

**CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS E QUÍMICAS DE UMA INTRUSÃO BÁSICA
LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE TANQUINHO, SP**

R.L. MONTEIRO¹ e C.B. GOMES²

1. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Mato Grosso

2. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

RESUMO

O presente trabalho versa sobre a evolução geoquímica de um corpo basáltico toleítico ocorrendo na forma de sill, com 73,0 m de espessura, localizado no Município de Tanquinho, SP. Investigações mineralógicas, petrográficas e geoquímicas foram executadas em amostras de sondagem.

Os minerais mais abundantes das rochas do corpo são plagioclásio, augita, material mesostático quartzo-feldspático e clorítico; em menor quantidade aparecem opacos, ferroaugita subcálcica, pigeonita, apatita, filossilicatos verdes, carbonatos, hornblenda, biotita e titanita.

Texturalmente, as rochas evoluem de vítrea, nas bordas do corpo, para granulação média a grossa nas partes mais centrais. As relações envolvendo plagioclásio e clinopiroxênio são do tipo intersertal nas bordas e poiquilítica nas porções mais internas.

Durante o resfriamento, processos de cristalização fracionada, sedimentação da mineralogia preexistente, mobilizações promovidas por voláteis, movimentos convectivos da massa magmática e alterações deutéricas controlaram a diferenciação "in situ", com o nível 28,5 m do topo mostrando-se o mais evoluído.

Conquanto as características químicas do magma mostrem em algumas oportunidades caráter dubio de filiação, a presença das duas fases coexistentes de clinopiroxênio (augita e pigeonita) aponta para a sua natureza toleítica.

ABSTRACT

This work presents the geochemical evolution of a sill-like tholeiitic basaltic body with a width of 73 m located in Tanquinho, SP, where mineralogical, petrographic and geochemical studies were done in drill-core samples.

The more abundant minerals of the rocks of the body are plagioclase, augite, quartz-feldspatic and chloritic material, and less abundantly occur opaques, subcalcic ferroaugite, pigeonite, apatite, green phyllosilicates, carbonates, hornblende, biotite, and titanite.

Texturally the rocks evolve from vitreous in the borders of the body to medium- and coarse-grained in the internal portions. The plagioclase and clinopiroxene relations are intersertal in the borders and poikilitic in the internal portions of the body.

During cooling, processes of fractional crystallization, sedimentation of pre-existing minerals, volatile-promoted mobilization, convective movements of the magmatic mass, and deuteric alterations controlled the "in situ" differentiation, with the level 28.5 m from the top being the most evolved one.

Although the magma have some dubious chemical characteristics, the presence of two coexisting clinopiroxenes (augite and pigeonite) points to a tholeiitic nature.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho versa sobre a evolução geoquímica de um corpo basáltico toleítico, ocorrendo na forma de sill, com 73,0 m de espessura, localizado no Município de Tanquinho, SP. Essa encontra evidências nas variações mineralógicas verificadas como resultado de processos diversos: cristalização fracionada, sedimentação da mineralogia preexistente, mobilizações promovidas por voláteis, movimentos convectivos da massa magmática, e por alterações deutéricas que afetaram as fases já consolidadas.

As investigações mineralógicas, petrográficas e geoquímicas (estas últimas aqui tratadas prioritariamente) foram conduzidas através de testemunhos de sondagem realizada no local pelo Instituto Geológico.

A amostragem do topo à base da intrusão revelou-se a opção adequada para investigações do gênero, visto tratar-se de um corpo intrusivo e mostrando inexistência de alterações intempéricas significativas. Desta forma, o modo de ocorrência aliado às condições de amostragem, asseguram registros apropriados do corpo, tornando assim possível o seu estudo pormenorizado quanto às mudanças estruturais, texturais, mineralógicas e químicas verificadas no sentido vertical.

O corpo intrusivo ocupa a chamada Depressão Periférica do Estado de São Paulo, e dista aproximadamente 150 km de São Paulo, 20 km de Piracicaba e cerca de 9 km de Itacemópolis (Fig. 1).

Neste trabalho procura-se discutir as variações mineralógicas e petrográficas presentes ao longo dos vários "níveis do corpo", dos contatos às partes internas, bem como mostrar-se as relações de empobrecimento dos diversos elementos analisados no "líquido residual" com a evolução de cristalização. Adicionalmente, busca-se caracterizar química e petrograficamente a ocorrência e, por extensão, definir a natureza do magma parental formador das rochas do corpo, situando-o relativamente aos tipos propostos por diversos pesquisadores à luz do conhecimento atual sobre o magmatismo mesozóico da Bacia do Paraná.

GEOLOGIA DA ÁREA

A geologia da área, que conta com boa densidade de informações (Mezzalana, 1965; Amaral, 1971; Amaral, 1975; Girardi et al., 1978; Barbour Jr. & Rigonatti, 1979; Souza Filho, 1983; Monteiro, 1986) é abordada sobre aspectos variados relacionados à estratigrafia, ambientes deposicionais, tectônica, magmatismo basáltico e efeitos metamórficos provocados pelas intrusões básicas no material sedimentar.

Ali ocorrem rochas diversas pertencentes ao Grupo Tubarão (Fm. Tatuí), Grupo Passa Dois (Fm. Irati), Fm. Estrada Nova (Mb. Serra Alta), Grupo São Bento (vulcânicas basálticas) e Fm. Rio Claro (sedimentos inconsolidados) (Fig. 1).

Estruturalmente, a região apresenta falhamentos causados pelo levantamento do Domo de Pitanga; este, reativado no Mesozóico, e mostrando máximo de ativação no período Juro-Cretáceo (Souza Filho, 1983), parece não ter sido formado como resultado das intrusões básicas, como apontado por Barbour Jr. & Rigonatti (1979). Os falhamentos existentes, afetando inclusive as intrusivas básicas, indicam a ocorrência de possíveis esforços manifestados durante a reativação Waldeniana (Monteiro, 1986).

ASPECTOS ESTRUTURAIS, TEXTURAIS E MINERALÓGICOS

Amígdalas ocorrem nas zonas de contato, superior e inferior, com maior concentração à altura do nível 9,5 m. A mineralogia que as forma é variada e tipicamente de fase tardia. Constitue-se essencialmente de carbonatos, variedades de sílica, argilo-minerais, material mesostático clorítico ou ainda titanita.

Miárolos, de formas irregulares, têm material quartzo-feldspático como minerais idiomórficos e/ou hipidiomórficos.

Xenólitos, consistindo de fases mineralógicas características de rochas crustais de níveis profundos ou mesmo de agregados de quartzo, representando ao que tudo indica rochas sedimentares subjacentes ao corpo intrusivo, foram também reconhecidos.

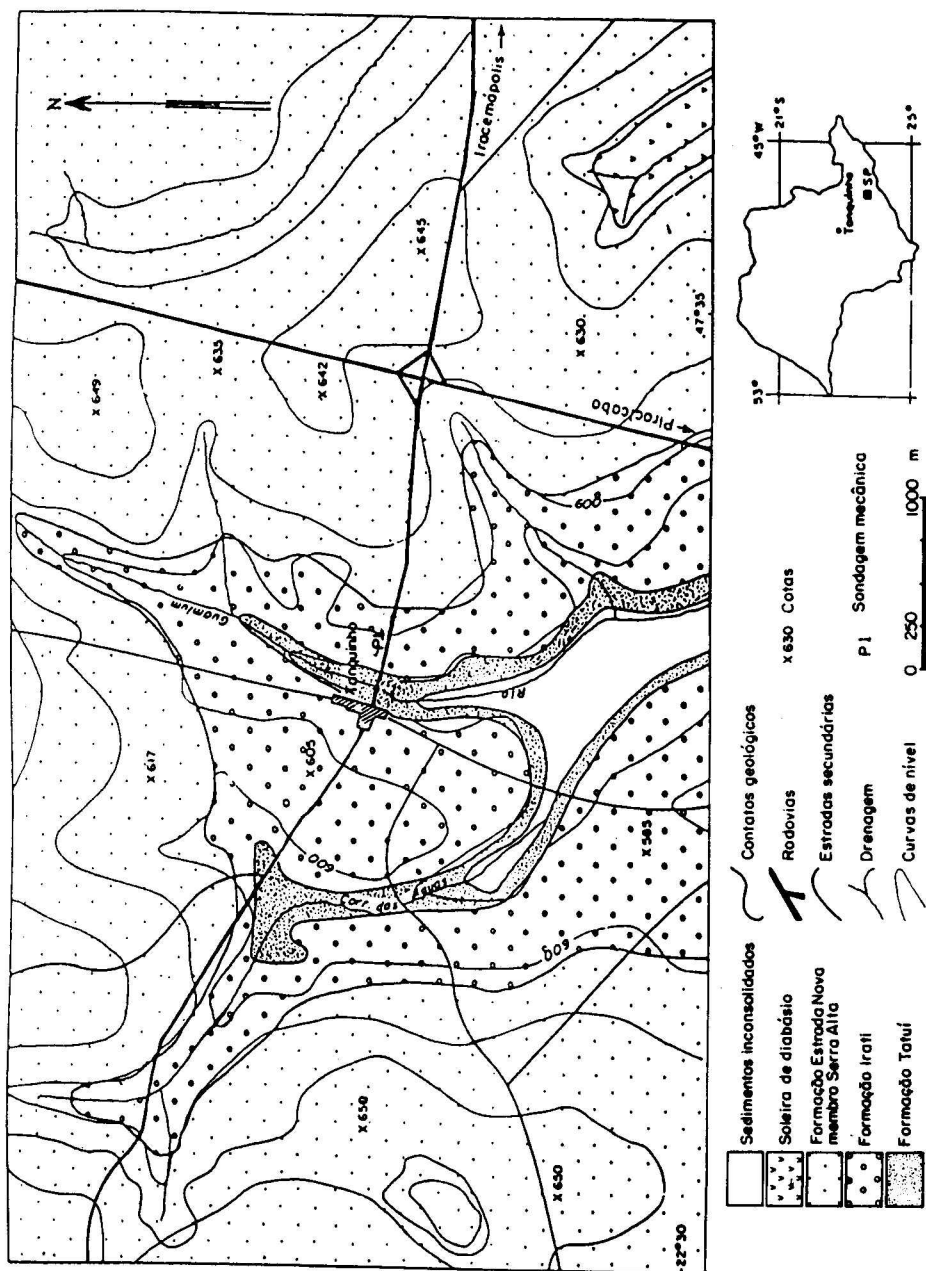


Figura 1 - Esboço geológico da área de Tanquinho (elaborado a partir do mapa de Barbour Jr. & Rigonatti, 1979).

Juntas colunares, nem sempre observadas, foram descritas em algumas amostras. Pode-se dizer que elas ocorrem ao longo de todo o corpo, aparecendo em geral preenchidas por material típico dos últimos estágios da cristalização. Outras estruturas como lineamentos horizontais e/ou subhorizontais, pela limitada visualização da continuidade lateral, que constitui fator restritivo à sua interpretação apurada, parecem estar restritos à zona dos contatos.

As variações texturais observadas podem ser descritas de acordo com o avanço da profundidade. É interessante ressaltar que elas se fizeram de forma gradativa, assim que os "limites" de profundidades devem ser entendidos mais como uma área de influência, antes que limites propriamente ditos, exceção feita para os casos referentes aos contatos.

Quanto à coloração das rochas, foram distinguidas mesoscopicamente três tonalidades: preta, acinzentada e avermelhada escura. Nos contatos superior e inferior, as amostras consistem predominantemente de vidro, com grânulos de plagioclásio e augita em porções distintas na massa caracterizando a textura glomeroporfírica.

Opacos exibem textura esqueletica; na matriz, a relação plagioclásio/augita é do tipo intersertal. No sentido das partes mais intermediárias do corpo, a mineralogia vai se tornando mais evoluída e distinta granulometricamente, embora ainda existam áreas de granulação fina. A relação do plagioclásio com a augita evolui de intersertal-intergranular a subofítica. A mesóstase leucocrática quartzo-feldspática mostra a transformação de aspecto vítreo para pegmatítico plumoso. Opacos (magnetita-ilmenita) possuem relações complexas de exsolução, reunindo desde grânulos individualizados a texturas do tipo simplequitica. Pigeonita, que só não está presente junto às zonas de contato do corpo, tem ocorrência restrita às bordas da augita ou então se apresenta subidiomórfica de grã fina na matriz mesostática. Junto às porções mais evoluídas da intrusão (nível 28,5 m), a granulometria das rochas é média a grossa e as relações do plagioclásio com a augita são do tipo subofítico e poiquilítico. A pigeonita permanece confinada às bordas da augita; adicionalmente, é subidiomórfica a idiomórfica com granulometria já distinta na matriz mesostática que se mostra micropegmatítica com quartzo cuneiforme e feldspato alcalino individualizados. O processo de exsolução é mais pronunciado entre magnetita e ilmenita, que, no entanto, ainda possuem grãos individualizados, tendendo ao idiomorfismo, e granulometria distinta. No nível 39,5 m aparece ferroaugita subcálcica.

A presença de olivina somente foi reconhecida com segurança no nível 69,5 m, onde o mineral acha-se transformado em seus típicos produtos de alteração (bowlingita, serpentina, talco, iddingsita e opaco associado). A granulometria variável de média a grossa configura caráter porfírico para as rochas desse nível.

O restante dos constituintes mineralógicos, de importância modal reduzida, corresponde a material característico dos estágios finais de cristalização magmática e/ou deutérica.

NOMENCLATURA PETROGRÁFICA

Para a classificação das rochas foram empregados critérios mineralógicos e de natureza química.

O índice máfico, correspondendo ao somatório das porcentagens modais de ferromagnesianos (M), varia nas amostras investigadas de 22 a 48; portanto, adotados os limites propostos na literatura, elas são ditas leucocráticas e mesocráticas. Apesar da precariedade de alguns dados petrográficos (e.g. moda do material mesostático), as rochas situam-se nas imediações do campo 10 do tetraedro QAPF de Streckeisen (1973) (Fig. 2), correspondendo a basaltos e andesitos para as variedades de granulação fina.

Conquanto a zonalidade dos plagioclásios por vezes ultrapasse An_{50} (limite inferior para o campo do basalto), a maioria da concentração composicional se dá ao redor desse valor.

Os piroxênios constituem um forte indicador da filiação de magmas basálticos, com as três fases presentes (augita, pigeonita e ferroaugita subcálcica) atestando de forma inequívoca a natureza toleítica das rochas de Tanquinho.

NOMENCLATURA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

O campo 10 da Figura 2 não distingue entre "álcali basaltos" e "toleítos", o que é conseguido com o auxílio do diagrama de Yoder & Tilley (1962) (Fig. 3). Os dados mineralógicos normativos obtidos (Tabela 1) foram lançados nesse gráfico, com as amostras caindo no campo supersaturado em sílica.

Os dados analíticos foram projetados no diagrama R1-R2 de De La Roche et al. (1980), modificado para o campo dos basaltos por Bellieni et al. (1981) (Fig. 4). À exceção da amostra 73,0, que se localiza no campo do basalto transicional, as demais correspondem a ande-si-basaltos.

No diagrama álcalis vs. sílica (Fig. 5), as amostras situam-se internamente aos limites DP e DP' de Bellieni et al. (1981). Além disso, mostram variação coerente com o fracionamento, ou seja, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ crescem proporcionalmente com o aumento de SiO_2 . A amostra 53,0 m não foi lançada pois exibe alteração (Tabela 1).

As amostras, projetadas no diagrama AFM (Fig. 6), colocam-se próximas à linha de tendência da suíte toleítica do Hawaí (MacDonald & Katsura, 1964), exibindo nítido enriquecimento em Fe relativamente a Mg.

A constância das observações baseadas no quimismo comum aos vários tipos de magma, aliada às confirmações fundamentadas em estudos experimentais, como, por exemplo, o da fusão de olivina em equilíbrio com o material original do manto, conferem às razões Mg/Fe das rochas basálticas a condição de parâmetro determinante para a existência ou não de ação de algum processo de diferenciação após a sua geração por fusão parcial em equilíbrio a partir das rochas do manto.

Adotando os valores praticados na literatura, e comparando-os aos das bordas congeladas (amostras que reúnem maiores probabilidades de representar o quimismo do material original), é possível afirmar que o magma já se encontrava fracionado, caráter este que se acrescenta à medida que se adentra ao corpo ígneo. Este caráter acha-se também bem evidenciado pelos teores de Cr e Ni.

Os basaltos "sensu strictu" possuem índice de diferenciação ($\text{Q} + \text{Or} + \text{Ab}$ normativo) menor que 30, índice de solidificação ($100 \cdot \text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$) maior que 30, índice fêmico acima de 35 e teor de An do plagioclásio normativo superior a 50.

Das amostras em estudo apenas as referentes aos níveis 69,5 e 73,0 m satisfazem a condição para o índice de diferenciação (Tabela 1).

Para o índice de solidificação, os números encontrados situam-se no intervalo de 13 a 24, exceção feita à amostra 69,5 m que exibe valor de 32 (Tabela 1). Não há variação significativa para os valores das bordas.

No tocante à natureza normativa dos plagioclásios, os teores obtidos para An situam-se abaixo de 50, com os das bordas do corpo se aproximando mais deste limite (0,0 m - 49,5%; 73,0 m - 47,5%). Valores inferiores traduzem níveis mais diferenciados, atingindo-se o mínimo nas profundidades 12,3 e 28,5 m, respectivamente, 40 e 39%.

Os valores do índice fêmico guardam concordância para todas as amostras, com seu ponto máximo no nível 69,5 m.

Do exposto resulta que nem todos os parâmetros satisfazem as condições para se interpretar as amostras como basaltos "sensu strictu", sendo portanto lícito supor-se que o magma já se encontrava diferenciado quando da época de sua colocação.

Rüegg & Amaral (1976) apresentaram curvas de isoteores, com base em superfícies de tendência, para os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , $\text{FeO}_{(t)}$, MgO , CaO , Na_2O e K_2O . Esses traçados tiveram a pretensão de mostrar os dados até então disponíveis de forma integrada para a província da Bacia do Paraná como um todo, onde o corpo em estudo corresponde a uma diminuta fração, sendo, portanto, a escala de abordagem significativamente diferente. As curvas traçadas exibem para a região valores percentuais de 49 a 52% para SiO_2 , 13 a 14% para Al_2O_3 , 3 a 5% para MgO , 7 a 8% para CaO , 3% para TiO_2 , 14% para $\text{FeO}_{(t)}$, 2,5% para Na_2O e 1,5% para K_2O .

Comparando esses números com os da Tabela 1, nota-se, como esperado, a dificuldade para compatibilizá-los com os daqueles autores

Tabela 1 - Composição química (óxidos, % em peso; elementos traços, ppm) e norma CIPW das amostras do corpo de Tanquinho. Valores em metros correspondem a medidas de profundidade no corpo intrusivo. M = Mg/Mg+Fe²⁺.

	0,0	6,0	12,3	28,5	39,5	53,0	69,5	73,0 m
SiO ₂	46,93	48,05	49,82	51,11	48,73	44,98	47,02	46,31
TiO ₂	3,25	3,48	3,31	3,13	3,59	3,63	3,02	3,36
Al ₂ O ₃	12,24	13,05	12,78	12,77	13,34	12,32	11,48	12,45
Fe ₂ O ₃	6,92	5,77	5,29	5,19	5,94	10,36	4,58	5,45
FeO	7,82	7,91	8,78	8,76	8,42	5,99	9,70	9,73
MnO	0,22	0,20	0,23	0,22	0,21	0,17	0,21	0,28
MgO	5,04	4,61	3,85	2,88	3,42	5,31	8,17	5,87
CaO	8,92	7,91	7,93	7,32	8,05	6,07	7,70	9,00
Na ₂ O	2,34	2,59	2,95	2,96	3,00	2,62	2,26	2,52
K ₂ O	1,20	1,44	1,50	1,77	1,49	1,09	1,12	1,14
P ₂ O ₅	0,37	0,54	0,59	0,70	0,52	0,54	0,50	0,34
P.F.	3,89	3,56	1,99	2,23	2,35	6,14	3,47	2,68
Total	99,14	99,11	99,02	99,04	99,06	99,32	98,93	99,13
Cr	57	42	20	10	16	50	486	62
Ni	53	35	21	10	24	33	294	56
Ba	489	582	602	630	622	483	498	651
Ce	71	88	81	100	70	75	71	83
La	30	41	35	43	32	41	28	32
Sr	490	532	472	426	440	494	408	443
Zr	194	231	243	281	225	250	195	201
Rb	28	31	35	40	38	30	27	30
Y	33	33	36	44	36	33	28	31
Qz	6,32	6,63	6,74	9,23	6,30	7,89	1,88	1,41
Or	7,09	8,51	8,86	10,46	8,80	6,44	6,62	6,74
Ab	19,80	21,92	24,96	25,05	25,38	22,17	19,12	21,32
An	19,35	19,73	17,20	16,33	18,53	18,64	17,05	19,29
Di	14,30	9,64	9,28	6,86	9,67	6,19	10,29	12,55
He	3,67	3,21	5,67	5,88	4,97		4,16	6,25
En	5,92	7,01	5,29	3,99	4,03	10,36	15,58	8,80
Fs	1,74	2,68	3,70	3,92	2,38		7,23	5,02
Il	6,17	6,61	6,29	5,94	6,82	6,89	5,73	6,38
Mt	10,03	8,36	7,66	7,52	8,61	9,35	6,64	7,90
Ap	0,86	1,25	1,37	1,63	1,21	1,25	1,16	0,79
Ht						3,91		
IS	22,3	21,2	17,6	13,7	15,9	21,8	32,2	24,3
ID	33,2	37,1	40,6	44,7	40,5	36,5	27,6	29,5
M	0,41	0,41	0,36	0,29	0,32	0,40	0,53	0,44

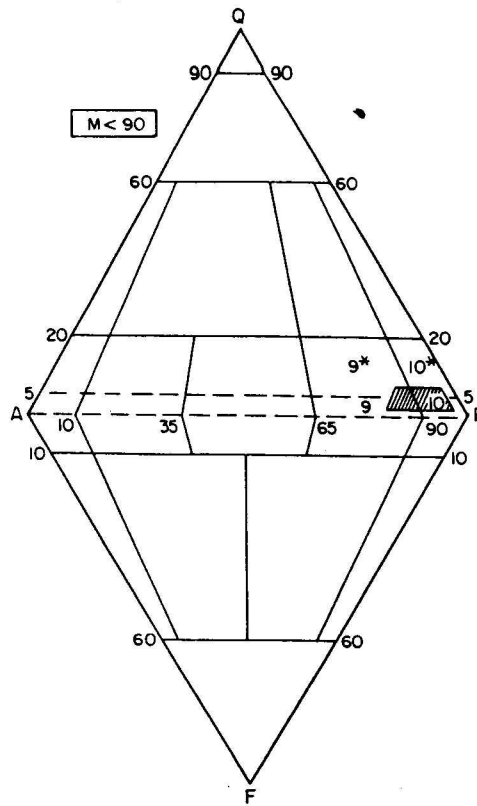


Figura 2 - Diagrama de classificação das rochas ígneas para $M < 90$ (Streckeisen, 1973).

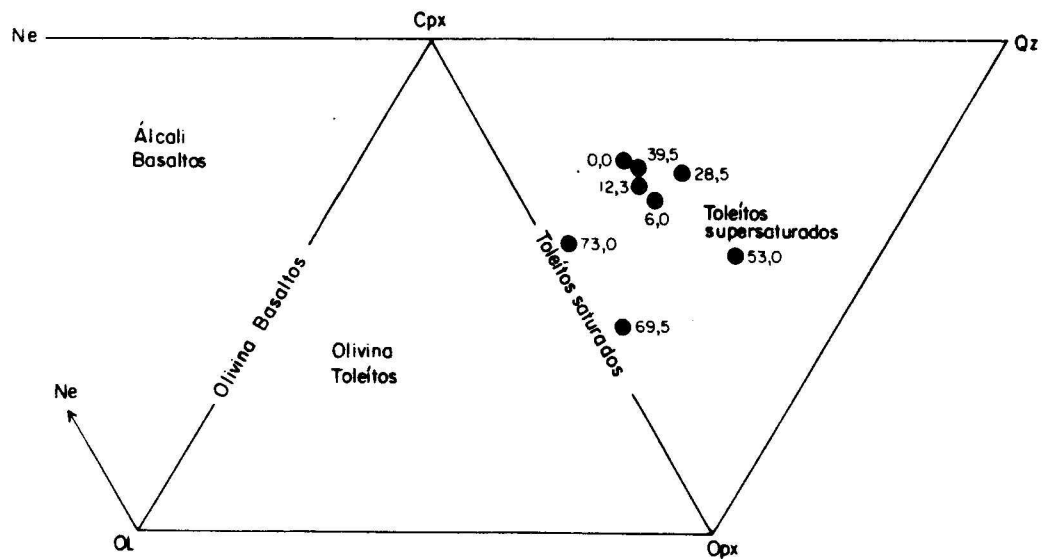


Figura 3 - Diagrama de composição mineralógica normativa projetada no sistema basáltico simples de Yoder & Tilley (1962), com os pontos correspondendo às amostras do corpo de Tanquinho.

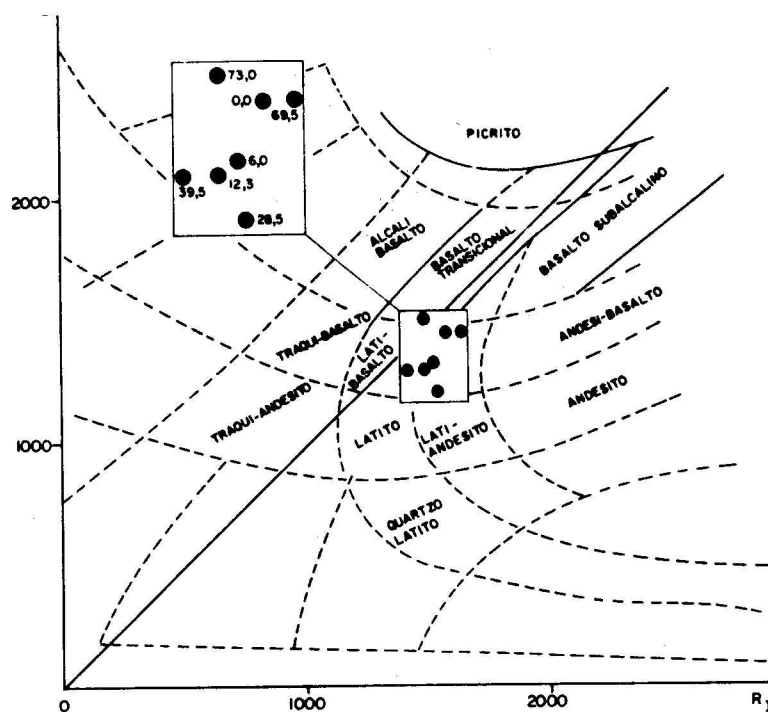


Figura 4 - Projeção das amostras no diagrama R1R2 de De La Roche et al. (1980), modificado no tocante ao campo dos basaltos por Bellieni et al. (1981).

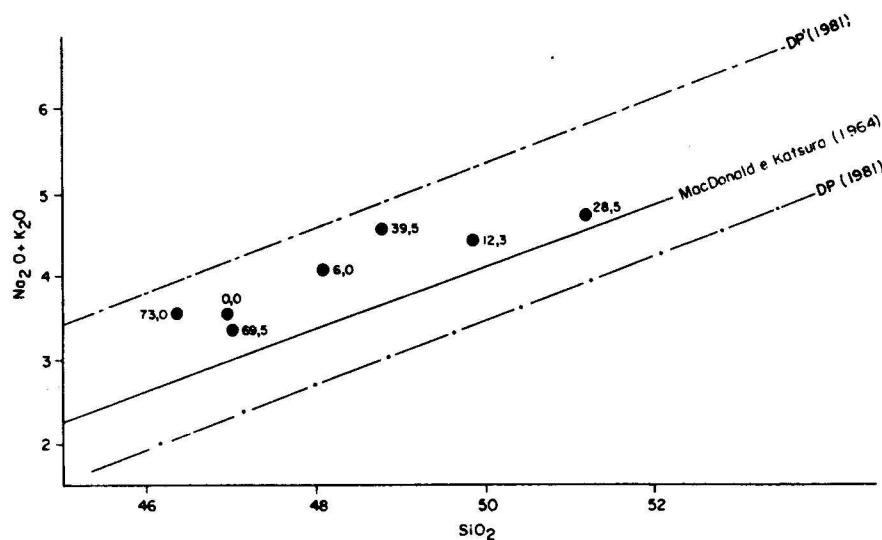


Figura 5 - Diagrama de variação reunindo $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ e SiO_2 (% em peso). Os limites DP' e DP (1981) definem o campo dos basaltos transicionais de Bellieni et al. (1981); a curva de MacDonald & Katsura (1954) separa basaltos alcalinos e toleíticos do Hawaí.

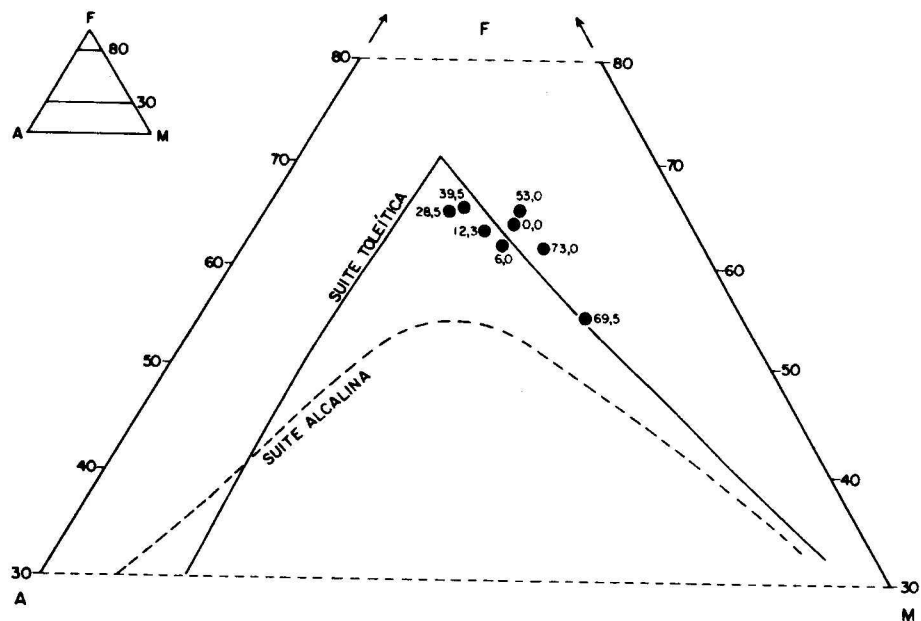


Figura 6 - Diagrama AFM (A, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; F, $\text{FeO}_{(t)}$; M, MgO) reunindo dados das amostras do corpo de Tanquinho e as curvas referentes às suites havaianas (MacDonald & Katsura, 1964).

Contudo, os valores não refletem grandes discrepâncias, ainda mais se for considerada a totalidade das análises coligidas para o corpo, com amplitudes de até 3%, caso, por exemplo, de SiO_2 e MgO .

Os trabalhos de Bellieni et al. (1984a,b,c), Comin-Chiaramonti et al. (1983), Marques (1983), Mantovani (1985) e Mantovani et al. (1985) propuseram a divisão das rochas da bacia em ricas (HPT) e pobres (LTP) em P_2O_5 e TiO_2 , sendo, respectivamente, 0,30 e 2% os valores limites.

Mantovani (1985) observou que as rochas com altos teores em P_2O_5 e TiO_2 (HPT), na região por ela trabalhada, correspondem a andesitos toleíticos, caracterizados por $M = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ variando de 40 a 47, índice de diferenciação de 36 a 40, % de SiO_2 de 49 a 54 e teores de TiO_2 superiores a 2%. As rochas LPT compreendem basaltos, andesitos toleíticos e riolacitos com conteúdo de SiO_2 variando de 49 a 70%, com uma lacuna composicional de 58 a 67% (cf. Rüegg, 1975).

Para o corpo em questão, os valores de M e dos demais índices não são, em linhas gerais, muito discrepantes daqueles referentes aos andesitos toleíticos de Mantovani (1985), com as maiores variações correndo por conta das amostras da porção mais central do corpo (12,3 a 39,5 m).

VARIAÇÕES QUÍMICAS INTERNAS DO CORPO

Para efeito de discussão, foram empregados gráficos que pudessem elucidar as variações composicionais, além de proporcionar melhor visualização das características geoquímicas evolutivas do corpo.

Assim, foram projetados os dados analíticos, porcentagem em peso para elementos maiores e menores e ppm para traços relativamente a profundidade da amostra correspondente, bem como o seu índice de solidificação (Fig. 7).

Os dados analíticos são ainda apresentados no diagrama que relaciona as concentrações dos óxidos com a porcentagem de sílica (Fig. 8).

No que diz respeito à primeira ilustração, a sua observação permite concluir que, à primeira vista, alguns elementos acham-se enriquecidos e outros empobrecidos nas proximidades do nível 28,5 m, cuja rocha também exibe o menor índice de solidificação.

Os traçados do MgO , Cr e Ni não deixam dúvidas quanto à tendência de empobrecimento desses elementos com o avanço da cristalização, com as curvas exibindo aumento brusco à altura do nível 69,5 m, como resultado da acumulação de olivina modal.

A curva do CaO exibe forte inflexão junto ao nível 53,0 m, que se mostra inclusive mais empobrecido do que o correspondente ao representante do estágio mais evoluído do magma no corpo.

Acentuada sinuosidade para o FeO foi também registrada à altura do nível 53,0 m, estando possivelmente relacionada à alteração intempérica ali evidenciada.

Outro traçado que suscita dúvidas é o do Sr , devendo, de alguma forma, estar influenciado pela alta concentração da olivina (notadamente no nível 69,5 m, onde o mineral exerce papel de elemento diluído).

Em termos de enriquecimento de elementos, e tomando-se como referência as vizinhanças do nível 28,5 m, os traçados menos discutíveis são os do SiO_2 , $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, Al_2O_3 , P_2O_5 , além de Ba , Ce , La , Zr , Rb e Y . Dos elementos com tendência ao empobrecimento, o TiO_2 é o que apresenta maiores variações, com a curva alcançando seu ponto máximo em 53,0 m.

O exame dos dados permite ainda verificar que o CaO apresenta uma curva antitética em relação à do Ba , o contrário ocorrendo com a do Sr . Assim, presume-se que Ba ocupe posições na estrutura dos plagioclásios, possivelmente apenas nas fases mais albiticas, ou então, se associe à mesóstase feldspática (ver Monteiro & Gomes neste volume). Tendência distinta é dada pelo comportamento do Sr , diferindo do traçado da curva do CaO basicamente no nível 53,0 m, indicando com isso a não alterabilidade do composto por ele formado e, mais, que faz parte da estrutura dos plagioclásios, notadamente dos mais calcicos.

As curvas envolvendo $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$, Rb e Ba possuem distribuição semelhante, com o fato sugerindo que os seus maiores percentuais

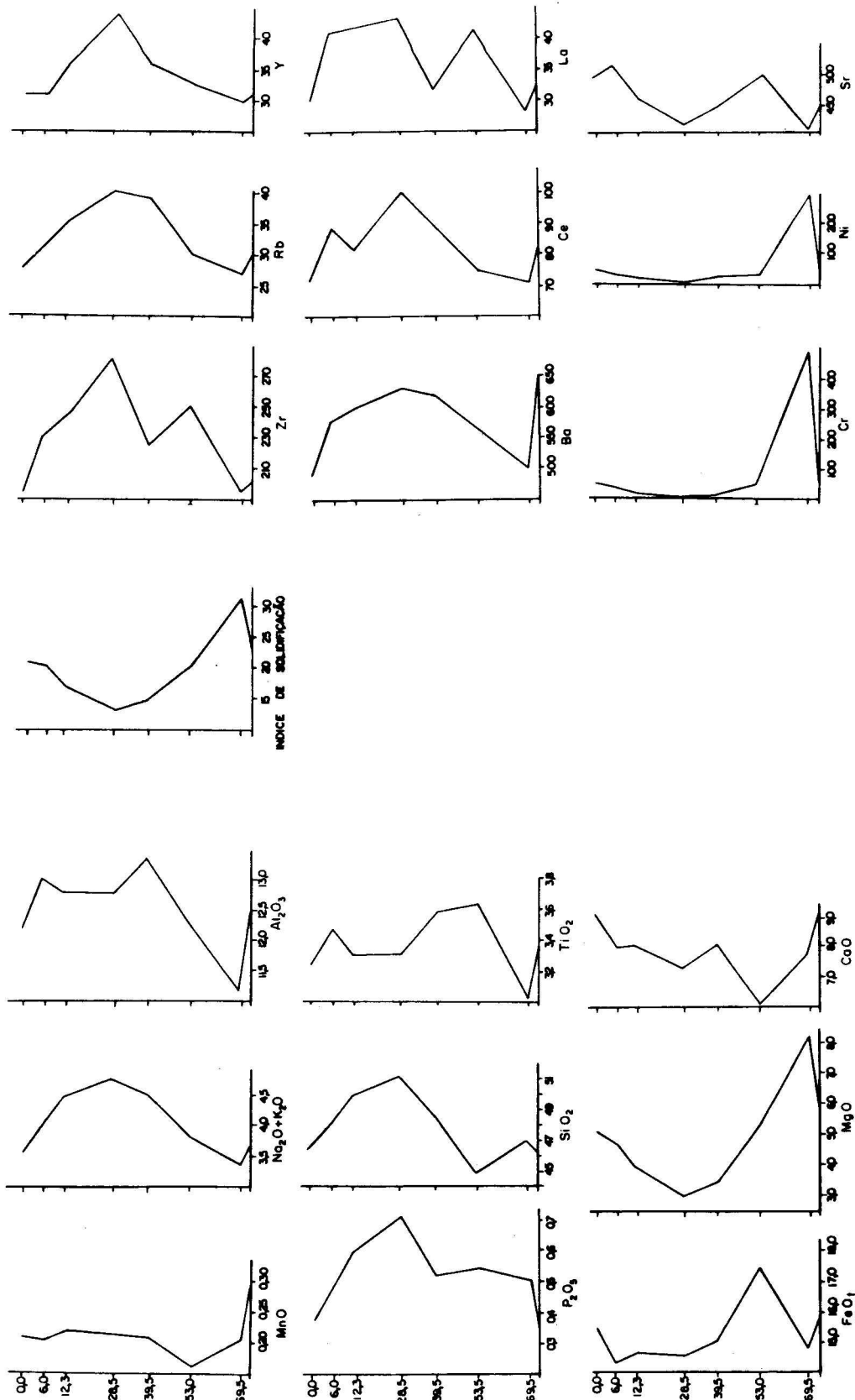


Figura 7 - Variação dos óxidos (% em peso), elementos traços (ppm) e índice de solidificação relativamente à profundidade.

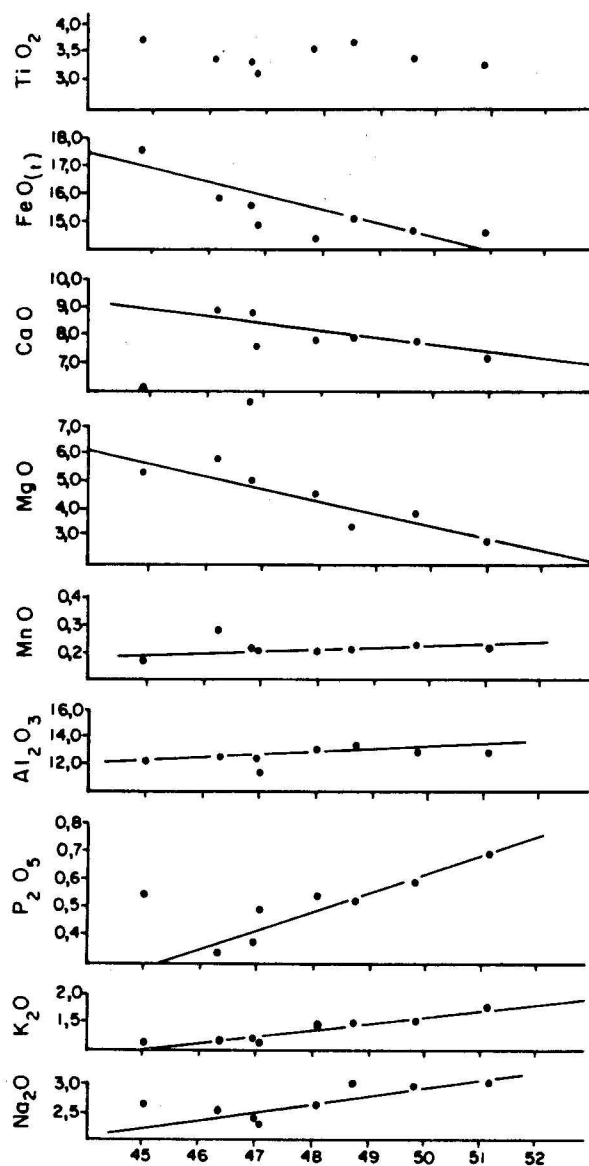


Figura 8 - Variação dos óxidos (% em peso) relativamente à concentração de SiO₂.

acham-se concentrados na mesóstase quartzo-feldspática.

No diagrama SiO_2 vs óxidos (Fig. 8), encontram-se adicionalmente traçadas as retas com alto nível de confiabilidade (superiores a 98%), obtidas por técnicas de regressão linear.

Alguns aspectos dessas retas chamam de pronto a atenção, p.e., a do MgO , com forte anomalia para o nível 69,5 m resultante da maior concentração de olivina, como previamente referido.

A reta $\text{FeO}_{(t)}$ pode ser traçada com a confiabilidade calculada entre 90 e 95%, uma vez eliminada a amostra 53,0 m, que com sua inclusão nos cálculos diminui em mais de 10% o grau acima, evidenciando que, nesse nível, tanto SiO_2 como $\text{FeO}_{(t)}$ se viram afetados pela alteração ocorrida. Fica, entretanto, patenteada a nítida diminuição de $\text{FeO}_{(t)}$ à medida que aumentamos teores de SiO_2 .

O TiO_2 parece exibir relações de empobrecimento, a despeito da grande dispersão dos dados; já a reta P_2O_5 apresenta forte anomalia para a amostra 53,0 m.

Em resumo, $\text{FeO}_{(t)}$, CaO e MgO mostram tendências de empobrecimento em relação a SiO_2 , enquanto que MnO , Al_2O_3 , P_2O_5 , K_2O e Na_2O têm comportamento inverso.

Para os elementos traços, como notado, a melhor correlação se dá com os valores de profundidade antes que o conteúdo de SiO_2 . Não obstante, as relações dos elementos (exceção para Cr, Ni e Sr) são coerentes, com o traçado das retas apresentando alto grau de confiabilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O corpo investigado representa intrusão (sill) colocada no contato, ou próximo dele, das Formações Tatuí e Itararé.

Das feições estruturais existentes destacam-se principalmente as amígdalas, consistindo de material proveniente dos últimos estágios de cristalização magmática. De outra parte, xenólitos parcialmente reabsorvidos, garantem que contaminação crustal não exerceu, ao que parece, papel de relevo.

Do ponto de vista textural e mineralógico-petrográfico, o corpo mostra nitidamente que processos de diferenciação "in situ" tiveram ação marcante na sua formação, com as relações texturais entre plagioclásio e piroxênio traduzindo, ao lado das condições termodinâmicas, "termômetros" composicionais (Monteiro & Gomes, 1987). Estas condições foram responsáveis por variações mais bruscas nas zonas de bordas, tendo ao equilíbrio nas proximidades do nível 28,5 m.

A olivina constitui sem qualquer dúvida um representante da mineralogia cristalizada e alterada em profundidade, quer por suas características petrográficas, como também pelas modificações promovidas ao nível onde se faz seguramente presente, 69,5 m. Neste nível, a pigeonita acha-se presente.

Do ponto de vista petrográfico e da mineralogia normativa, as amostras representam claramente termos supersaturados em sílica (cf. Yoder & Tilley, 1962), caracterizados pela ocorrência de três clinopiroxênios: augita, pigeonita e ferroaugita subcálcica; a amostra 73,0 m, que se encontra deslocada para o campo de tendência alcalina no diagrama R1-R2 (Fig. 4), possui também quartzo e hiperstênio normativos, sendo, por conseguinte, um termo supersaturado em sílica.

As variações de diversos elementos internamente no corpo são coerentes e fortalecem a sugestão de existência de processo de diferenciação "in situ", indicando que algum mecanismo eficiente foi responsável pela movimentação da massa magmática; mecanismos envolvendo difusão iônica, notadamente de Si e em parte de Al, assim como transferência gasosa, não são suficientes para explicar a zonalidade composicional observada em corpo do porte, levando, assim, a crer que processos convectivos devem ter tipo papel de destaque na sua evolução.

Halpern et al. (1974), estudando amostras representativas do magmatismo mesozóico da parte leste da Bacia do Paraná, dividiram-nas em três grupos quanto aos caracteres geoquímicos, com o primeiro deles apresentando razão Rb/Sr ~ 0,055, similar à obtida para as rochas de Tanquinho, e Sr ~ 700 ppm. Por outro lado, as rochas investigadas possuem Sr ~ 470 ppm, o que pode significar fracionamento do plagioclásio e eventualmente de augita em profundidade.

Por outro lado, os baixos teores dos elementos traços compatíveis como Cr e Ni sugerem que cristalização fracionada exerceu papel na evolução do magma em profundidade, envolvendo principalmente a separação de olivina e clinopiroxênio (Rüegg, 1975a; Bellieni et al., 1984a, b, c; Comin-Chiaromonti et al., 1983; Marques, 1983; Mantovani et al., 1985).

As fases que desempenharam papel de maior importância na cristalização fracionada interna do corpo foram plagioclásio, augita e material mesostático; subordinadamente, opacos, pigeonita, ferroaugita subcálcica, apatita e titanita.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio prestado à execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, S.E. 1971. Geologia e petrologia da Formação Irati (Permiano) no Estado de São Paulo. Bol. IG-USP, 2:3-81.
- AMARAL, S.E. 1975. Sobre os dolomititos e o processo de dedolomitização na Formação Irati (Permiano) do Estado de São Paulo, Bol. IG-USP, 6:31-32.
- BARBOUR JR., E. & RIGONATTI, A. 1979. Mapeamento geológico da área de Pitanga. Relatório interno do IPT, BP-004, 32p.
- BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILLO, E.M. 1984a. Flood basalt to rhyolite suites in the southern Paraná plateau (Brazil): paleomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications. J. Petrol., 25:579-618.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R.; ROISENBERG, A. 1984b. High- and low-TiO₂ flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. N. Jb. Miner. Abh., 150:273-306.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. 1984c. Low pressure evolution of basalts sills from bore-holes in the Paraná Basin, Brazil. Tscherma's Min. Petrol. Mitt., 33:25-47.
- BELLIENI, G.; PICCIRILLO, E.M.; ZANETTIN, B. 1981. Classification and nomenclature of basalts. IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Circ. 34, Contrib. 87, p. 1-19.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; RIVALENTI, G. 1983. High-TiO₂ basaltic dikes in the coastline of São Paulo and Rio de Janeiro States (Brazil). N. Jb. Miner. Abh., 146:133-150.
- De La ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analyses: its relationships with current nomenclature. Chem. Geol., 29:183-210.
- GIRARDI, V.A.V.; MELFI, A.J.; AMARAL, S.E. 1978. Efeitos termais associados aos diabásicos mesozóicos da Bacia do Paraná. Bol. IG-USP, 9:47-55.
- HALPERN, M.; CORDANI, U.G.; BERENHOLC, M. 1974. Variations in strontium isotopic composition of Paraná Basin volcanic rocks of Brazil. Rev. Bras. Geoc., 4:223-227.
- MACDONALD, G.A. & KATSURA, J. 1964. Chemical composition of Hawaiian lavas. J. Petrol., 5:82-133.
- MANTOVANI, M.S.M. 1985. Caracterização isotópica do magmatismo da Bacia do Paraná, sua correlação com a crosta continental subjacente e com a abertura do Atlântico Sul. Tese de Livre-Docência. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, 186p. (inédito).
- MANTOVANI, M.S.M.; MARQUES, L.S.; SOUZA, M.A.; CIVETTA, L.; ATALLA, L.; INNOCENTI, F. 1985. Trace element and strontium isotope constraints on the origin and evolution of Paraná continental flood basalts of Santa Catarina State (Southern Brazil). J. Petrol., 26:187-209.
- MARQUES, L.S. 1983. Estudo do comportamento geoquímico de alguns elementos traços determinados em rochas vulcânicas da Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, 172p.

- MEZZALIRA, S. 1965. Descrição geológica das Folhas de Piracicaba e São Carlos, SP. Bol. Inst. Geogr. Geol., 43, 41p.
- MONTEIRO, R.L. 1986. Aspectos geológicos, mineralógicos, petrológicos e geoquímicos de um corpo basáltico localizado no Município de Tanquinho, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 158p. (inédito).
- MONTEIRO, R.L. & GOMES, C.B. 1987. Um modelo físico-químico para a gênese das texturas ofítica, subofítica e poiquilítica. An.Acad.bras. Ci. Resumos das Comunicações (no prelo).
- RUEGG, N.R. 1975. Modelos de variação química na província basáltica do Brasil Meridional, características de teor, distribuição geográfica e diferenciação. Tese de Livre-Docência. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 251p.
- RUEGG, N.R. & AMARAL, G. 1976. Variação regional da composição química das rochas basálticas da Bacia do Paraná. Bol. IG-USP, 7:131-147.
- SOUZA FILHO, E.E. 1983. Tectônica da região de Rio Claro-Piracicaba, Domo de Pitanga. 4º Simp.Reg.Geol., São Paulo, Atas, p. 191-196.
- STRECKEISEN, A.L. 1973. Plutonic rocks: classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Geotimes, 18:26-30.
- YODER JR., H.S. & TILLEY, C.E. 1962. Origin of basalt magmas: an experimental study of natural and synthetic rocks systems. J.Petrol., 3:342-532.