50,7	5,6	7,930	100,6	N	143,0	82,9	7,5	5,0
65	AB	2,54	9/9	161,9	45,4	1,8	8,990	826,4	R	27,5	-73,6	2,3	1,4
66	AN	2,43	9/9	357,5	-35,0	4,0	8,952	166,5	N	285,1	84,2	4,6	2,7
0/ 29	AB AD	2,09	9/9	333,3 250 s	-51,4	8,3	8,797	39,4	N	223,0	0/,U 97.0	9,8	5,7
60 69	AB	2,93	9/9	336,3	-40,0	24	0,997 8 987	453.0	N	200,4	825	28	1.6
70	AB	2.63	9/9	357.6	-43.4	1.5	8,993	1151.6	N	203.8	87.7	1.9	1.2
71	AB	2,41	12/12	353,3	-36,6	2,1	11,975	439,2	N	253,3	82,5	2,4	1,4
						CUR	ITIBĂ						
72	AB	2,1	6/3	335,8	-28,1	4,4	2,997	780,9	N	239,4	65,2	4,8	2,7
73	LA	2,85	-						S.R.C.				
74		2,89	12/12	345,1	-33,3	8,0	11,640	30.5	N	243,8	74,6	9,1	5.2
76	BT	1.51	616	0,5	-35.2	3.2	0,70J 5 988	333,0 430 7	N	2120,7	83,0 84 3	3,0	2.1
77	AB	2.50	9/9	160.6	54.2	2.2	8.986	561.3	R	6.1	-70.7	3.1	2.1
78	AB	2,21	6/6	341,8	-42,0	5,7	5,965	141,4	N	219,6	73,5	6,9	4,3
79	AB	2,11	9/9	154,0	37,6	4,7	8,935	123,6	R	46,4	-65,8	5,5	3.2
79'	BT	1,77	6/6	351,0	-38,2	2,2	5,995	930,2	N	245,7	80,7	2,6	1,5
80	AB	2,44	9/9	357,6	-42,8	2,6	8,980	405,8	N	239,3	87.7	3.2	2,0
61 97	AB DT	2,49	0/0	103,0 240.9	40,3	2.7	3,992	01/,/	R N	29,2	-10,4	3,3	2,2
83	AR	3.45	12/12	181 2	45.2	17	11,984	691.1	R	273.6	-88.2	21	13
85	LA	1.29	16/16	354.4	-58.0	3.9	15.835	90.9	Ň	149.1	75.7	5.7	4.2
86	AB	3,48	6/6	171,2	45,0	4,8	5,975	197,2	R	29,6	-81,9	6,1	3,8
87	RY	1,41	5/5	181,1	46,2	4,5	4,986	293,1	R	289,4	-87,4	5,7	3,7
88	RD	0,42						-	S.R.C.			-	
89	AB	2,32		1744			4.000		S.R.C.				
90	DY	3,18 1.40	12/12	1/4,4	44,2 44 5	2,4	4,990	773 0	R D	29,4	-84,9	3,0 20	1,9
92	LB	2.42	3/3	180.4	37.3	1.9	3.000	4454.9	R	135.9	-85.8	2.2	1.3
93	BT	1.08	6/6	346.4	-34,0	3.9	5,983	301.7	Ň	245.0	75.8	4.4	2.5
94	AB	2,44	6/6	164,7	48,9	2,7	5,992	633,8	R	18,6	-75,7	3,5	2,3
95	LA	3,72	9/9	161,6	33,4	2,3	8,984	509,7	R	59,1	-71,6	2,6	1,5
96	AB	2,75	12/12	353,0	-54,6	2,1	11,975	444,6	N	160,9	78,4	2,9	2,1
97	AB	2,57	4/4	351,4	-53,1	7,2	3,982	103,7	N	170,6	78,8	10,0	0,9
98		2,04	2/2	192,3	41,0	4,/	4,965	270,4	K N	210,5	-/5,8 72.0	3,7	3,3
100	AN	1,39	7/7	11.1	-54.7	7.1	6,917	72.5	N	89.3	76.3	10.1	7.1
101	AN	1.86	11/11	343.0	-49.4	3.0	10.956	229.3	N	199.0	74.3	4.0	2.7
102	AB	2,74	6/6	349,6	-51,1	1,5	5,998	2098,8	Ň	183,0	78,8	2,0	1,3
103	AB	2,10	4/4	154,6	28,5	3,8	3,995	581,1	R	58,8	-64,2	4,2	2,3
104	LB	2,00	27/27	358,4	-46,0	1,9	26,881	218,9	N	158,7	86,9	2,4	1,5
122	BT	1,39	9/9	355,8	-54,1	1,4	8,994	1404,9	N	152,4	80,4	1,9	1,4
123	ы	1,35	0/0	348,4	-23,1	Z,I GUAI	2,993 DIA DA	1000,3	N	180,5	11,2	2,8	2,0
105	AB	2.69	12/12	165.8	34.8	1.8	11.981	564.5	R	62.9	-75.6	2.1	1.2
106	AB	2,63	8/4	336.6	-39.8	8.4	3,975	120.4	Ň	220.8	68.5	10.1	6,1
107	AB	2,08	9/6	345,1	-49,8	1,6	5,997	1802,3	N	192,4	75,3	2,1	1,4
108	AB	2,41	3/3	352,4	-32,8	1,4	3,000	7810,6	N	261,7	80,4	1,6	0,9
109	AB	2,04	9/9	354,9	-34,8	1,3	8,995	1522,2	N	267,3	83,1	1,5	0,9
110	LA	2,51	3/3	1,0	-39,0	15,1	2,971	68,1	N	334,7	87,6	18,0	10,7
111	LA T A	2,27	0/0 לתר	1,/	-24,9 -28 0	11,4 A 6	3,639 6 064	33,4 174 2	IN N	320,0 301 <	76,8 20 K	12,3	0,0 ኃደ
113	ĹA	3,49	9/9	171.8	52.8	3.5	8,963	219.0	R	347.3	-78.3	4.8	3.3
114	AN	3,10	12/12	196.2	32.3	6.9	11,728	40.5	R	200.3	-73.4	7.8	4,4
115	AB	2,78			-,-		••		S.R.C.	**			
116	LB	1,38			-			-	S.R.C.				
117	BT	1,44	4/4	340,0	-49,9	3,1	3,997	878,4	N	196,7	71.1	4,1	2,8
118	LA	3,59	12/8	174,1	-4,1	15,9	7,464	13,1	i P	118,1	03,1	16,0	8,0
131		2,90	9/9 0/0	104,0	23,/ 51 A	2,5	0,984 8 097	510,1 612 1	R D	222,0 10 2	-71,0	3,3 7 9	2,2
132	AB	2.40	6/6	352.6	-49.2	0.8	5,999	7297.0	N	10,5	81.4	1.0	0.7
134	AB	2.63	3/3	345.3	-43.0	5.4	2,996	519.6	N	216.4	76.7	6,7	4.2
135	AB	2,43	8/5	144,9	51,3	3,6	4,991	457,9	R	19,6	-58,4	4,9	3,3



Figura 4 - Direções médias de magnetização de 121 diques do Arco de Ponta Grossa estudados. Os símbolos vazios representam polaridade normal e os cheios polaridade reversa do campo geomagnético. Os pontos na borda da rede correspondem às direções intermediárias (anômalas) Figure 4 - Mean magnetization directions for 121 studied dikes from Ponta Grossa Arch. Open and solid symbols correspond to normal and reverse polarities of the geomagnetic field, respectively. The symbols near to border of the stereogram are intermediate (anômala) directions

dos diques, ou seja, nas duas orientações ocorrem diques com polaridades normal e reversa. Isto sugere que as fraturas foram indistintamente preenchidas durante os episódios intrusivos que ocorreram no Arco de Ponta Grossa.

Análise e Coinparação dos Dados Paleomagnéticos por Área de Maior Concentração dos Diques Uma vez que os dados paleomagnéticos obtidos (Fig. 4) sugeriram que a colocação dos diques ocorreu em fases ou episódios intrusivos distintos, representou-se separadamente em estereogramas de Wulff (Fig. 6), as direções de magnetização dos diques aflorantes nas cinco áreas do Arco de Ponta Grossa (Fartura, Sapopema, Telêmaco Borba, Curitiba e Guapiara). Este procedimento teve por objetivo verificar possíveis diferenças nas direções de magnetização dos diques que ocorrem na mesma área, assim como também verificar possíveis diferenças paleomagnéticas entre as áreas.

Observa-se na Fig. 6 que nas cinco áreas afloram diques com polaridades normal e reversa do campo geomagnético. Entretanto, há diferenças significativas nas direções paleomagnéticas dos diques pertencentes a uma mesma área, dentro desses intervalos de polaridade. Este fato sugere que os diques não foram colocados ou, pelo menos, não adquiriram sua magnetização remanescente, contemporaneamente dentro de uma mesma área e, portanto, episódios distintos devem ter ocorrido dentro de cada uma delas.

De modo geral, quando o campo geomagnético apresentava polaridade reversa ocorreu atividade intrusiva em todas as áreas do Arco, entretanto, na área de Curitiba (Fig. 6D) esta atividade parece ter sido mais intensa como é evidenciado pelo maior número de diques (44%) com essa polaridade, enquanto que na área de Sapopema (Fig. 6B) não foi muito expressiva, pois, há somente um registro.

As direções intermediárias (anômalas) típicas de inversão ou excursão do campo geomagnético, somente foram identificadas nas áreas de Fartura (Fig. 6A) e Guapiara (Fig. 6E), sugerindo que apenas estas duas áreas deveriam estar ativas durante esse período.

Na tentativa de verificar se houveram episódios intrusivos coincidentes entre as cinco áreas do Arco de Ponta Grossa, inicialmente dividiu-se cada área em grupos de direções de magnetização. Estes grupos eram bastante evidentes em Fartura (Fig. 6A), Curitiba (Fig. 6D) e Guapiara (Fig. 6E). Nas áreas de Sapopema (Fig. 6B) e Telêmaco Borba (Fig. 6C), procurou-se agrupar as direções considerando, principalmente, as diferenças nas inclinações, a exemplo dos grupos existentes nas demais áreas.

Efetuou-se médias das direções de magnetização dos sítios pertencentes a cada grupo determinado. Estas médias encontram-se nas Tabelas de 3 a 7 e foram representadas com seus respectivos círculos de 95% de confiança (0X95) na Fig.7. Algumas direções foram representadas considerando-se apenas um dique, o qual foi designado por seu número de campo e cujos dados estão na Tabela 2, e correspodem aos números 5, 6, 16, 17, 18 e 19 em Fartura (Fig. 7A). Neste caso em particular os círculos de confiança ( $\alpha_{95}$ ) não foram representados na figura porque estes diques apresentam direção magnética anômala (borda da rede), 46 em Sapopema (Fig. 7B), 44, 59 e 62 em Telêmaco Borba (Fig. 7C), 72 e 77 em Curitiba (Fig. 7D) e 105,114 e 118 em Guapiara (Fig. 7E). Procedeu-se desse modo com o intuito de verificar se estes diques encontravam correspondências entre si.

Como cada área apresenta pelo menos dois grupos de direções médias de magnetização nos intervalos de polaridade, representou-se todos estes grupos de direções, juntamente com seus respectivos círculos de 95% de confiança (095), na Figura 8, para visualizar melhor aqueles que deveriam ser comparados. Nesta figura as direções médias dos grupos foram representadas com símbolos diferentes para cada área.

Um critério bastante simples que pode ser empregado para investigar se direções de magnetização são iguais ou diferentes consiste em verificar se há um entrelaçamento dos círculos de 95% de confiança («95) das médias a serem comparadas. Se estes círculos não se interceptam então as direções, seguramente, são diferentes, entretanto, se eles se entrelaçam então, a hipótese de que as direções possam ser iguais ou diferentes não pode ser descartada ao nível de 95% de confiança. Neste caso é necessário que testes estatísticos mais elaborados sejam aplicados.

Pode ser visto na Figura 8 que os círculos de 95% de confiança de algumas direções médias das cinco áreas não se interceptam e que as direções correspondentes aos sítios 6, 44, 59, 62, 72 e 114 encontram-se afastados das direções médias principais e, por isso, não serão considerados nesta abordagem. Observa-se também, que há muitas sobreposições entre os círculos de confiança das diferentes direções médias de todas as áreas. Nestes casos aplicou-se o teste estatístico de distribuição F de McFadden & Lowes (1981), para verificar a igualdade das direções médias de magnetização.

Ō resultado do teste F revelou que há 95% de probabilidade de igualdade para as direções médias das áreas de Curitiba ( $C_2$ ) e Telêmaco Borba ( $T_2$ ) (ver Figura 7 para identificação das direções médias); Guapiara ( $G_2$ ) e Sapopema ( $S_2$ ); Curitiba ( $C_1$ ) e Fartura (F,); Guapiara ( $G_1$ ), Sapopema ( $S_1$ ) e Telêmaco Borba ( $T_1$ ), para a polaridade normal do campo geomagnético.



Figura 5 — Direções médias de magnetização dos diques do Arco de Ponta Grossa com trends NW e NE. Símbolos vazios representam polaridade normal e os cheios polaridade reversa do campo geomagnético. \* e x correspondem, respectivamente, aos campo geomagnético atual e campo geomagnético dipolar

Figure 5 - Mean magnetization directions of the NW and NE trending dikes from Ponta Grossa dikes. Open and solid symbols are normal and reverse polarities of the geomagnetic field. \* and x correspond to present and dipolar geomagnetic field, respectively

Tabela 3 — Médias das direções de magnetização remanescente característica dos diques da região de Fartura. Estas médias encontram-se representadas na Fig. 7A. Onde Médias indica a posição na rede, N= total de sítios incluídos na média, os demais símbolos são os mesmos da Tabela 2 Table 3 - Mean characteristic remanent magnetization directions of the dikes from Fartura region. These mean are represented in Fig. 7A. Médias indicates the position on the stereonet, N=sites included in the mean, the other symbols are as in Table 2

Médias	Decl. (°)	Incl. (°)	α95 (°)	k	R	N	Sítios
F1	347,1	-35,2	3,3	243,72	8,96718	9	1, 4, 8, 11, 14, 15, 21, 22, 23
F <sub>2</sub>	9,8	-45,7	6,7	338,9	2,99410	3	10, 119, 121
F3	164,6	57,3	12,1	103,5	2,98068	3	7, 9, 120
F4	165,8	33,2	3,8	394,4	4,98986	5	2, 3, 12, 13, 84
6	23,3	-63,3	6,0	73,6	8,891	-	6 - dados da Tabela 2

Para a polaridade reversa do campo geomagnético o teste F mostrou igualdade das direções médias entre as áreas: Telêmaco Borba  $(T_3)$ ,> Sapopema (46), Fartura (F<sub>3</sub>), Curitiba (77) e Guapiara (G<sub>3</sub>); Curitiba (C<sub>3</sub>), Fartura (F<sub>4</sub>) e Guapiara (105).

As igualdades das direções médias verificadas entre as cinco áreas refletem, com 95% de probabilidade, contemporaneidade na colocação (ou resfriamento) dos diques e mostram quais áreas estiveram ativas, contemporaneamente, Tabela 4 - Médias das direções de magnetização remanescente característica dos diques da região de Sapopema. Estas médias encontram-se representadas na Fig. 7B. Onde Médias indica a posição na rede, N= total de sítios incluídos na média, os demais símbolos são os mesmos da Tabela 2 Table 4 - Mean characteristic remanent magnetization directions of the dikes from Sapopema region. These mean are represented in Fig.7B. Médias indicates the position on the stereonet, N=sites included in the mean, the other symbols are as in Table 2

Médias	Decl. (°)	Incl. (°)	α95 (°)	k	R	И	Sítios
<b>s</b> <sub>1</sub>	359,2	-31,2	7,7	100,7	4,96027	5	29, 31, 32, 33, 34
s <sub>2</sub>	349,4	-42,0	6,2	79,4	7,91182	8	24, 25, 27,
							28, 30, 35,
							47, 52
46	176,4	58,7	6,0	126,5	5,960	-	46 - dados da Tabela 2

durante os episódios intrusivos ocorridos no Arco de Ponta Grossa.

A direção de polaridade normal  $F_2$  de Fartura (Fig.7A) e reversa  $C_4$  de Curitiba (Fig.7D), não encontraram correspondentes nas outras áreas, isto sugere que quando o campo geomagnético apresentava estas direções somente Fartura e Curitiba estavam ativas.

Para uma melhor visualização dos eventos ou episódios intrusivos ocorridos no Arco de Ponta Grossa e, conse-



Figura 6 — Direções de magnetização dos diques das cinco áreas de maior concentração dos mesmos. Os símbolos vazios representam polaridade normal e os cheios polaridade reversa do campo geomagnético Figure 6 - Magnetization directions of the dikes from the five areas where they are more concentrated. Open and solid symbols correspond to normal and reverse polarities of the geomagnetic field

Tabela 5 - Médias das direções de magnetização remanescente característica dos diques da região de Telêmaco Borba. Estas médias encontram-se representadas na Fig. 7C. Onde Médias indica a posição na rede, N = total de sítios incluídos na média, os demais símbolos são os mesmos da Tabela 2

Table 5 - Mean characteristic remanent magnetization directions of the dikes from Telêmaco Borba region. These mean are represented in Fig. *IC*, Médias indicates the position on the stereonet, N=sites included in the mean, the other symbols are as in Table 2

Médias	Deci. (°)	Incl. (°)	α95 (ግ)	k	R	N	Sítios
T <sub>1</sub>	359,4	-37,7	2,9	202,5	12,94075	13	36, 41, 42, 43, 50, 51, 53, 60, 66, 68, 69, 70, 71
т2	349,3	-50,9	6,6	54,5	9,83481	10	38, 40, 54, 55, 56, 57, 61, 63, 64, 67
T3	160,3	-52,8	7,4	83,0	5,93973	6	37, 39, 45, 49, 58, 65
44	341,8	-21,0	3,1	246,0	9,963	•	6 dados da Tabela 2
59	192,7	21,7	1,3	1460	8,995	•	59 dados da Tabela 2
62	186,8	39,5	1,7	167,6	42,749	-	62 dados da Tabela 2

Tabela 6 - Médias das direções de magnetização remanescente característica dos diques da região de Curitiba. Estas médias encontram-se representadas na Fig.7D. Onde Médias indica a posição na rede, N=total de sítios incluídos na média, os demais símbolos são os mesmos da Tabela 2 Table 6 - Mean characteristic remanent magnetization directions of the dikes from Curitiba region. These mean are represented in Fig.7D. Médias indicates the position on the stereonet, N=sites included in the mean, the other symbols are as in Table 2

Médias (°)	Decl. (°)	Incl. (°)	α95	k	R	N	Sítios
C1	349,5	-34,4	4,4	232,9	5,97853	6	74, 76, 79', 82, 93, 99
C2	353,6	-51,8	3,4	160,2	11,93350	12	75, 78, 80, 85, 96, 97, 100, 101, 102, 104, 122, 123
C3	156,7	33,2	8,8	196,6	2,98982	3	79, 95, 103
C4	175,7	44,7	4,6	124,2	8,93556	9	81, 83, 86, 87, 90, 91, 92, 94, 98
72	335,8	-28,1	-	-	-	1	72 dados da Tabela 2
77	160,6	54,2		-		1	77 dados da Tabela 2

quentemente, das áreas contemporaneamente ativas, efetuou-se uma média das direções médias de magnetização consideradas estatisticamente iguais entre as cinco áreas. Estas médias encontram-se na Tabela 8 e foram representadas com seus respectivos círculos de confiança na Fig. 9, onde representou-se também as direções médias  $F_2$  de Fartura e C<sub>4</sub> de Curitiba.

De modo geral, os dados da Fig. 9 indicam que, provavelmente, ocorreu um total de pelo menos nove fases ou episódios intrusivos distintos no Arco de Ponta Grossa como um todo, dois dos quais de caráter localizado, isto é, um deles

Tabela 7 — Médias das direções de magnetização remanescente característica dos diques da região de Guapiara. Estas médias encontram-se representadas na Fig. 7E. Onde Médias indica a posição na rede, N=total de sítios incluídos na média, os demais símbolos são os mesmos da Tabela 2 Table 7 - Mean characteristic remanent magnetization directions of the dikes from Guapiara region. These mean are represented in Fig.7E. Médias indicates the position on the stereonet, N=sites included in the mean, the other symbols are as in Table 2

Médias	Decl. (°)	Incl. (°)	α95 (°)	k	R	N	Sítios
Gl	357,7	-31,9	6,1	155,7	4,97431	5	108, 109, 110, 111, 112
G2	343,7	-46,4	5,9	167,9	4,97618	5	106, 107, 117, 133, 134
G3	161,3	53,2	8,4	121,4	3,97528	4	113, 131, 132, 135
105	165,8	34,8	1,8	564,5	11,981	-	105 dados da Tabela 2
114	196,2	32,3	6,9	40,5	11,728	•	114 dados da Tabela 2
118	174,1	-4,1	15,9	13,1	7,464	•	118 dados da Tabela 2

identificado apenas na área de Fartura (Média V ou  $F_2$  da Fig. 7A) e outro, apenas em Curitiba (Média VIII ou C<sub>4</sub> da Fig. 7D). Um terceiro episódio foi registrado somente nas áreas de Fartura e Guapiara (direções intermediárias ou anômalas, Média IX). Os dados sugerem ainda, que somente durante uma fase intrusiva todas as áreas estiveram ativas (Média VI). Entretanto, essa fase foi menos expressiva nas áreas de Sapopema e Curitiba como é evidencidado pela ocorrência de somente um dique, em cada uma delas, com essa direção de magnetização (Tabela 8).

Desse modo, as áreas que estiveram mais vezes ativas foram Fartura (Figs. 7A e 9), Guapiara (Figs. 7E e 9) e Curitiba (Figs. 7D e 9).

As diferentes direções de magnetização encontradas para os diques do Arco de Ponta Grossa, provavelmente não estão associadas a diferenças significativas de idades radiométricas, mas devem estar refletindo mudanças na direção do campo geomagnético devido à variação secular e às inversões de polaridade. Considerando-se as escalas de tempo em que ocorrem esses fenômenos, da ordem de milhares de anos, os métodos radiométricos disponíveis, dificilmente poderiam detectar as diferenças temporais na atividade intrusiva do Arco.

**DISCUSSÃO E CONCLUSÕES** Os resultados paleomagnéticos apresentados neste trabalho permitem afirmar que o Arco de Ponta Grossa foi palco de uma atividade intrusiva que se processou em fases ou episódios distintos (Fig. 4), que devem ter ocorrido em um intervalo de tempo muito curto, mas suficiente para cobrir, pelo menos, um ciclo da variação secular.

A análise feita nas áreas de maior concentração dos diques, Fartura, Sapopema, Telêmaco Borba, Curitiba e Guapiara, indicou a ocorrência de mais de um episódio intrusivo dentro de cada área, dos quais pelo menos três puderam ser identificados (Figs. 7 e 9).

A comparação das direções médias de magnetização das cinco áreas permitiu verificar quais delas estavam ativas durante uma mesma fase intrusiva, além de indicar episódios localizados como aqueles ocorridos em Fartura, Curitiba e Fartura-Guapiara. Este último registrou uma direção típica de excursão ou inversão do campo geomagnético (Fig. 9). Somente na fase que gerou a direção Média VI da Fig. 9, é que todas as áreas estiveram contemporaneamente ativas.



Figura 7 - Direções médias de magnetização para as cinco áreas, com seus respectivos círculos de 95% de confiança. Os dados encontram-se nas Tabelas 2 e 3 a 7. Os símbolos vazios representam polaridade normal e os cheios polaridade reversa do campo geomagnético

Figure 7 - Mean magnetization directions to the five areas with their respective 95% confidence circles. Data are in Tables 2 and 3 to 7. Open and solid symbols correspond to normal and reverse polarities of the geomagnetic field

Revista Brasileira de Geociências, Volume 25, 1995



Figura 8 - Direções médias de magnetização dos diques de todas as áreas, juntamente com seus respectivos círculos de 95% de confiança. FAR=Fartura, SA=Sapopema, TB=Telêmaco Borba, CUR=Curitiba e GUA=Guapiara. Os símbolos vazios representam polaridade normal e os cheios polaridade reversa do campo geomagnético Figure 8 - Mean magnetization directions of the dikes from all areas with their 95% confidence circles. FAR=Fartura, SA=Sapopema, TB=Telêmaco Borba, CUR=Curitiba and GUA=Guapiara. Open and solid symbols correspond to normal and reverse polarities of the geomagnetic field

Dessa forma os dados sugerem que o Arco de Ponta Grossa foi afetado por nove fases intrusivas principais.

Ferreira (1982) acredita que o material magmático que originou os diques surgiu através dos alinhamentos existentes no Arco de Ponta Grossa. Os dados aqui apresentados não descartam essa possibilidade, no entanto, os diques não foram condicionados exclusivamente por esses alinhamentos, uma vez que foi possível verificar a presença de diques com direções estruturais diferentes das direções apresenta-



Figura 9 — Direções médias de magnetização dos diques, consideradas estatisticamente iguais, juntamente com seus respectivos círculos de 95% de confiança. Os números em romanos identificam as médias relacionadas na Tabela 8. Os símbolos vazios representam polaridade normal e os cheios polaridade reversa do campo geomagnético. FAR=Fartura, SA=Sapopema, TB=Telêmaco Borba, CUR=Curitiba e GUA=Guapiara

Figure 9 - Mean magnetization directions of the dikes considerated statistically iqual with their respective 95% confidence circles. Roman numbers are related to the mean in Table 8. Open and solid symbols correspond to normal and reverse polarities of the geomagnetic field. FAR=Fartura, SA=Sapopema, TB=Telêmaco Borba, CUR=Curitiba e GUA=Guapiara

das pelos alinhamentos (NW). Foi possível ainda verificar que não há uma relação temporal entre as diferentes direções estruturais observadas, isto é, não há uma relação entre as direções estruturais dos diques e as direções do campo geomagnético registradas (Fig.5). Isto significa que todos os

Tabela 8 - Médias das direções de magnetização remanescente característica dos diques das áreas consideradas estatisticamente iguais. Os números romanos indicam a posição na rede da Fig. 9, N=número total de sítios incluídos no cálculo da média. Os demais símbolos são os mesmos da Tabela 2. (\*) a média não foi calculada por se tratar de uma direção que representa ou uma inversão de polaridade ou excurção do campo geomagnético

Table 8 - Mean characteristic remanent magnetization directions of the dikes from areas considerated statistically iquals. The roman numbers indicate the position on the stereonet of the Fig. 9, N=sites included in the mean, the other symbols are as in Table 2. (\*) the mean was not calculated because this direction may be representing polarity inversion of the geomagnetic field

Médias	Decl. (°)	Incl. (°)	α95 (°)	k	R	N	Pol	Áreas consideradas estatisticamente iguais
I	352,2	-51,5	3,4	85,5	20,76611	21	N	Curitiba (C2) + Telêmaco Borba (T2)
п	347,3	-43,8	4,3	92,3	12,87005	13	N	Guapiara (G <sub>2</sub> ) + Sapopema (S <sub>2</sub> )
111	347,5	-35,7	2,4	223,6	16,92843	17	N	Curitiba (C <sub>1</sub> ) + Fartura (F <sub>1</sub> )
IV	359,0	-35,0	2,6	138,9	22,84162	23	N	Guapiara ( $G_1$ ) + Sapopema ( $S_1$ ) + Tel. Borba ( $T_1$ )
v	9,8	-45,7	6,7	338,9	2,99410	3	N	Fartura (F <sub>1</sub> )
VI	162,4	54,4	3,6	111,3	14,87421	15	R	Tel. Borba (T <sub>1</sub> ) + Sapop.(46) + Far (F <sub>1</sub> ) + Cur (77) +
								Gua (G <sub>3</sub> )
VII	162,8	33,4	3,5	210,5	8,96200	9	R	Curitiba (C <sub>1</sub> ) + Fartura (F <sub>4</sub> ) + Guapiara (105)
VIII	175,7	44,7	4,6	124,2	8,93556	9	R	Curitiba (C <sub>4</sub> )
IX*						6	1	Fartura + Guapiara, direção intermediária

sistemas de fraturas puderam ser preenchidos concomitatttemente.

Os dados gjeoquímicos dos diques, obtidos nas mesmas amostras estudadas paleomagneticamente (Benini, 1992) mostraram que há diferenças significativas entre os diques aflorantes nas áreas de maior concentração dos mesmos. As áreas de Fartura e Guapiara são geoquimicamente semelhantes e, sob esse aspecto, mais evoluídas, enquanto a área de Curitiba é a mais primitiva. As áreas de Sapopema e Telêmaco Borba são semelhantes entre si, mas ocupam uma posição distinta entre Fartura-Guapiara e Curitiba.

Os dados geoquímicos associados aos dados paleomagnéticos mostraram que, uma mesma fonte pôde estar ativa

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALGARTE, J.P. 1972. Influência dos arqueamentos cratônicos no conheci-McHay 11, 1972. Influencia dos advancial control entrol control control control control control das alcalinas nos Estados de São Paulo e Paraná. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 26. Belém, 1912. Anais... Belém, SBG. v. 1, p. 65-89.
   ALMEIDA, F.F.M. 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. Boi. Div. Geol. Min., Rio de Janeiro, 241:36.
   ALMEIDA, F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas
- Mesozóicas da região meridional da plataforma Sul-Americana. Rev. Bras. Geoc., 13(3):139-158.
- ALMEIDA, F.F.M. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatimo pós-Paleozóico no Brasil. Rev. Bras. Geoc., 16(4):325-349
- ASMUS, H.E. & PORTO, R. 198.0. Diferenças nos estágios iniciais da evolução da margem continental brasileira: possíveis causas e implicações. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 31. Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG. v. l, p. 225-239.
- ASMUS, H.E. 1981. Relacionamento genético de feições geológicas da margem continental sudeste brasileira e da área continental adjacente. In: SIMP. GEOL. SUL, 3. Curitiba 1981. Ami... Curitiba, SBG, v. l, p. 262-270.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PICCIRILLÓ, E.M. & ROISENBERG, A. 1984. High and Low-TiO<sub>2</sub> flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *Neus. Jarh. Miner. Abh.*, 150:273-306. BENINI, S. 1992. Sciami di dicchi nel S-E Brasile: petrologia, geochimica
- isotopica e implicazioni geodinamiche. Trieste. 123 p. (Tese de Doutorado, Intitulo de Mineralogia e Petrografia da Universidade deTrieste, Itália)
- BUDDINGTON, A.F. & LINDSLEY, D.H. 1964. Iron-titanium oxides minerals and synthetic equivalents. J. Petrol., 5:310. ERNESTO, M.; PACCA, I.G.; HIODO, F.Y. & NARDY, A.J.R. 1990.
- Palaeomagnetism of the Mesozoic Serra Geral Formation, southern Brazil. Phys. Earth Planet. Inter., 64:153-175.
- FERREIRA, F.J.F. 1982. Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa. São Paulo, 169 p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da USP)
- FERREIRA, F. J.F.; MORAES, R.A.V.; FERRARI, M.P. & VIANNA, R.B. 1981. Contribuição ao estudo do alinhamento estrutural de Guapiara. In: SIMP. GEOL. SUL, 3. Curitiba 1981. Atas... Curitiba, SBG, v. l, p. 226-240.
- FISHER, R.A. 1953. Dispersion on a sphere. Proc. R. Soe. London, 217:291-305.
- FÚLFARO, V.J. & SUGUIO, K. 1967. Campos de diques de diabásio da da
- FULFARO, V.J. & Suguio, K. 1967. Campos de unders de indensite da da Bacia do Paraná. Boi. Soe. Brás. Geol, 16(2):23-37.
   FÚLFARO, V.J. & Suguio, K. 1974. Geologia da região de Fartura. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 26. Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre, SBG. v. 4, p. 173-180.
   HAGGERTY, S.E. 1981. Oxidation of opaque mineral oxides in basalts.
- In: Rumble, D. ed. Oxide Minerals; Reviews in Mineralogy, Vol 3, Chapter 4, (Mineral. Soc. of Am., Washington, D.C.)
   IPT. 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 500.000.
- Intitulo de Pesquisa Tecnológica- Governo do Estado de São Paulo. MARINI. O.J.; FUCK, R.A. & TREIN, E. 1967. Inirusivas básicas Jurás-
- sico-Creláceas do Primeiro Planallo do Paraná. Boi. Paranaense de Geoc. Curiliba, 23-25:307-324.
- MCFADDEN, P.L. & LOWES, F.J. 1981. The discriminalion of mean directions drawn from Fisher distributions. Geophys. J. R. Astr. Soc., 67:19-33
- 67:19-33.
  MINEROPAR. 1989. Mapa geológico do Estado do Paraná, escala 1:650.000. Minerais do Paraná S.A., Governo do Estado do Paraná.
  OLIVEIRA, E.P. & MONTES, M.L. 1984. Os enxames de diques máficos do Brasil. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v.l, p. 4137-41155.
  PICCIRILLO, EM; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLIENI, G.; ERNESTO, M.; MARQUES.L.S.; NARDY, A.J.R.;

em tempos diferentes, tendo em vista que nas diversas áreas ocorreram fases intrusivas com polaridades normal e reversa do campo geomagnético (Figs. 6 e 7), sem entretanto implicar em mudanças significativas na composição química dos diques. Por outro lado, fontes distintas puderam estar contemporaneamente ativas como é o caso, por exemplo, (Fig. 9, Média III) das áreas de Fartura (mais evoluída) e Curitiba (mais primitiva).

Agradecimentos A autora gostaria de agradecer à Profa. Dra. Mareia Ernesto pela orientação prestada durante a realização deste trabalho, a FAPESP e ao CNPq pelo apoio financeiro prestado, sem o qual este trabalho não se realizaria.

PACCA, I.G., ROISEMBERG, A. & STOLFA, D. 1988. Continental flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil). In: MacDougal, J.D.

- ed. Continenial Flood Basalls, Kluwer Acad. Publ. 195-238.
   PICCIRILLO, EM; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.J.; STOLFA, D.; BELLIENI, G.; MARQUES.L.S.; NARDY, A.J.R.; PINESE, J.P.P.; RAPOSO, M.I.B. & ROISEMBERG, A. 1989.
   Pelrochemical of conlinenlal flood basalt-rhyolite suites and related intrusives from lhe Paraná Basin (Brazil). In: Piccirillo, E.M.; Melfl, A.J. eds. The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin:
- Pelrogenelic and Geophysical Aspecls. IAG/Universidade de São Paulo, Brasil. 107-156.
  PICCIRILLO, E.M.; BELLIENI, G.; CAVAZZINI, G.; COMIN-CHIARA-MONTI, P.; PETRINI.R.; MELFI, A.J.; PINESE, J.P.P.; ZANTA-DESCHI, P. & DE MIN, A. 1990. Lower Creiaceous tholeiitic dyke swarm from the Ponta Grossa Arch (Southeasl Brazil): Petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with the Paraná flood
- volcanics. *Chem. Geol.*, 89:19-48.
   PINESE, J.P.P. 1989. Caracierização pelrológica e geoquímica dos diques do Arco de Ponla Grossa. São Paulo. 196 p. (Dissertação de Mes-trado. Instituto Astronômico e Geofísico da USP).
- RAPOSO, M.I.B. & ERNESTO, M. 1989. Rochas intrusivas básicas do Arco de Ponta Grossa: resultados paleomagnéticos preliminares. *Rev. Bras. Geoc.*, 19:393-400.
   RAPOSO, M.I.B. & ERNESTO, M. 1991. Direções estruturais dos diques máficos do Arco de Ponta Grossa determinadas através da anisotropia
- de suscetibilidade magnética. In: SIMP. NACIONAL ESTUDOS TECTÔNICOS, 3. Rio Claro SP. (Boletim de Resumos).
- RAPOSO, M.I.B. 1992. Paleomagnetismo do enxame de diques do Arco de Ponta Grossa, São Paulo 104 p. (Tese de Doutoramento Instituto Astro-nômico e Geofísico da USP).
- RENNE, P.R. & ERNESTO. M.; PACCA. I.G.; COE. R. & GLEN, J. 1992. The age of Paraná flood, volcanics rifiting of Gondwanaland and Jurassic-Cretaceous boundary. Science, 258:975-979.
- Jurassic-Cretaceous boundary. Science, 258:975-979.
  ROCHA-CAMPOS, A.C.;CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; SONOKI, H.M. & SONOKI, I.K. 1988. Age of the Paraná flood volcanism. In: Piccirillo, E.M.; Melfl, A.J. eds. The Mesozoic Flood Volcanism of lhe Paraná Basin: Pelrogenelic and Geophysical Aspects. IAG/Uni-versidade de São Paulo, Brasil. 25-46.
  SIAL, A.N.; OLIVEIRA, E.P. & CHODHURI, A. 1987. Mafic dyke swarms of Brazil. In: Halls, H.C.; Fahrig, W.F. eds. Mafic Dyke Swarms. Geological Association of Canada, Special paper 34:467-481.
  SOARES, P.C.; BARCELLOS, P.E.; CSORDAS, S.M.; MATOS, J.T.; BALLEIRO, M.G. & MENESES, P.R. 1982. Lincamentos em ima-gens de Landsat e Radar e suas anlicações no conhecimenio leciônico
- gens de Landsat e Radar e suas aplicações no conhecimenio leciônico da Bacia do Paraná. In: SIMP. BRAS. SENSORIAMENTO REMO-TO, Brasília, 2:143-156.
- USSAMI, N.; KOLISNYK, A.; RAPOSO, M.I.B.; FERREIRA, F.J.F.; MOLINÁ, E.C. & ERNESTO, M. 1991. Deieclabilidade de diques do Arco de Ponla Grossa: un estudo integrado de magnetometria terres-tre/aérea e magnelismo de rocha. *Rev. Bras. Geoc.*, 21(4):317-327.
- VIEIRA, A.J. 1973. Geologia do ceniro e nordesie do Paraná e centro-sul de São Paulo. In: CONGR. BRÁS. GEOL. 26. Aracaju, 1973.A«a/s...
- Ararcajú, SBG. v. 3, p. 259-277. ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. & MARQUES, A. 1988. Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin. In: INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 7. São Paulo,
- INTERNATIONAL GONDWARKA STRIFTSTON, 7: 5a0 Fauls, 1988. Proceedings... São Paulo, p. 83-117.
   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. Elsevier Sci Pub. Co., Amsterdam, p. 254-286.

MANUSCRITO A826 Recebido em 6 de fevereiro de 1995 Revisão do autor em 20 de março de 1996 Revisão aceita em l de abril de 1996