

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

ROCHAS BASÁLTICAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL NO MUNICÍPIO DE
ARAÇATUBA, ESTADO DE SÃO PAULO

Marli Torres

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Farias de Oliveira

Dissertação de Mestrado elaborada
junto ao Curso de Pós-Graduação em
Geociências – Área de concentração
em Geologia Regional, para obtenção
do Título de Mestre em Geociências.

Rio Claro (SP)
2005

DEDICATÓRIA

Àqueles que me brindam com preciosa atenção.

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui a mais profunda gratidão ao Prof. Dr Marcos Aurélio de Oliveira pela orientação e constante acompanhamento do desenvolvimento desse trabalho.

Agradecimentos especiais ao amigo Prof. Dr. Antonio José Ranalli Nardy pelo incentivo, sugestões, pacienciosas discussões e críticas durante as várias etapas da realização do trabalho. Também pela colaboração na obtenção dos dados químicos.

Aos professores doutores do Departamento de Petrologia e Metalogenia (IGCE – UNESP) .

Ao Departamento de Petrologia e Metalogenia (IGCE – UNESP) pela utilização de suas instalações e laboratórios.

À Prefeitura Municipal de Araçatuba e a empresa Matéria Perfuração de Poços Ltda pela compreensão e colaboração durante o desenvolvimento desse trabalho.

Aos funcionários da laminação, do Labogeo, da secretaria e a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desse trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Petrologia e Metalogenia (IGCE – UNESP) .

Aos amigos e colegas da pós graduação.

Enfim, agradeço a Deus por mais essa etapa.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E VIAS DE ACESSO	3
CAPÍTULO III – METODOLOGIA	5
3.1- Levantamento Bibliográfico	5
3.2-Trabalhos de Campo	5
3.2.1- Mapeamento de Superfície	5
3.2.1.1- Amostragem das Pedreiras e do Leito do Ribeirão Baguaçu	6
3.2.2- Levantamento Geológico de Subsuperfície	6
3.2.2.1- Acompanhamento da Perfuração e Amostragem do Poço Profundo-PMA	6
3.3- Trabalhos de Laboratório	7
3.3.1- Seleção e Preparação das Amostras	7
3.3.2- Microscopia Petrográfica	8
3.3.3- Análises Químicas de Rocha Total	9
CAPÍTULO IV - MAGMATISMO MESOZÓICO DA BACIA DO PARANÁ	10
4.1- Aspectos Geológicos Regionais da Bacia do Paraná	10
4.2- Evolução e Estratigrafia	11
4.3- Atividade Vulcânica e Intrusivas Associadas	13
4.3.1- Derrames	14
4.3.2- Intrusivas	16
4.3.2.1- Diques	16
4.3.2.2- Soleiras	17
4.4- Características Geoquímicas	18
CAPÍTULO V – GEOLOGIA REGIONAL	21
5.1- Grupo São Bento	21
5.2- Grupo Bauru	22
CAPÍTULO VI – GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO	25
6.1- Formação Serra Geral	25
6.2- Formação Adamantina	25
6.3- Sucessão dos Derrames da Formação Serra Geral	

identificados no Poço Profundo – PMA.	29
CAPÍTULO VII – CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS ROCHAS BASÁLTICAS ESTUDADAS	43
7.1- Mineralogia	43
7.2- Texturas e Estruturas	44
CAPÍTULO VIII – LITOQUÍMICA	50
8.1- Dados Químicos das Rochas Estudadas	50
8.2- Classificação e Nomenclatura das Rochas Estudadas	52
8.2.1- Conteúdo em Álcalis e Sílica	52
8.2.1.1- Segundo De La Roche et al. (1980)	52
8.2.1.2- Segundo Le Maitre (1989)	53
8.2.2- Conteúdo em Álcalis, Ferro e Magnésio – Diagrama AFM	54
8.3- Comportamento Geoquímico	55
8.3.1- Diagramas de Variação	55
8.3.1.1- Elementos Maiores e Traços	55
8.3.1.2- Elementos Terras Raras	63
CAPÍTULO IX – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO MAGMA	74
9.1- Considerações Gerais	74
9.2.1- Padrões de Abundância de Elementos Incompatíveis	77
9.2.2- Variação das Concentrações de TiO_2	78
9.2.3- Comportamento dos Elementos Químicos com a Profundidade	85
X - CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
XI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 -	Localização das amostras estudadas: Amostras de Superfície com análises laboratoriais localizadas no Mapa Geológico da Área (fig.06).	8
Tabela 02 -	Analises Químicas de elementos maiores, menores (% em peso), traços (ppm) e elementos terras raras (ppm) e composição normativa das amostras estudadas.	51
Tabela 03 -	Razões entre elementos terras raras, normalizados em relação aos condritos (Boyton, 1984) das amostras da pedreira (P1) e do poço-PMA (PMA34, PMA206, PMA314, PMA454, PMA710, PMA774 e PMA904)	72
Tabela 04 -	Classificação das amostras das pedreiras (P1 a P8) e do poço-PMA (P33 a P903), segundo critérios adotados por Peate et al (1988, 1992) .	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 - Localização da Região de Araçatuba e Acessos Fonte: Departamento Estrada e Rodagens (D.E.R.).	3
Figura 02 - Localização geográfica da área estudada Fonte: Folha Araçatuba (IGG Ed. 1967).	4
Figura 03 - Mapa Geral da Localização da Formação Serra Geral na Bacia do Paraná.	19
Figura 04 - Mapa da Região da Bacia do Paraná, com a localização da Região Oceânica Adjacente.	20
Figura 05 - Geologia do noroeste de São Paulo e localização das Ocorrências de Rochas Basálticas.	21
Figura 06 - Geologia da Área de Estudo e localização das Amostras Estudadas.	24
Figura 07 - Sucessão dos Derrames identificados e profundidades das amostras de calha estudadas.	30
Figura 08 - Diagrama R1 vs R2 com os teores das amostras estudadas.	53
Figura 09 - Diagrama Álcalis x Sílica (Le Maitre, 1989): Distribuição das amostras estudadas (pedreiras e poço profundo-PMA).	54
Figura 10 - Diagrama AFM (Irvine & Baragar (1971)). Distribuição das amostras estudadas (poço-PMA), das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu).	55
Figura 11 - Diagramas de variação de elementos maiores e menores(%) em função de MgO(%) das amostras do poço e das pedreiras e Ribeirão Baguaçu.	57
Figura 12 - Diagramas de variação de elementos traços (ppm) em função de MgO (%), em amostras do poço e das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu.	60
Figura 13 - Padrões de abundância dos elementos terras raras, normalizados em relação aos condritos (Boyton,1984), das amostras do poço, das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu.	63

Diagramas de variação de elementos terras raras (ppm) em função de MgO (%) das amostras do poço, das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu.	65
Figura 14 -	
Figura 15 - Variação das concentrações de elementos terras raras (ppm) das amostras do poço com a profundidade. $TiO_2 < 2.03\%$ e $TiO_2 > 2.06\%$, respectivamente.	69
Figura 16 - Comportamento das razões entre elementos terras raras, normalizados em relação aos condritos (Boyton,1984), das amostras do poço com a profundidade e da pedreira-P1.	73
Figura 17 - Perfil Litológico do Poço Profundo - PMA e Caracterização dos Magmas Tipo (Pitanga e Paranapanema) dos derrames identificados.	76
Figura 18 - Diagramas de elementos incompatíveis das amostras do poço-PMA e da pedreira, normalizados em relação ao manto primitivo (Sun & McDonough,1989).	77
Figura 19 - Variação da concentração de elementos menores (%) e traços (ppm) das amostras do poço, do Ribeirão Baguaçu e das pedreiras, em função de TiO_2 (%).	79
Figura 20 - Variação da concentração de elementos terras raras (ppm) das amostras do poço e da pedreira-PB1, em função de TiO_2 (%).	82
Figura 21 - Variação das concentrações de elementos maiores e menores (%) das amostras do poço com a profundidade (m).	87
Figura 22 - Variação das concentrações de elementos traços (ppm) das amostras do poço com a profundidade(m).	91

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 01 - Vista da cava 1 (CV1) da antiga pedreira da RFFSA, situada no Parque Ecológico Baguaçu.	26
Foto 02 - Afloramento de basaltos da cava 1 (CV1), da antiga pedreira da RFFSA, situada no Parque Ecológico Baguaçu.	26
Foto 03 - Afloramento de basaltos da cava 2 (CV2) da antiga Pedreira da RFFSA,situada na avenida dos Araças, nas proximidades	

do Parque Ecológico Baguaçu.	26
Foto 04 - Afloramento de basaltos da cava 2 (CV2) da antiga Pedreira da RFFSA, situada na avenida dos Araças, nas proximidades do Parque Ecológico Baguaçu.	26
Foto 05 - Vista da cava 3 (CV3) da antiga pedreira da RFFSA, situada na Av. dos Estados.	27
Foto 06 - Afloramento de basaltos da cava 3 (CV3) da antiga pedreira da RFFSA, situada na Av. dos Estados	27
Foto 07 - Afloramento de basaltos no leito do Ribeirão - Cachoeirinha do Parque Ecológico Baguaçu.	27
Foto 08 - Amostra (P2) de basalto afanítico, maciço, cinza escuro com tons violáceos, do afloramento da cava 1 (CV1) da antiga Pedreira da RFFSA, localizada no Parque Ecológico Baguaçu.	28
Foto 09 - Amostra (P4) de basalto vesicular, cinza amarronado, com tons avermelhados/arroxeados, do afloramento da cachoeirinha do Ribeirão Baguaçu, localizada no Parque Ecológico Baguaçu.	28
Foto 10 - Amostra (P5) de basalto afanítico, maciço, cinza a marrom avermelhado com tons arroxeados, do afloramento da cava 2 (CV2) da antiga pedreira da RFFSA, localizada na avenida dos Araças, nas proximidades do Parque Ecológico Baguaçu.	28
Foto 11 - Amostra (P6) de basalto afanítico, maciço, cinza amarronado, com predomínio dos tons avermelhados, do afloramento da cava 3 (CV3) da antiga pedreira da RFFSA, localizada nas proximidades da Av. dos Estados.	28
Foto 12 - Amostra de calha (PMA06) representativa do intervalo de 04 a 06 metros de profundidade.	31
Foto 13 - Amostra de calha (PMA24) representativa do intervalo de profundidade de 22 a 24 metros.	31
Foto 14 - Amostra de calha (PMA28) representativa do intervalo de profundidade de 26 a 28 metros	31
Foto 15 - Amostra de calha (PMA30) representativa do intervalo de profundidade de 28 a 30 metros	31
Foto 16 - Amostra de calha (PMA46) representativa do intervalo de profundidade de 44 a 46 metros.	32

Foto 17 - Amostra de calha (PMA74) representativa do intervalo de profundidade de 72 a 74 metros.	32
Foto 18 - Amostra de calha (PMA110) representativa do intervalo de profundidade de 108 a 110 metros.	32
Foto 19 - Amostra de calha (PMA116) representativa do intervalo de profundidade de 114 a 116 metros	32
Foto 20 - Amostra de calha (PMA136) representativa do intervalo de profundidade de 134 a 136 metros.	33
Foto 21 - Amostra de calha (PMA154) representativa do intervalo de profundidade de 152 a 154 metros.	33
Foto 22 - Amostra de calha (PMA164) representativa do intervalo de profundidade de 162 a 164 metros.	33
Foto 23 - Amostra de calha (PMA174) representativa do intervalo de profundidade de 172 a 174 metros.	33
Foto 24 - Amostra de calha (PMA182) representativa do intervalo de profundidade de 180 a 182 metros.	34
Foto 25 - Amostra de calha (PMA194) representativa do intervalo de profundidade de 192 a 194 metros.	34
Foto 26 - Amostra de calha (PMA198) representativa do intervalo de profundidade de 196 a 198 metros.	34
Foto 27 - Amostra de calha (PMA202) reresentativa do intervalo de profundidade de 200 a 202 metros.	34
Foto 28 - Amostra de calha (PMA208) representativa do intervalo de profundidade de 206 a 208 metros.	35
Foto 29 - Amostra de calha (PMA232) representativa do intervalo de profundidade de 230 a 232 metros.	35
Foto 30 - Amostra de calha (PMA240) representativa do intervalo de profundidade de 238 a 240 metros	35
Foto 31- Amostra de calha (PMA266) representativa do intervalo de profundidade de 264 a 266 metros.	35
Foto 32 - Amostra de calha (PMA270) representativa do intervalo de profundidade de 268 a 270 metros.	36

Foto 33 - Amostra de calha (PMA276) representativa do intervalo de profundidade de 274 a 276 metros.	36
Foto 34 - Amostra de calha (PMA296) representativa do intervalo de profundidade de 294 a 296 metros.	36
Foto 35 - Amostra de calha (PMA298) representativa do intervalo de profundidade de 296 a 298 metros.	36
Foto 36 - Amostra de calha (PMA304) representativa do intervalo de profundidade de 302 a 304 metros.	37
Foto 37 - Amostra de calha (PMA314) representativa do intervalo de profundidade de 312 a 314 metros	37
Foto 38 - Amostra de calha (PMA346) representativa do intervalo de profundidade de 344 a 346 metros.	37
Foto 39 - Amostra de calha (PMA354) representativa do intervalo de profundidade de 352 a 354 metros.	37
Foto 40 - Amostra de calha (PMA372) representativa do intervalo de profundidade de 370 a 3724 metros.	38
Foto 41 - Amostra de calha (PMA394) representativa do intervalo de profundidade de 392 a 394 metros.	38
Foto 42 - Amostra de calha (PMA436) representativa do intervalo de profundidade de 434 a 436 metros.	38
Foto 43 - Amostra de calha (PMA466) representativa do intervalo de profundidade de 464 a 466 metros.	38
Foto 44 - Amostra de calha (PMA490) representativa do intervalo de profundidade de 488 a 490 metros.	38
Foto 45 - Amostra de calha (PMA516) representativa do intervalo de profundidade de 514 a 516 metros.	39
Foto 46 - Amostra de calha (PMA558) representativa do intervalo de profundidade de 556 a 558 metros.	39

Foto 47 - Amostra de calha (PMA584) representativa do intervalo de profundidade de 582 a 584 metros	39
Foto 48 - Amostra de calha (PMA714) representativa do intervalo de profundidade de 712 a 714 metros	40
Foto 49 - Amostra de calha (PMA740) representativa do intervalo de profundidade de 738 a 740 metros.	40
Foto 50 - Amostra de calha (PMA760) representativa do intervalo de profundidade de 758 a 760 metros.	40
Foto 51 - Amostra de calha (PMA794) representativa do intervalo de profundidade de 792 a 794 metros.	40
Foto 52 - Amostra de calha (PMA806) representativa do intervalo de profundidade de 804 a 806 metros.	41
Foto 53 - Amostra de calha (PMA814) representativa do intervalo de profundidade de 812 a 814 metros.	41
Foto 54 - Amostra de calha (PMA826) representativa do intervalo de profundidade de 824 a 826 metros.	41
Foto 55 - Amostra de calha (PMA846) representativa do intervalo de profundidade de 844 a 846 metros.	41
Foto 56 - Amostra de calha (PMA908) representativa do intervalo de profundidade de 906 a 908 metros.	42
Foto 57 - Amostra de calha (PMA954) representativa do intervalo de profundidade de 952 a 954 metros.	42
Foto 58 - Amostra de calha (PMA964) representativa do intervalo de profundidade de 962 a 964 metros	42
Foto 59 - Amostra (PMA982), representativa da profundidade de 980 a 982 metros.	42
Foto 60 - Fotomicrografia (x2,5) de basalto (amostra P1) da cava 1 (CV1) da Pedreira da RFFSA (Parque Ecológico Baguaçu).	45
Foto 61 - Fotomicrografia (x2,5), a nicóis cruzados, da amostra P1 (foto acima).	45
Foto 62 - Fotomicrografia (x2,5), de basalto (amostra P1) da cava 01(CV1) da Pedreira da RFFSA (Parque Ecológico Baguaçu)	45

Foto 63 - Fotomicrografias (x2,5), a nícois cruzados, da amostra P1(foto acima).	45
Foto 64 - Fotomicrografia (x10) da amostra P2.	46
Foto 65 - Fotomicrografia (x1,0), a nicóis cruzados, de amostra P2 (foto acima - Foto 64).	46
Foto 66 - Fotomicrografia (x2,5) de basalto (amostra P2) da cava (CV1) da Pedreira da RFFSA (Av. dos Araças)	46
Foto 67 - Fotomicrografia (x2,5), a nicóis cruzados, da amostra P2 (foto acima- Foto 66).	46
Foto 68 - Fotomicrografia (x2,5) de basalto amostra P3 da cava 2 (CV2) da Pedreira da RFFSA (Av. dos Araças).	46
Foto 69 - Fotomicrografia (x2,5) a nícois cruzados, da amostra P3 (foto acima - Foto 69).	47
Foto 70 - Fotomicrografia (x2,5) de basalto vesicular/amigdaloidal (amostra P4) da cachoeirinha do leito Ribeirão Baguaçu (Parque Ecológico Baguaçu).	47
Foto 71 - Fotomicrografia (x2,5) a nícois cruzados, de amostra P4 (foto acima - Foto 70).	47
Foto 72 - Fotomicrografia (x2,5) de fragmentos da amostra de calha (PMA 34) do poço profundo – PMA.	48
Foto 73 - Fotomicrografia (x2,5), a nícois cruzados de amostra PMA34 (foto acima - Foto 72).	48
Foto 74 - Fotomicrografia (x2,5), a nícois cruzados, de fragmentos de basalto (amostra PMA74) do poço profundo do PMA.	48
Foto 75 - Fotomicrografia (x2,5) de fragmento de basalto (amostra PMA108) do poço profundo do PMA.	48
Foto 76 - Fotomicrografia (x10) de fragmentos de basalto (amostra de calha PMA164) do poço profundo do PMA.	49
Foto 77 - Fotomicrografia (x10), a nícois cruzados, de amostra PMA164 (foto acima - Foto 76).	49
Foto 78 - Fotomicrografia (x2,5) de fragmentos de basalto (amostra PMA248) do poço profundo – PMA.	49
Foto 79 - Fotomicrografia (x2,5), a nícois cruzados, da amostra PMA248 (foto acima - Foto 78).	49

RESUMO

A área de ocorrência de rochas basálticas, objeto do estudo da presente dissertação, está localizada no noroeste do Estado de São Paulo, no Município de Araçatuba. Os estudos das rochas basálticas da Formação Serra Geral, da área em questão, abrangeram trabalhos de campo e de laboratório. Os trabalhos de campo compreenderam levantamentos de superfície e de subsuperfície, através da perfuração do poço profundo - PMA. As amostragens de superfície ocorreram em cavas de antigas pedreiras desativadas e em afloramentos do leito do Ribeirão Baguaçu. Em subsuperfície, foram coletadas 490 amostras de calha de rochas basálticas da Formação Serra Geral, em intervalos regulares de 2 metros, até a profundidade de 980 metros. Os estudos desenvolvidos, a partir das amostras de calha, permitiram a identificação de uma sucessão de 27 derrames, com espessuras que variam entre 10 e 84 metros, que edificaram o pacote vulcânico, atravessado pela perfuração do poço – PMA. A classificação e nomenclatura, baseada em critérios químicos, revelaram, não somente, a natureza toleítica das rochas estudadas mas, também, que a maioria dessas rochas são representadas predominantemente por basaltos e andesi-basaltos. A partir das concentrações de elementos maiores, menores, dos teores de TiO_2 e de elementos traços incompatíveis, bem como dos padrões de abundância de elementos terras raras, essas rochas vulcânicas foram divididas em dois grupos a saber: Paranapanema e Pitanga (Peate et al, 1992).

Palavras-chave: Província Magmática do Paraná, Formação Serra Geral, rochas efusivas, basaltos, magma-tipo.

ABSTRACT

The area of occurrence of basaltic rocks, object of these studies, is located in the northwest of the State of São Paulo, in the Araçatuba City. The studies of the basaltic rocks of the Serra Geral Formation, of the area in question, has enclosed laboratory and field works. The field works had understood surveys surface and of subsurface, through the borehole's samplings, cutting through 980 m of basaltic rocks (deep well PMA). The samplings of surface had occurred on disabled stone pits of old quarries and outcrops of the of the Baguaçu's stream's bed . In subsurface, 490 samples of basaltic rocks of the Serra Geral Formation had been collected, in regular intervals of 2 meters, until the depth of 980 meters. The developed studies had allowed the identification of a succession of 27 basaltic flows, with thicknesses that vary between 10 and 84 meters, that had built the volcanic sequence, crossed for the drilling's deep well PMA. The classification and nomenclature, based on chemical criteria, had revelead, not only, the tholeiitic nature of the studied rocks but, also, that the majority of these rocks is predominantly represented by basalts and andesi-basalts. From the concentrations of larger and minors elements, of tenors of TiO_2 and incompatible trace elements, as well as of the standards of abundance of REE, these volcanic rocks had been divided in two groups: Paranapanema and Pitanga.

Key words: Paraná Magmatic Province, Serra Geral Formation, extrusive rocks, basalts, magma-type.

I- INTRODUÇÃO

O vulcanismo da Bacia do Paraná vem sendo estudado sob os mais diferentes aspectos: geológicos, estratigráficos, paleomagnéticos, petrográficos, petrogenéticos, geoquímicos, geocronológicos, geodinâmicos e vulcanológicos. A Formação Serra Geral foi caracterizada por White (1908) e o primeiro trabalho de síntese dessas rochas basálticas foi elaborado por Leinz (1949).

A literatura sobre a Formação Serra Geral, produzida ao longo dos anos, conta com a contribuição de diversos autores, dentre os quais: Guimarães (1933), Cordani & Vandomos (1967), Sanford & Lange (1960), Rüegg (1975), Schneider (1964,1970), Maack (1947), Leinz et al. (1966,1968), Creer et al. (1965), Amaral et al. (1966), MacDougall & Ruegg (1966,1975), Melfi (1967), Northfleet et al. (1969), Sartori et al. (1975,1982), Cordani et al. (1980). A década de 80, foi marcada pelos trabalhos multidisciplinares de pesquisadores (geologia, petrologia e geofísica) ítalo-brasileiros: Bellieni et al. (1983,1984a,1984b,1986a,1986b), Piccirillo et al. (1986,1987,1988,1989), Petrini et al. (1987), Nardy (1988), Marques et al. (1989a), Melfi et al. (1989), Comin-Chiaramonti et al. (1988) e Mantovani (1988). O final dos anos 80 e durante a década de 90, foram marcados pela atuação de um grupo de pesquisadores anglo-brasileiros, entre eles: Garland et al. (1995,1996), Nardy (1995), Peate et al. (1988,1990,1992,1996,1997,1999), Turner et al. (1994).

O presente trabalho foi desenvolvido no Município de Araçatuba, noroeste do Estado de São Paulo, numa área de ocorrência de rochas basálticas, na qual foi perfurado um poço tubular profundo para a captação de água subterrânea. Na região os afloramentos de rochas basálticas são raros e, em sua maioria, se restringem ao leito do Rio Tietê e dos seus principais afluentes. Essa dissertação de mestrado apresenta os resultados dos estudos petrográficos e geoquímicos das rochas basálticas aflorantes e dos derrames que compõem o pacote vulcânico da Formação Serra Geral atravessada pela perfuração do poço profundo da Prefeitura Municipal de Araçatuba, denominado Poço PMA. Entre os objetivos do presente trabalho estão: a identificação dos derrames que edificaram a seqüência do empilhamento

vulcânico perfurada; a caracterização petrográfica e a determinação das composições químicas das rochas basálticas amostradas; a classificação química e o posicionamento dessas rochas, enquanto unidades distintas no processo de empilhamento, em relação à compartimentação geoquímica da Bacia do Paraná.

II – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO

O Município de Araçatuba (Fig 1) está localizado no Noroeste do Estado de São Paulo. O acesso, a partir da cidade de São Paulo, é feito através da Rodovia Castelo Branco (SP 300) até cidade de Botucatu . Em Botucatu, segue-se pela Rodovia Marechal Rondon até Araçatuba.



Fig. 01 – Localização da Região de Araçatuba e Acessos
Fonte: Departamento Estrada e Rodagens (D.E.R.)

A área estudada (Fig.2) está situada na cidade de Araçatuba (folha topográfica, do IGG-1967, escala 1:50.000. A localização do Poço Profundo da Prefeitura Municipal de Araçatuba-Poço PMA (Fig.2) é dada pelas coordenadas geográficas 21° 13' 23,4" de latitude sul e 50° 25' 2,57" de longitude oeste.

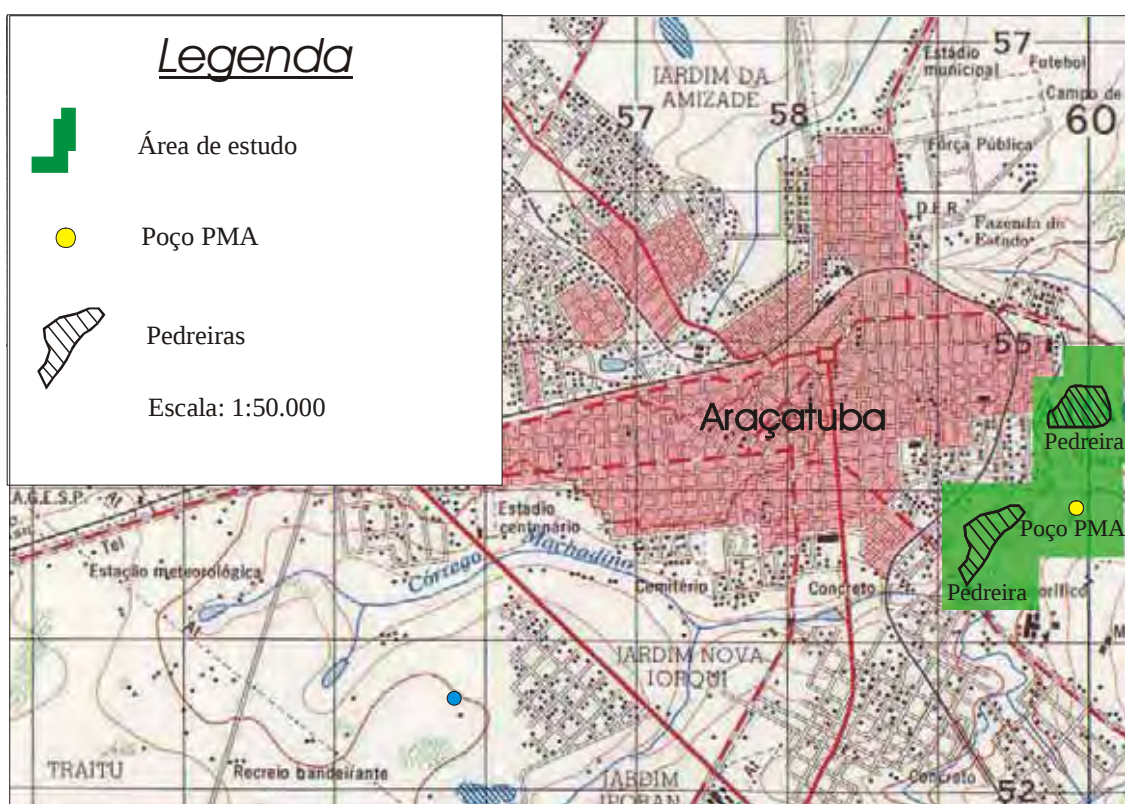


Fig. 02 - Localização geográfica da área estudada
Fonte: Folha Araçatuba (IGG Ed. 1967)

III – METODOLOGIA

3.1 – Levantamento Bibliográfico

A Formação Serra Geral têm atraído a atenção de diversos pesquisadores ao longo dos anos, de sorte que o acervo atual conta com ampla literatura produzida, por vários autores, em cujas abordagens foram desenvolvidos temas que têm caracterizado, sob vários aspectos, a natureza petrográfica e geoquímica dessas rochas, a compartimentação estratigráfica e tectônica, bem como os tipos e origem dos magmas responsáveis pela edificação da sucessão dos derrames.

A consulta à literatura sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral ocorreu durante todo o período de desenvolvimento dos estudos, porém, um levantamento geral dos trabalhos publicados fez parte da primeira fase das atividades realizadas.

3.2 – Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram subdivididos em mapeamento de superfície das ocorrências das rochas basálticas no Município de Araçatuba e no levantamento geológico de subsuperfície, através do acompanhamento da perfuração e amostragem do poço profundo-PMA, realizado pela Prefeitura Municipal de Araçatuba, para a captação d'água subterrânea, visando atender o abastecimento público da cidade.

3.2.1 – Mapeamento de Superfície e Confecção do Mapa da Geologia da Área de Estudo e de Localização das Amostras Estudadas

O mapeamento de superfície consistiu a primeira das etapas dos trabalhos de campo. Nesta fase, foram mapeadas as ocorrências de rochas basálticas situadas na cidade de Araçatuba, às margens (em três cavas de

antigas pedreiras desativadas) e leito do Ribeirão Baguaçu, principal afluente do Rio Tietê no Município, localizado na fig 02.

O Mapa da Geológico da Área de Estudo e de Localização das Amostras Estudadas (Fig.06), confeccionado a partir do mapeamento geológico de superfície, compreende uma área de 68,64 H a . Foram utilizadas como bases cartográficas a Folha Araçatuba (IGG, Ed. 1967), na escala de 1:50.000 e o levantamento aerofotogramétrico realizado, em 1978, para a cidade de Araçatuba, pela TERRAFOTO (Folhas: 20,26,27,34 e 35), na escala 1: 2.000.

3.2.1.1 – Amostragem das Pedreiras e do Leito do Ribeirão Baguaçu

A amostragem de superfície das rochas basálticas se concentrou no leito do Ribeirão Baguaçu-Cachoeirinha do Parque Ecológico Baguaçu (fotos 07 e 09) e nas cavas de três antigas pedreiras desativadas, cujas amostras estão representadas nas fotos 08, 10,11 :

- Cava 1 (CV1) da antiga Pedreira da RFFSA, situada no Parque Ecológico Baguaçu (fotos 01 e 02);
- Cava 2 (CV2) da antiga Pedreira da RFFSA, situada na Av. dos Araçás (fotos 03 e 04);
- Cava 3 (CV3) da antiga Pedreira da RFFSA, situada na Av. dos Estados (fotos 05 e 06);

3.2.2 – Levantamento Geológico de Subsuperfície

Os trabalhos de campo compreenderam, além do mapeamento de superfície, o acompanhamento da perfuração e a amostragem do poço profundo, que é representado por PMA.

A perfuração do poço profundo-PMA foi executada pelo método rotativo, com circulação direta e recuperação de amostras de calha (Fotos 12 a 59).

3.2.2.1 – Acompanhamento da Perfuração e Amostragem do poço profundo-PMA

A perfuração do poço profundo, localizado na área de estudo (fig. 02), foi acompanhada da coleta de amostras de calha realizada em toda espessura compreendida pelo topo e base da sucessão dos derrames da Formação Serra Geral, que totalizou 980 metros do topo (cota de 348) até a base da Formação Serra Geral.

A amostragem do poço profundo - PMA ocorreu em intervalos regulares de 2 metros, nos 980 metros perfurados em rochas basálticas e prosseguiu até a profundidade de 1008 metros, totalizando 504 amostras coletadas, correspondentes, respectivamente, a 490 amostras de rochas basálticas e 14 de amostras de arenito Botucatu, coletadas entre as profundidades de 980 e 1008 metros. Em um intervalo de 24 metros de espessura, compreendido pelas profundidades de 956 e 980 metros, ocorreram intercalações de arenito. Após o horizonte de contato, à profundidade de 980, constatou-se o topo da Formação Botucatu, que foi amostrada até a profundidade de 1008 metros.

3.3 – Trabalhos de Laboratório

Os trabalhos de laboratório consistiram, de maneira geral, na seleção e preparação de amostras, bem como na realização de estudos petrográficos e de análises químicas.

3.3.1 – Seleção e Preparação das Amostras

Foram selecionadas 07 amostras de rochas basálticas das cavas das pedreiras desativadas e uma amostra do leito do Ribeirão Baguaçu (Tabela 1) para a realização de análises laboratoriais.

Amostras	Localização
P1 e P2	CV1 - Antiga Pedreira da RFFSA – Cava situada no Parque Ecológico Baguaçu
P3, P5 e P7	CV2 - Antiga Pedreira da RFFSA - Cava situada na Av. dos Araçás, nas proximidades do Parque Ecológico Baguaçu
P6 e P8	CV3 - Antiga Pedreira da RFFSA – Cava situada nas proximidades da Av. dos Estados.
P4	Cachoeirinha - Leito do Ribeirão Baguaçu – Parque Ecológico Baguaçu

Tab. 01 – Localização das amostras estudadas : Amostras de superfície com análises laboratoriais, localizadas no Mapa da Geologia da Área (fig.06)

As amostras selecionadas foram encaminhadas aos Laboratórios do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE-UNESP para a confecção de lâminas petrográficas e para a preparação e realização de análises químicas.

A seleção das amostras de calha para a realização de análises laboratoriais se deu em função do grau de alteração dos fragmentos e das feições estruturais e texturais observadas.

As amostras de calha selecionadas, compostas por fragmentos de rocha, respectivamente, representativas dos intervalos perfurados, foram tratadas com resina para a montagem e confecção das lâminas petrográficas. Depois de seca a resina, as amostras foram cortadas e devidamente desgastadas para a confecção das seções delgadas.

3.3.2 – Microscopia Petrográfica

Os estudos petrográficos foram realizados no Laboratório de Microscopia do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE-UNESP, com o auxílio de um microscópio petrográfico de luz transmitida de fabricação da Leitz.

No total, foram estudadas 40 (quarenta) lâminas petrográficas, sendo 08 delas referentes aos levantamentos de superfície, de amostras coletadas nas pedreiras desativadas e no leito do Ribeirão Baguaçu e, as demais, 32 delas, confeccionadas a partir das amostras de calha provenientes da amostragem

em subsuperfície. Os estudos petrográficos enfatizaram a mineralogia, as texturas e as estruturas observadas nas rochas estudadas.

3.3.3 – Análises Químicas de Rocha Total

As análises químicas foram realizadas em 23 amostras, escolhidas a partir das descrições petrográficas, sendo 07 amostras provenientes das pedreiras, 01 amostra do Leito do Ribeirão Baguaçu e 15 amostras representativas dos intervalos perfurados no poço profundo-PMA.

Após a seleção dos fragmentos, as amostras de calha foram lavadas, moídas e pulverizadas pelo Laboratório de Preparação do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE-UNESP. Na seleção dos fragmentos das amostras, evitou-se a presença de amígdalas, vesículas, de minerais secundários e de alteração.

As análises químicas foram realizadas pelo Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE-UNESP, através do emprego da técnica de fluorescência de Raios-X (FRX) e do método ICP-AES (espectometria de emissão atômica com fonte de plasma acoplado indutivamente), totalizando 23 determinações químicas de elementos maiores/traços e 8 determinações de elementos terras raras. Maiores informações acerca da metodologia adotada encontram-se em Nardy et al. (1997) e Malagutti et al. (1998)

IV - MAGMATISMO MESOZÓICO DA BACIA DO PARANÁ

4.1 - Aspectos Geológicos Regionais da Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná está localizada na porção centro-leste do continente Sul Americano, cobre uma área de 1.600.000Km², dos quais 1.000.000Km² estão situados em território brasileiro, 400.000Km² na Argentina, 100.000Km² no Paraguai e 100.000Km² no Uruguai (Northfleet et al., 1969 ; Schneider et al., 1974 ; Petri & Fúlfaro, 1983). Trata-se de bacia intracratônica instalada na Plataforma Sul Americana, afetada por eventos metamórficos e magmáticos do Ciclo Brasileiro (Melfi et al., 1988). A cratonização do seu embasamento ocorreu principalmente durante o Eo-Paleozóico (Almeida, 1976). É classificada como bacia intracratônica estável (tipo I de Klemme, 1971), segundo Asmus & Porto (1972), Asmus (1980) e Almeida (1981). Entretanto Fulfaro et al. (1982), considerando que houve durante um importante controle tectônico do tipo rift durante a sedimentação Paleozóica , enquadram-na como bacia intracratônica relativamente instável (tipo 2A de Klemme,1971).

A Bacia do Paraná possui forma de “J”, fortemente condicionada pela reativação de antigas estruturas tectônicas do embasamento, que promoveram uma maior subsidência ao longo das direções NNE, NE e NW, e circundada por feições tectônicas alongadas positivas (arcos) exceto próximo à margem continental. Transversalmente ao eixo maior da bacia, ocorrem estruturas de direção NW, representadas por arcos (Ponta Grossa, Campo Grande, Rio Grande), por lineamentos tectônicos e/ou magnéticos (Guapiara, Rio Piquiri, Rio Uruguai) e pelo sinclinal de Torres. A formação dos arcos de direção NW tiveram seu início, provavelmente, no Devoniano, mas se desenvolveram particularmente no Triássico-Jurássico (Fúlfaro et al., 1982). O arco de Ponta Grossa estende-se por aproximadamente 600Km, é caracterizado pela presença de um exame de diques básicos de direção NW e por um “trend” de anomalias magnéticas de direção NW como Guapiara, São Gerônimo-Curiúva e Rio Alonzo (Ferreira, 1982). Muitos dos lineamentos apresentam direções sub-paralelas às zonas de fraturas oceânicas de Atlântico Sul (lineamentos oceânicos de Asmus,1981; e de Asmus & Baish,1983) como os do Rio Uruguai

e de Florianópolis, surgindo desta forma, uma continuidade oceano-continente destas feições estruturais(Asmus,1984).

O mapa de isópacas dos sedimentos pré-vulcanicos mostra que o eixo de maior deposição da Bacia do Paraná possui uma direção aproximadamente NE, condicionada, provavelmente, por uma maior subsidência do embasamento cristalino (Northfleet et al., 1969 ; Almeida, 1981)

4.2- Evolução e Estratigrafia

A evolução da Bacia do Paraná pode ser representada por quatro estágios (Almeida, 1981), caracterizados por um ciclo tectônico-sedimentar completo. Os três mais antigos correspondem às seqüências Gama, Delta e Delta-A (exclusive a atividade vulcânica de Soares et al., 1974) e ao tempo em que a bacia se comportou como sinéclise. O quarto estágio se inicia com atividade vulcânica, onde estão inclusas as seqüências Delta-A (fase vulcânica) e Epsilon de Soares et al. (1974), quando a bacia se transforma em anfíclise.

O primeiro estágio (Devoniano Inferior a Carbonífero) corresponde à deposição dos sedimentos marinhos de Grupo Paraná. No final do Siluriano e início do Devoniano ocorreu o levantamento do arco de Assunção que, segundo Fúlfaro et al. (1982), promoveu a reativação de antigos aulacógenos do embasamento com direção NW e, conseqüentemente, um importante controle na deposição dos sedimentos do Grupo Paraná. O final do primeiro estágio (transição Devoniano-Carbonífero), foi marcado por movimentos epirogenéticos acompanhados de falhamentos, que provocaram a erosão do Grupo Paraná, gerando a mais importante superfície de descontinuidade estratigráfica da Bacia do Paraná.

O segundo estágio se inicia no Carbonífero Inferior sob a influência da intensa manifestação tectônica, com movimentação vertical de blocos do embasamento, originando altos e depressões locais, regiões de rápida sedimentação, preferencialmente ao longo da direção NNE. Nesta fase depositaram-se os sedimentos da Fm. Itararé (Grupo Tubarão) em ambientes mistos (marítimos e continentais), que foram afetados pela glaciação Permo-Carbonífera. Segundo Fúlfaro et al. (1982), nesta época, havia um forte controle aulacogênico na sedimentação. No final do Permiano Médio e

encerrado os fenômenos glaciais, após o ciclo deposicional do Itararé, seguiu-se um período de relativa estabilidade tectônica, de caráter levemente subsidente, com a sedimentação fluvial e deltaica, passando a marinha plataformal, lagunar e de mangues costeiros das Formações Rio Bonito e Palermo (Grupo Tubarão) e Iratí (Grupo Passa-Dois). Segundo Fúlfaro et al. (1982) a área deposicional extravasou os domínios das zonas aulacogênicas, ocupando toda a área da bacia, que adquiriu a estruturação geral de sinforme. A contínua e lenta subsidência da região central da bacia, mais acentuada, particularmente, no Paleozóico Superior, tornaram as estruturas periféricas, incluindo as regiões vizinhas, progressivamente mais elevadas em relação as porções axiais da bacia, o que possibilitou a instalação de um importante ciclo de deposição de sedimentos continentais fluviais, de planícies de inundação e deltáicos das Formações Corumbataí e Rio do Rastro (Grupo Passa-Dois), que perdurou até o final do Paleozóico.

A passagem do segundo para o terceiro estágio ocorreu na transição da era Paleozóica para a Mesozóica, após a deposição do Grupo Passa-Dois. Corresponde ao levantamento epirogenético generalizado da bacia e a erosão de parte dos ciclos deposicionais anteriores. A sedimentação Mesozóica passou a ser essencialmente continental, com a deposição de arenitos e siltitos fluviais da Formação Pirambóia, em ambientes tectonicamente calmos. No início do Jurássico, prevaleceram as condições desérticas e ocorreu ampla deposição de arenitos eólicos da Formação Botucatu.

O quarto estágio teve seu início no final do Jurássico com intensa manifestação diastrófica relativa a Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967). A Bacia do Paraná foi profundamente afetada por este fenômeno que a fez perder o caráter de sinéclise, passando a assumir uma estrutura antiformal (Almeida, 1981). Falhas e fraturas permitiram a ascensão de enorme quantidade de magma, predominantemente basáltico, que cobriu a bacia de derrames (Formação Serra Geral). A presença de intercalações de arenitos Botucatu nos derrames de lavas da Fm. Serra Geral em algumas regiões, mostra que as condições desérticas instaladas no início do Jurássico persistiram depois do início da atividade vulcânica. A área total afetada pelo vulcanismo Serra Geral, excede largamente aquela recoberta pelos derrames de lavas, como indicado pelos numerosos diques basálticos que cortam não só os sedimentos

Paleozóicos mais antigos da bacia como extensas áreas do pré-Cambriano. Estes diques em sua maioria, se concentraram na região do Arco de Ponta Grossa, desde a região marginal dos derrames de lavas até a Zona Costeira Atlântica, compreendendo o sudeste do Estado de São Paulo até o Estado de Santa Catarina.

O vulcanismo Juro-Cretácico, resultante da Reativação Wealdeniana, não afetou tão somente a Bacia do Paraná, mas toda a parte Oriental da Plataforma Sul Americana, assumiu proporções continentais e é interpretado como fenômeno reflexo dos que levaram à separação dos continentes e consequente abertura do Oceano Atlântico (Minioli et al., 1971 ; Petri & Fulfaro, 1983).

4.3- Atividade Vulcânica e Intrusivas Associadas

A Formação Serra Geral representa uma das maiores manifestações vulcânicas da terra. Cobre uma área de cerca de $1,2 \times 10^6 \text{Km}^2$ e abrange grande parte da região sudeste do Brasil e Paraguai, norte da Argentina e do Uruguai Ocidental (Leinz et al., 1966). Nas bordas da bacia a espessura dos derrames de lavas é da ordem de 350m e na parte central alcança cerca de 1.000 metros. Na região de Presidente Epitácio (SP) foi registrado 1.529m de espessura (Leinz et al., 1966). Considerando uma espessura média de 660m (Bellieni et al., 1986b), o volume total de lavas é estimado em 790.000Km^3 .

A configuração das isópacas da Formação Serra Geral, mostra três principais regiões de maior acúmulo de lavas, alongadas segundo a direção N-S a NE – SW e, aproximadamente paralelas às bordas longitudinais da bacia. A primeira delas, localizada na região de Presidente Epitácio (SP). A segunda, localizada na região de Torres (RS), seguindo para noroeste em direção ao continente e para sudeste em direção a plataforma continental. A terceira ocorre na região noroeste do Uruguai e adjacentes da Argentina. Segundo Cordani & Vondrus (1967), a extrusão das lavas ocorreu preferencialmente nas regiões axiais dos rios Paraná e Uruguai, a região ao longo do Alinhamento Torres-Pousadas, a região oriental do Estado de São Paulo e nordeste do Estado do Paraná. Fulfaro & Landin (1973), baseando-se em mapas de superfície de tendência do 1º grau da espessura dos derrames, admitiram que

a principal zona de alimentação e acumulação das lavas seria a região do Arco de Ponta Grossa e que devido a levantamentos epirogenéticos posteriores, teria sofrido erosão intensa. Soares & Landin (1976) consideraram que a distribuição atual das rochas basálticas não correspondem ao padrão de acúmulo original e que as espessuras maiores, observadas ao longo dos eixos dos rios Paraná e Uruguai, seriam devido a maior subsidência destas regiões o que teria poupado os derrames de ciclos erosivos prolongados.

4.3.1- Derrames

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral recobrem, principalmente, os arenitos eólicos da Formação Botucatu. Nos limites da bacia do Paraná assentam-se em discordância sobre as rochas do Grupo Passa Dois ou mesmo sobre o embasamento cristalino. Na borda nordeste, compreendendo parte dos Estados de Minas Gerais e Goiás, são observados derrames de lavas dispostos diretamente sobre o embasamento cristalino. A noroeste da bacia, no Estado de Mato Grosso, ocorre pequena mancha de derrames basálticos, isolada do corpo principal, em contato discordante sobre o embasamento pré-devoniano (Petri & Fúlfaro, 1983).

Os derrames são essencialmente sub-horizontais, com inclinações médias inferiores a 5° para o interior da bacia. Entretanto, os derrames basais, podem em alguns casos, apresentar maiores inclinações devido a irregularidades da topografia original do embasamento. Foram encontradas, no perfil entre as cidades de Terra de Areia e Aratinga (RS), lavas inteiras com inclinações altas, devido ao basculamento de blocos provocados por perturbações tectônicas (falhas), onde os derrames apresentam mergulhos de 15° (Bellieni et al., 1983 ; Bellieni et al., 1984b).

A espessura de todo pacote vulcânico é variada. Individualmente, a espessura de um derrame varia entre 10 e 80 metros, sendo que em algumas localidades foram observados valores superiores a 100 metros (Leinz et al., 1966). Os critérios utilizados na individualização dos derrames, ou seja, a presença de zonas vesiculares próximas ao topo e base de cada um deles, padrões de diaclasamento, variações texturais, presença de arenitos intercalares, nem sempre são válidos, pois em caso de emissões rápidas e

sucessivas, os derrames resultantes poderão não apresentar tais estruturas (Leinz 1949; Almeida, 1964; Leinz et al., 1966; Cordani & Vandomos, 1967). Estudos paleomagnéticos, tem mostrado que as espessuras mais freqüentes dos derrames variam entre 10 e 90 metros. Derrames com espessuras fora deste intervalo são observados, embora mais raramente (Pacca & Ernesto, 1982; Bellieni et al., 1983 ; Bellieni et al., 1984b).

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral são representadas por basaltos toleíticos (90% em volume), andesitos toleíticos (7% em volume) e por riolitos (3% em volume).

Os derrames basálticos e andesíticos são representados por rochas afíricas e subafíricas. São rochas compostas essencialmente por feldspatos e piroxênios. Os minerais opacos mais comumente presentes são a magnetita e a ilmenita (Cordani & Vandomos, 1967; Ruegg, 1975).

Os derrames ácidos ocorrem no topo do pacote vulcânico, sobrepostos a uma seqüência de natureza básica. Sòmente na região de Xavantes(SP), os derrames ácidos assentam-se diretamente por sobre os arenitos de Formação Botucatu (Sartori & Maciel F^o , 1983). Com base nas características petrográficas e petroquímicas as regiões ácidas podem ser divididas em dois tipos, denominados Palmas(ATP) e Chapecó (ATC) (Bellieni et al., 1986b).

As rochas tipo Palmas são caracterizadas por sua natureza afírica, gradando desde termos subfaneríticos até totalmente afaníticos. As variedades afaníticas apresentam coloração negra, com brilho de pixe e fraturamento conchoidal. Ocorrem, principalmente, nos estados sulinos do território brasileiro (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná).

As rochas ácidas do tipo Chapecó, são porfíricas, sendo macroscopicamente distinguidas facilmente daquelas do tipo Palmas. Apresentam coloração cinza-esverdeada (quando frescas) ou castanho-avermelhada (quando alteradas), com fenocristais de plagioclásio com até 20mm de comprimento imersos em matriz vítrea. A distribuição das rochas ácidas do tipo ATC está limitada entre o sul dos Estados de São Paulo e Santa Catarina, assumindo maior expressão areal e volumétrica na região centro-sul do Estado do Paraná.

4.3.2- Intrusivas

O magmatismo intrusivo relacionado aos derrames vulcânicos da Bacia do Paraná caracterizam-se por sua natureza basáltica, sendo representado predominantemente por diques e sills.

A atividade intrusiva da Bacia do Paraná, segundo datações (Creer et al.,1965; Amaral et al.,1966; Melfi,1967; Miniolli et al.,1971; Suedner & Mitchell,1976) em diques(119 a 142Ma , média de 130 +/- 8Ma) e em sills (106 a 161Ma, média de 126 +/- 12Ma), é aproximadamente contemporâneo com a atividade vulcânica (130 a 120Ma; Melfi,1967).

Dados mais recentes, obtidos através de datações $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ associados a dados paleomagnéticos indicam que a atividade magmática principal, que deu origem à Formação Serra Geral ocorreu a cerca de 131 ± 1 M.a. atrás, sendo que as rochas mais jovens encontram-se na porção norte da bacia e as mais antigas no sul (Müeller et al., 1993; Renne et al., 1992 ; Renne et al 1996; Ernesto et. al., 1999), sugerindo que a evolução do magmatismo na bacia se deu de sul para norte. Estes mesmos autores destacam que a atividade ígnea deva ter ocorrido em um espaço de tempo de até 3 M.a.

4.3.2.1 – Diques

As intrusões de diques do Cretáceo Inferior, ocorrem predominantemente na região N-NE da Bacia do Paraná e são escassos ou realmente ausentes nas suas porções central e sul.

O mais expressivo enxame de diques do Cretáceo Inferior, conhecido no Brasil, ocorre no Arco de Ponta Grossa, alinhados preferencialmente seguindo NW-SE. Sua maior concentração ocorre entre os alinhamentos de São Jerônimo-Curiúva e Rio Alonso, ocupando sua área de 80Km de largura por mais de 300Km de extensão, onde a frequência é de 1 a 4 diques por quilometro (Ferreira et al.,1981; Oliveira & Montes, 1984). A espessura destes diques varia de 20 a 50 metros, alcançando, localmente os 600 metros (Marini et al.,1967). Os comprimentos variam entre 1 a 50Km, podendo atingir os 200Km, segundo interpretação de mapas de anomalias magnéticas (Ferreira et al.,1981; Ferreira,1982)..Dados geocronológicos de Ar indicam idades variando

de $130,4 \pm 2,9$ M.a. a $134,1 \pm 1,3$ M.a. (Stewart et al., 1996) Outro importante enxame de diques do Cretáceo Inferior é encontrado entre Santos e Rio de Janeiro. Os numerosos diques estão orientados segundo N40-60E, sub-paralelamente aos alinhamentos regionais (Comin-Chiaramont et al., 1983), com idades variando entre 130 e 133 M.a. (Turner et al., 1994 e Deckart et al., 1998).

Estes diques cortam as unidades pré-Cambrianas do embasamento e quase toda coluna sedimentar paleozóica (principalmente Formação Itararé e Grupo Passa Dois)

A composição química destes diques é predominantemente básica, de natureza toleítica e revelam forte afinidade química com os derrames das regiões Central e Norte (Bellienni et al., 1984c; Oliveira & Montes, 1984). Entretanto, apesar destas afinidades químicas, dados paleomagnéticos mostram que a intrusão de grande parte destes diques é um pouco mais recente do que o clímax das atividades eruptivas e, portanto, estaria relacionado aos estágios iniciais de separação do continente Sul Americano e Africano (Ernesto, 1985).

4.3.2.2 - Sills

O sills que cortam as unidades Paleozóicas da Bacia do Paraná são do Cretáceo Inferior (120 a 130Ma, Melfi 1967) e, aproximadamente contemporâneos à atividade vulcânica. Segundo Leinz (1949), os sills localizam-se preferencialmente ao nível dos sedimentos carbonáticos da Formação Irati. São mais raros nos arenitos da Formação Botucatu e nos derrames de lavas.

Apresentam dimensões variadas, sendo a extensão superficial de difícil determinação, em virtude da falta de afloramentos. Estimativas de grandes corpos, como os de Piracicaba – Limeira (SP) estão em torno de 900Km² e, de Uruçanga (SC) em torno de 100Km² (Cordani & Vandomos, 1967).

Em geral, os sills possuem espessuras que variam de 2 a 200 metros. Uma grande variação da espessura pode ser observada em um mesmo sill, chegando a apresentar contatos discordantes em relação às rochas

encaixantes (Cordani & Vandomos,1967), ou formam intrusivas do tipo lacólito (Davino et al., 1982)

A distribuição de sills na Bacia do Paraná não é uniforme. No Estado de Rio Grande do Sul, a ausência de sills e mesmo diques é quase que completa (Leinz, 1949) enquanto, no Estado de São Paulo, observa-se um grande sistema de sills ramificados (sill de Piracicaba – Limeira). Davino et al.(1984), estudando a região de Ribeirão Preto (SP), denominada depressão periférica, através de dados geofísicos, concluiu que nesta região, são mais freqüentes intrusões com formas dômicas do que derrames de lavas propriamente ditos.

4.4 - Características Geoquímicas

A Formação Serra Geral tem sido objeto de extensivo estudo geoquímico (Rüegg & Amaral,1976; Atalla et al.,1982; Bellieni et al.,1983, 1984a,b, 1986a,b; Mantovani,1985; Mantovani et al.,1985a,1988; Hawkesworth et al.,1986; Petrini et al.,1987; Piccirillo et al.,1987,1988; Nardy et al.,1993; Nardy, 1995; Peate et al.,1988,1992; Peate,1997).

Os primeiros estudos geoquímicos, com base nas concentrações de TiO_2 (Comin-Chiaramonti et al.,1983; Bellieni et al., 1983,1984 a,b,c,1986 a,b), subdividiram os basaltos em baixo Ti ($TiO_2 < 2\%$) e alto Ti ($TiO_2 > 2\%$). As rochas básicas baixo Ti (BBT) ocorrem predominantemente na região sul da bacia, enquanto as do tipo alto Ti (BAT) ocorrem na região norte. Na região central da Bacia do Paraná são encontrados ambos os tipos associados em uma mesma seqüência vulcânica. O grupo alto titânio-BAT($TiO_2 > 2\%$) é caracterizado também por apresentar concentrações relativamente altas de P_2O_5 e de elementos traços incompatíveis (Sr, Zr, Hf, Ba, Ta, Y e terras raras leves) em relação ao grupo baixo titânio-BBT($TiO_2 < 2\%$).

Mais tarde, foi reconhecido um terceiro grupo do tipo intermediário -BIT, com conteúdo de Ti intermediário entre BBT e BAT ($2\% < TiO_2 < 3\%$) (Bellieni et al.,1986b; Piccirillo et al.,1988).

Peate et al.(1988 e 1992), baseando-se nas concentrações de TiO_2 , SiO_2 , Sr e nas razões Zr/Nb, Zr/Y e Ba/Y dividiram esses grupos em outros seis. Assim para o grupo de basalto baixo em TiO_2 , reconheceu os subgrupos Gramado, Esmeralda e Ribeira e para aquele alto em TiO_2 definiu os subgrupos Pitanga, Paranapanema e Urubici.

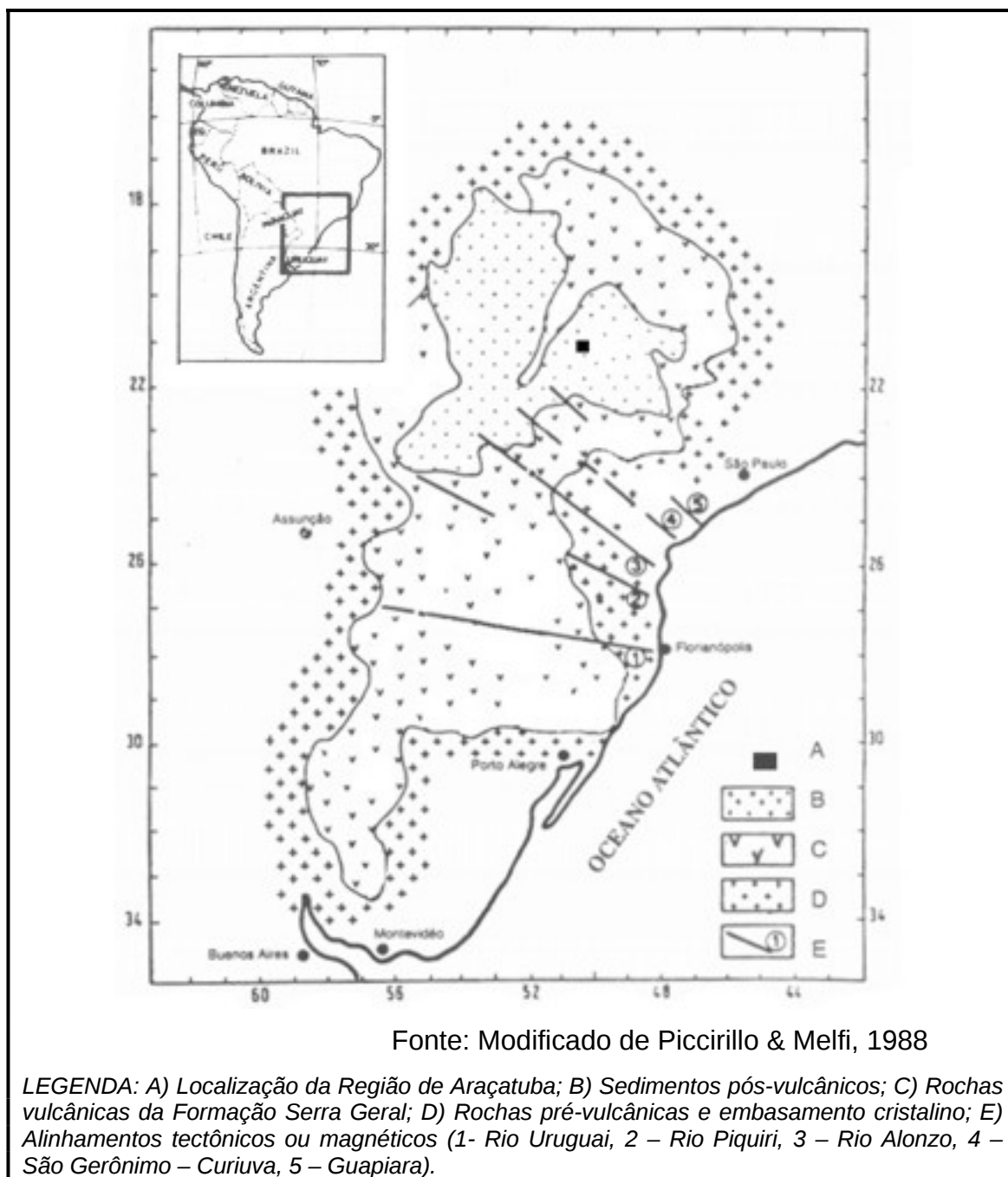
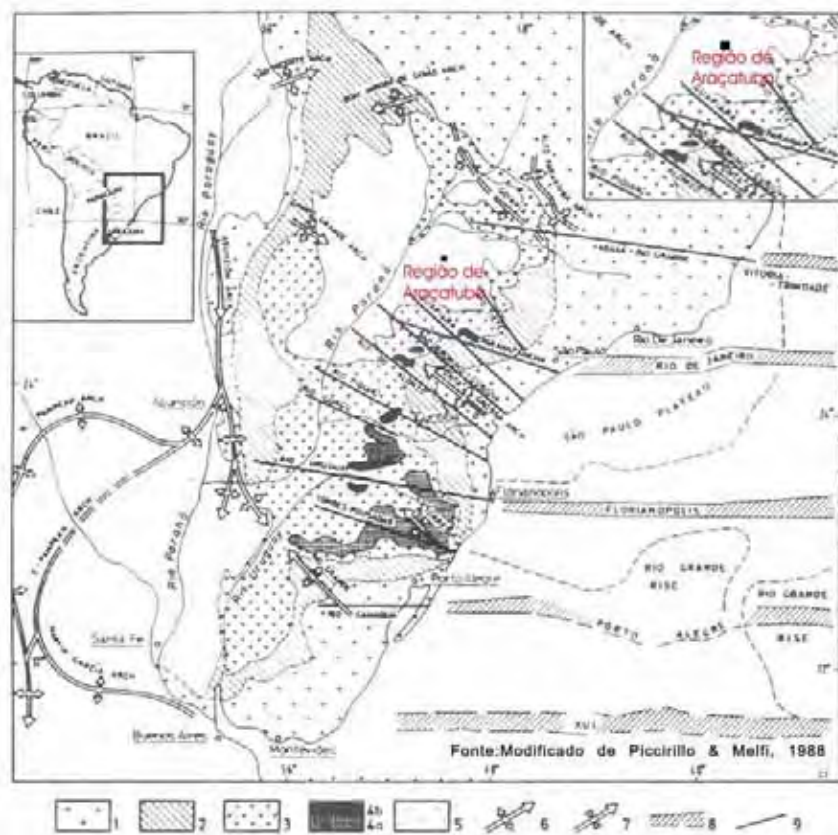


Fig. 03 – Mapa Geral da Localização da Formação Serra Geral na Bacia do Paraná



Legenda:

1) Embasamento cristalino pré-Ordoviciano; 2) Sedimentos Pré-vulcânicos (especialmente do Paleozóico); 3) Rochas vulcânicas básicas-intermediárias (Formação Serra Geral); 4) Rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral (4a - Membro Palmas e 4b - Membro Chapecó); 5) Sedimentos pós-vulcânicos (Cretáceo Superior, Grupo Bauru); 6) Estruturas em arco; 7) Estruturas em sinclinal; 8) Alinhamentos oceânicos; 9) Alinhamentos tectônicos e/ou magnéticos.

Figura 04 - Mapa da Região da Bacia do Paraná, com a localização da Região Oceânica Adjacente

V – GEOLOGIA REGIONAL

A geologia da região (Fig. 05) é representada pelas rochas basálticas do Grupo São Bento e pelas rochas sedimentares do Grupo Bauru (Soares et al., 1980).

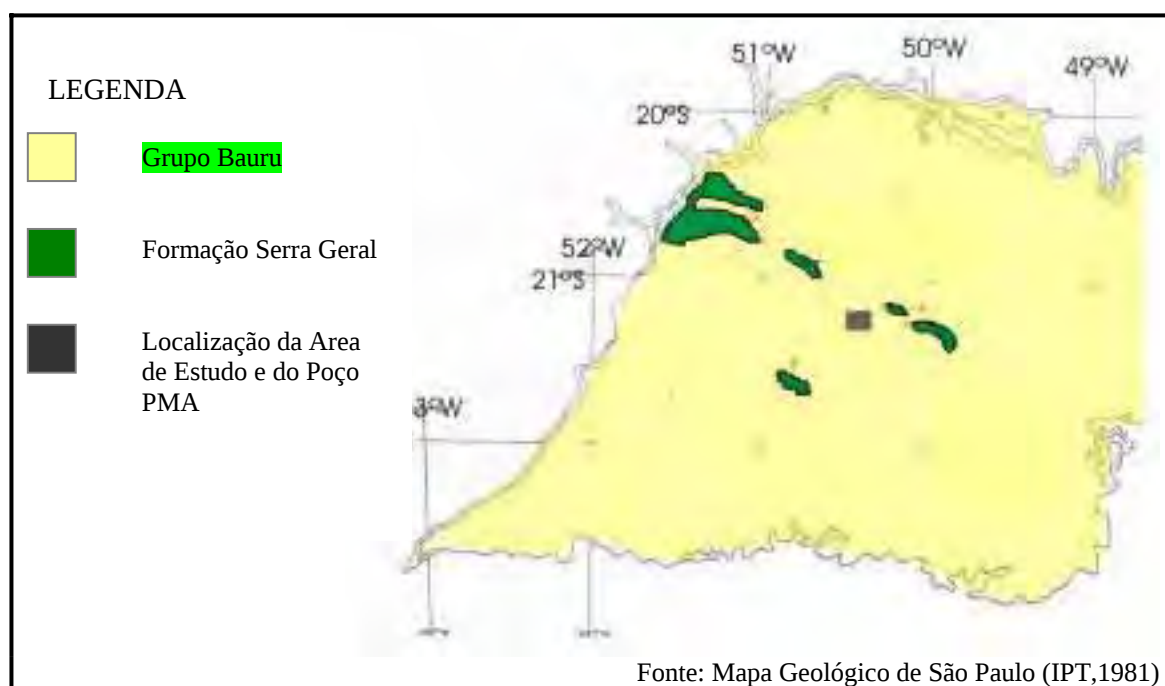


Fig. 05 – Geologia do noroeste de São Paulo e localização das Ocorrências de Rochas Basálticas

5.1- Grupo São Bento

O Grupo São Bento (Soares et al., 1980) na região é representado pelas rochas basálticas da Formação Geral, já que as rochas sedimentares da Formação Botucatu e Pirambóia ocorrem a profundidades superiores a 950 metros.

As ocorrências das rochas basálticas da Formação Serra Geral na região estão restritas às porções dos vales dos grandes rios, como é o caso do Tietê e de seus principais afluentes. As rochas basálticas estão dispostas em derrames subhorizontais, são afaníticas, compactas, de coloração cinza escuro a preto, com variações para os tons avermelhado/arroxeados. Apresentam gradações para tipos vesiculares e/ou amigdaloidais no topo e base dos derrames.

No município de Araçatuba as ocorrências de basaltos estão restritas à área de estudo, pois os afloramentos das margens do Rio Tietê e dos seus principais afluentes, foram alagados pelas águas do Lago de Três Irmãos – Hidrovia Tietê-Paraná.

Sotopostas à Formação Serra Geral ocorrem, na região, à profundidade média de 950 metros, as formações Botucatu (Jurássico) e Pirambóia (Triássico). A Formação Botucatu, de origem eólica, é constituída de arenitos finos, cinza claros, bem selecionados, com grãos de quartzo apresentando bom grau de arredondamento e esfericidade. A Formação Pirambóia, de origem flúvio-lacustre/eólico, apresenta menor maturidade textural e maior quantidade de argilas nos poros.

5.2- Grupo Bauru

A subdivisão estratigráfica do Grupo Bauru (Soares op cit.) abrange quatro formações, da base para o topo: Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília. A unidade basal do Grupo Bauru em Araçatuba é a formação Santo Anastácio, já que a Formação Caiuá, a mais antiga, está restrita às vizinhanças mais ocidentais.

A Formação Santo Anastácio é representada por arenitos marrons avermelhados, finos a médios. É freqüente o caráter subarcosiano, localmente ocorrem cimento e nódulos carbonáticos. As estruturas sedimentares observadas são pouco pronunciadas, predominando os bancos arenosos maciços com espessuras métricas e decimétricas. O contato inferior da Formação Santo Anastácio se dá diretamente com a Formação Serra Geral. O contato superior da Formação Santo Anastácio com a formação Adamantina sobrejacente é transicional e interdigitado.

A caracterização litoestratigráfica dos sedimentos depositados no Cretáceo Superior, em situação suprabasáltica, vêm sendo objeto de estudo de vários pesquisadores. A formação Adamantina têm sido individualizada em diferentes litofácies e membros, devido suas variações regionais. Suguio & Fúlfaro (1977) propôs a subdivisão nos membros São José do Rio Preto e Araçatuba. Soares et al (1980) propôs as litofácies S. J. Rio Preto, Taciba e Ubirajara. Zaine et al (1980) subdividiram a Formação Adamantina e

denominou de Formação Araçatuba um pacote pelítico da Formação Adamantina. Almeida et al (1980), com base nas variações litológicas, propuseram cinco “unidades de mapeamento” para a Formação Adamantina.

Barcelos (1984) adota para a formação Adamantina a subdivisão proposta por Suguio op cit, sendo o membro Araçatuba caracterizado por seqüências pelíticas e psamíticas, com colorações predominantemente verde oliva pálido e rosa acinzentada e, também por tons marrons amarelados claros a escuros.

Em Araçatuba a Formação Adamantina ocorre exposta na quase totalidade da área do município, enquanto a Formação Santo Anastácio que, muito restritamente, aflorava em alguns trechos das margens do Rio Tietê, encontra-se também, quase que totalmente, submersa pelas águas da Hidrovia Tietê-Paraná - Lago de Três Irmãos.

Em Araçatuba, o contato inferior da formação Serra Geral, com a formação Botucatu sotoposta, ocorre à profundidade de 956 metros. O contato superior da Formação Serra Geral, na região, se dá com a Formação Santo Anastácio ou com a Formação Adamantina.

VI – GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

A geologia da área de estudo (Fig. 06) está representada pelos derrames de rochas basálticas da Formação Serra Geral do Grupo São Bento e pelos sedimentos arenosos a lamíticos da Formação Adamantina do Grupo Bauru (Soares et al, 1980).

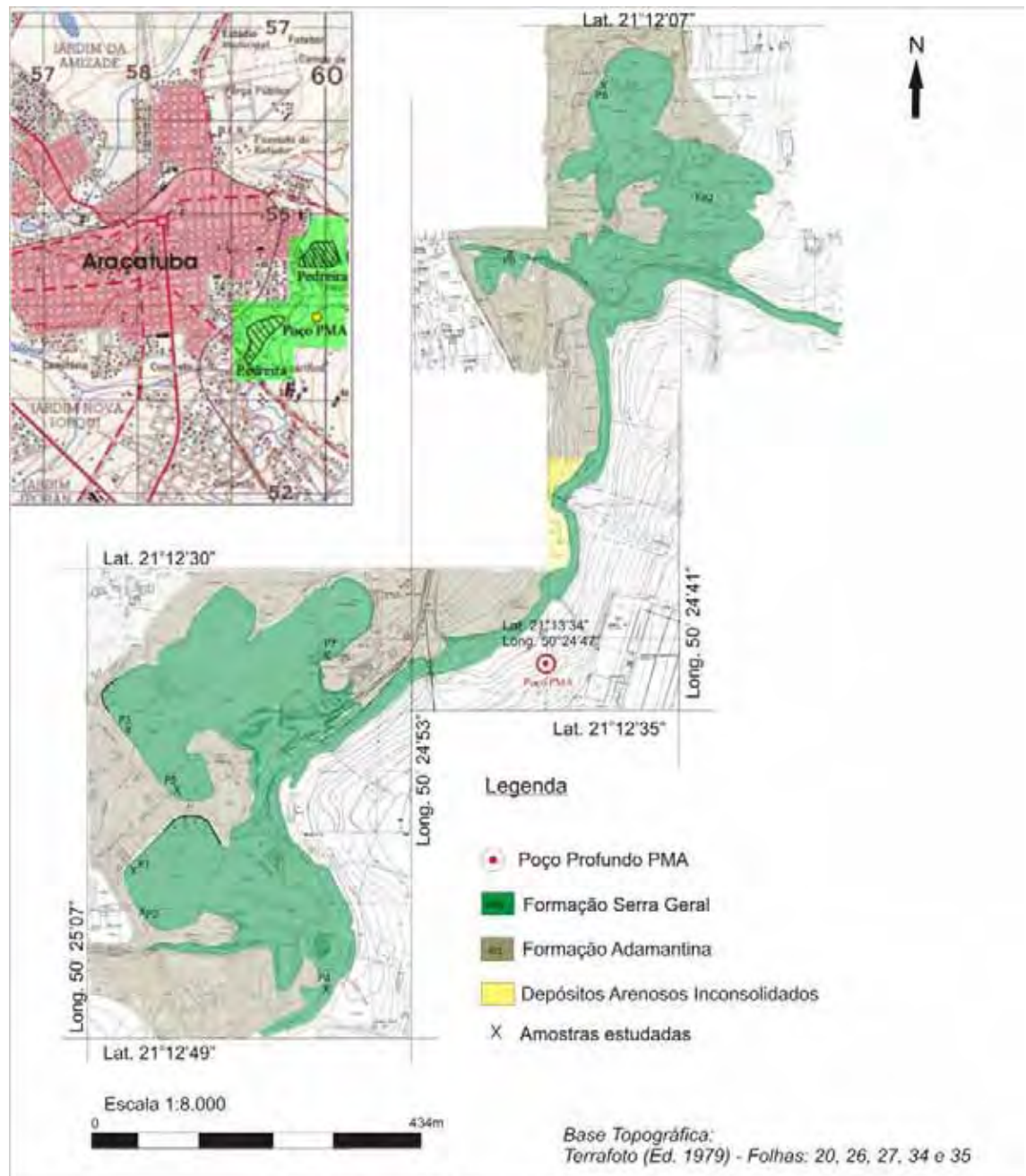


Fig. 06 - Mapa da Geologia da Área de Estudo de Localização das Amostras Estudadas

6.1- Formação Serra Geral

Os afloramentos da Formação Serra Geral ocorrem no leito do Ribeirão Baguaçu (Foto 7) e nas cavas de pedreiras desativadas (Fotos 1 a 6), localizadas às margens do Ribeirão Baguaçu.

No leito do Ribeirão Baguaçu, foram observadas rochas (Foto 09) com alta densidade de vesículas e amígdalas, cujos tamanhos variados, podem alcançar 6 a 7 mm de diâmetro. A coloração varia entre o cinza escuro/médio, com variações para os tons avermelhados e arroxeados. Apresentam aspecto vesicular escoriáceo, característico das zonas de desgaseificação superficial das lavas em resfriamento. No leito do Baguaçu podem ser observados diaclasamentos subhorizontais e fraturamentos subverticais (Foto 7) .

Os afloramentos das cavas das pedreiras desativadas (Fotos 1 a 6), apresentam basaltos afaníticos, de coloração variando entre o cinza e marrom avermelhado/arroxeado (Fotos 8,10 e 11) .

6.2- Formação Adamantina

Os contatos da Formação Adamantina com a Formação Serra Geral, ocorrem, por vezes, através dos litotipos arenosos a siltosos, de coloração castanho rosado a marrom avermelhado e, outras com os litotipos lamíticos de coloração cinza esverdeada. Os litotipos lamíticos cinza esverdeados afloram nas margens do Córrego Machadinho, assentando diretamente sobre os basaltos Serra Geral. Os litotipos, caracterizados pela natureza predominantemente arenosa, afloram na cava da Pedreira (CV1), sobrepostos aos basaltos.

A caracterização litoestratigráfica da Formação Adamantina têm recebido a contribuição de diversos pesquisadores. Entre as subdivisões estratigráficas da Formação Adamantina, destaca-se a de Zaine et al. (1980) que propuseram a individualização da Formação Araçatuba, caracterizada por sua natureza predominantemente pelítica, pela coloração cinza esverdeada e pela amplitude de sua distribuição diretamente sobreposta aos basaltos.



Foto 01 - Vista da cava 1 (CV1) da antiga pedreira da RFFSA, situada no Parque Ecológico Baguaçu.



Foto 02 - Afloramento de basaltos da cava 1 (CV1), da antiga pedreira da RFFSA, situada no Parque Ecológico Baguaçu.



Foto 03 - Vista da cava 2 (CV2) da antiga pedreira da RFFSA, situada na avenida dos Araças, nas proximidades do Parque Ecológico Baguaçu.



Foto 04 - Afloramento de basaltos da cava 2 (CV2) da antiga Pedreira da RFFSA, situada na avenida dos Araças, nas proximidades do Parque Ecológico Baguaçu.



Foto 05 - Vista da cava 3 (CV3) da antiga pedreira da RFFSA, situada na Av. dos Estados.



Foto 06 - Afloramento de basaltos da cava 3 (CV3) da antiga pedreira da RFFSA, situada na Av. dos Estados.



Foto 07 - Afloramento de basaltos no leito do Ribeirão Baguaçu na Cachoeirinha do Parque Ecológico Baguaçu.



Foto 08 - Amostra (P2) de basalto afanítico, maciço, cinza escuro com tons violáceos, do afloramento da cava 1 (CV1) da antiga Pedreira da RFFSA, localizada no Parque Ecológico Baguaçu.



Foto 09 - Amostra (P4) de basalto vesicular, cinza amarronado, com tons avermelhados/arroxeados, do afloramento da cachoeirinha do Ribeirão Baguaçu, localizada no Parque Ecológico Baguaçu.



Foto 10- Amostra (P5) de basalto afanítico, maciço, cinza a marrom avermelhado com tons arroxeados, do afloramento da cava 2 (CV2) da antiga pedreira da RFFSA, localizada na avenida dos Araças, nas proximidades do Parque Ecológico Baguaçu.



Foto 11- Amostra (P6) de basalto afanítico, maciço, cinza amarronado, com predomínio dos tons avermelhados, do afloramento da cava 3 (CV3) da antiga pedreira da RFFSA, localizada nas proximidades da Av. dos Estados.

6.3 - Sucessão dos derrames da Formação Serra Geral identificados no Poço Profundo – PMA.

No poço tubular profundo – Poço PMA, pode-se visualizar um pacote vulcânico que se encontra representado na Fig.07. O início da perfuração do Poço PMA ocorreu na cota de 348 metros, no topo da Formação Serra Geral. A espessura da seqüência atravessada totalizou 980 metros de rochas basálticas perfuradas. Entre as profundidades de 956 e 980 metros ocorreram intercalações de arenito Botucatu cujas espessuras, em função do método de amostragem utilizado, não foram estimadas. O topo da Formação Botucatu foi identificado à profundidade de 980 metros e a amostragem avançou até 1008 metros.

Os derrames identificados segundo as profundidades dos respectivos topos e espessuras estão representados na Figura 07. Em todo pacote vulcânico, atravessado pela perfuração, foi identificada uma sucessão de 27 derrames, a partir do reconhecimento, através das amostras, dos topos e espessuras de cada um deles. Os estudos das amostras revelaram que os horizontes interderrames, representados pela base e topo de derrames consecutivos, são caracterizados pela presença de vesículas e/ou amígdalas, por zonas de alteração supergênica, e pela presença de fragmentos com aspecto esponjoso/escoriáceo, resultante do resfriamento rápido. Observou-se que as espessuras desses horizontes interderrames são variáveis e, na individualização de cada derrame, considerou-se como topo de cada um dos derrames, a profundidade correspondente ao respectivo topo do horizonte interderrame. As espessuras dos derrames identificados variam entre 10 e 80 metros.

Os fragmentos de amostras de calha, representativas de topos e bases dos derrames, como pode ser observado nas ilustrações (Fotos 12 a 59), apresentam coloração marrom avermelhada a cinza esverdeada/arroxada, estruturas vesiculares e níveis de alterações supergênicas.

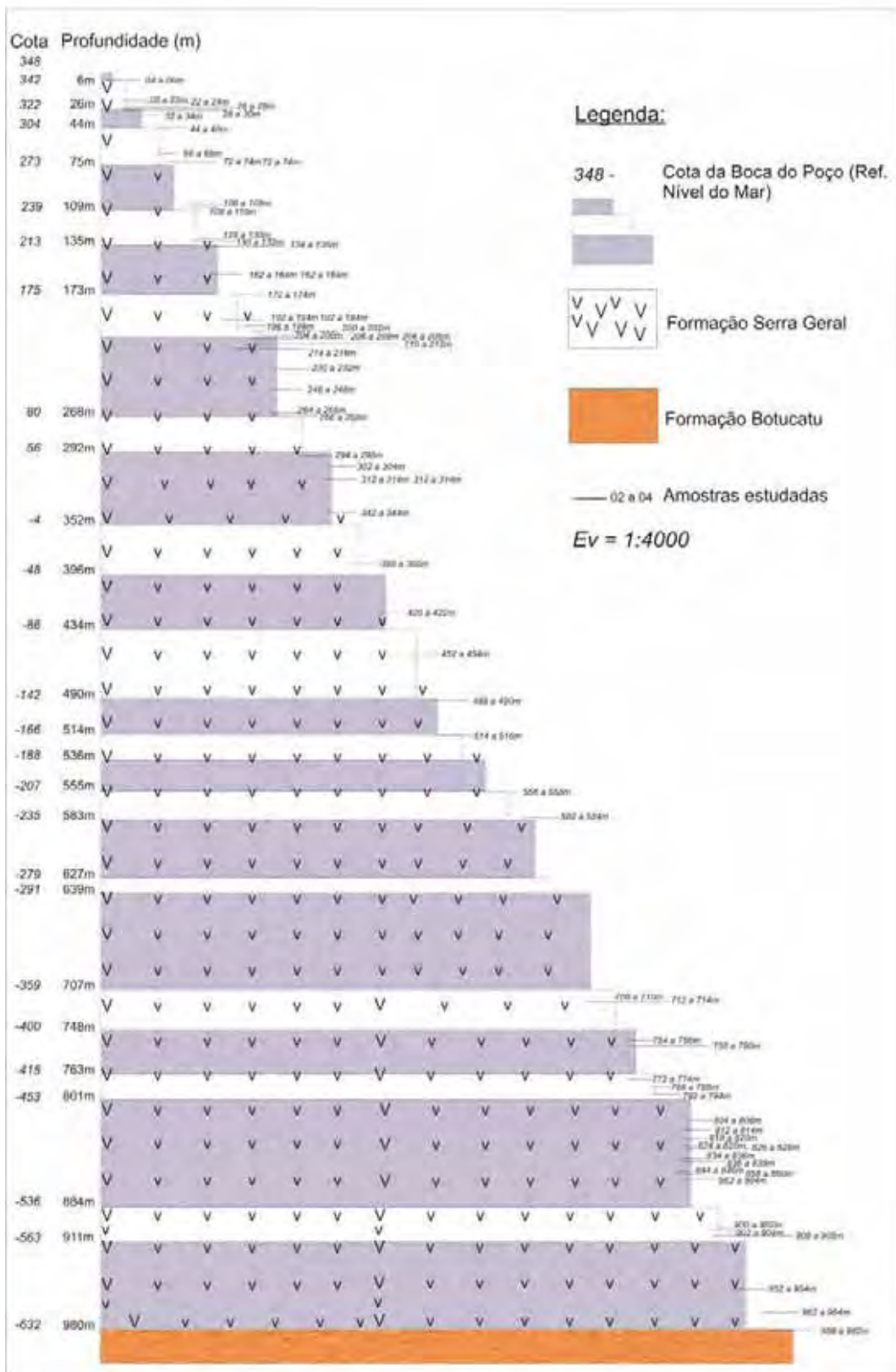


Figura 07 - Sucessão dos Derrames identificados e profundidades das amostras de calha estudadas

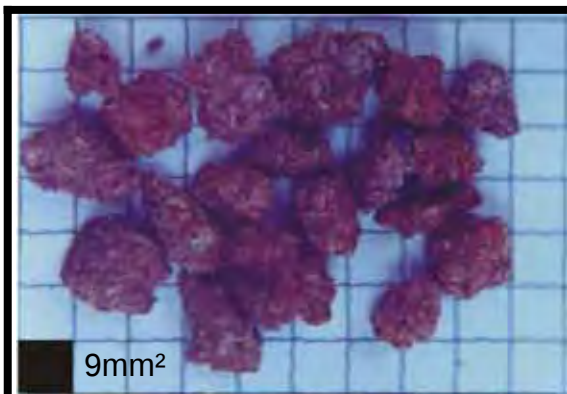


Foto 12 - Amostra de calha (PMA06) representativa do intervalo de 04 a 06 metros de profundidade. Fragmentos de **basalto amigdaloidal**, alterado, marrom a cinza avermelhado.

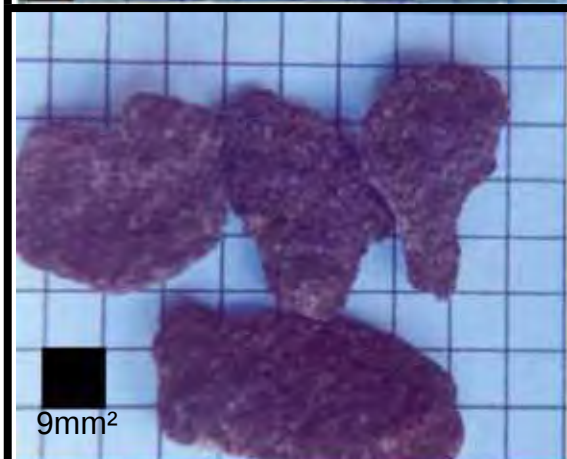


Foto 13 – Amostra de calha (PMA24) representativa do intervalo de profundidade de 22 a 24 metros. Fragmentos de **basalto maciço**, cinza.

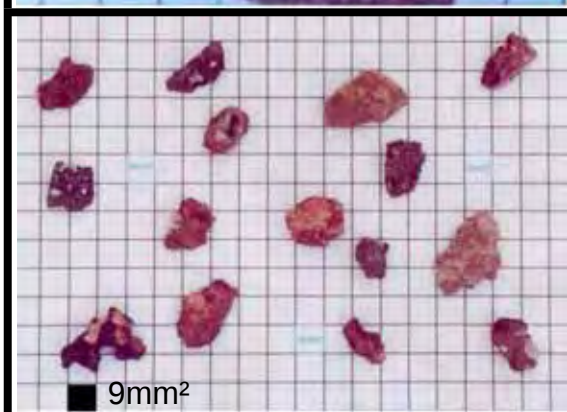


Foto 14 – Amostra **de calha** (PMA28) representativa do intervalo de profundidade de 26 a 28 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, alterado, marrom avermelhado.

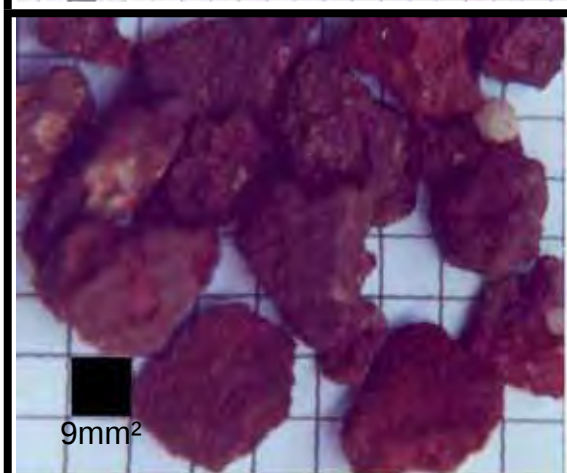


Foto 15 – Amostra de calha (PMA30) representativa do intervalo de profundidade de 28 a 30 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, alterado, marrom avermelhado.

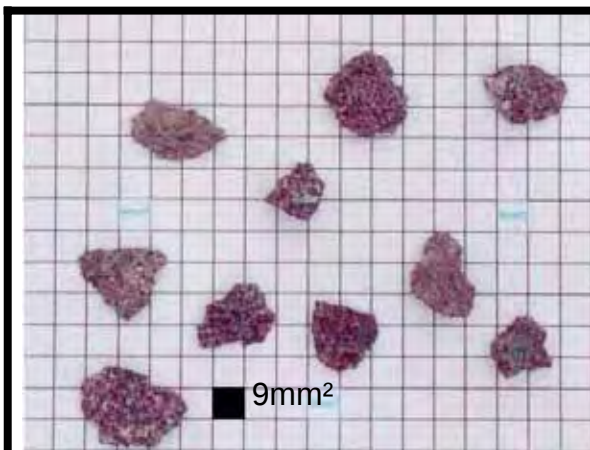


Foto 16 - Amostra de calha (PMA46) representativa do intervalo de profundidade de 44 a 46 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza/marron avermelhado.

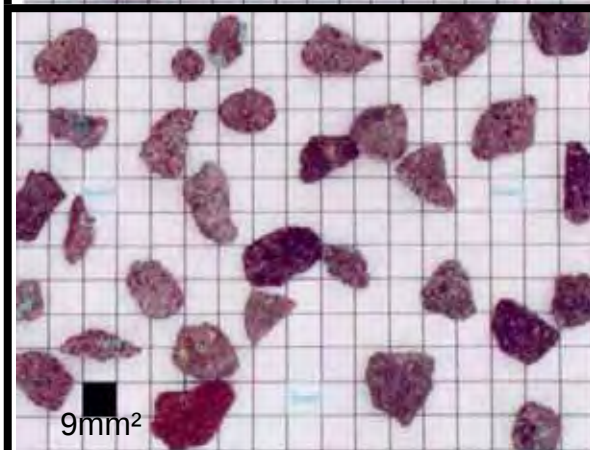


Foto 17 - Amostra de calha (PMA74) representativa do intervalo de profundidade de 72 a 74 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal cinza/marron avermelhado.

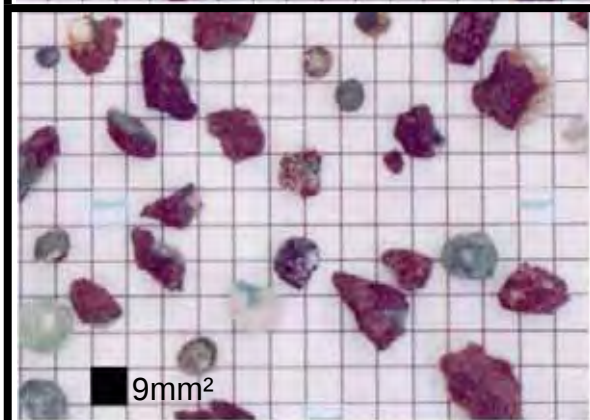


Foto 18 - Amostra de calha (PMA110) representativa do intervalo de profundidade de 108 a 110 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal marron avermelhado.

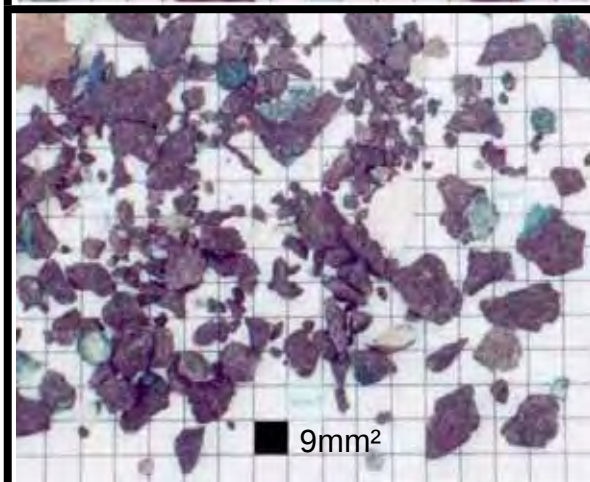


Foto 19 - Amostra de calha (PMA116) representativa do intervalo de profundidade de 114 a 116 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza arroxeado / esverdeado.

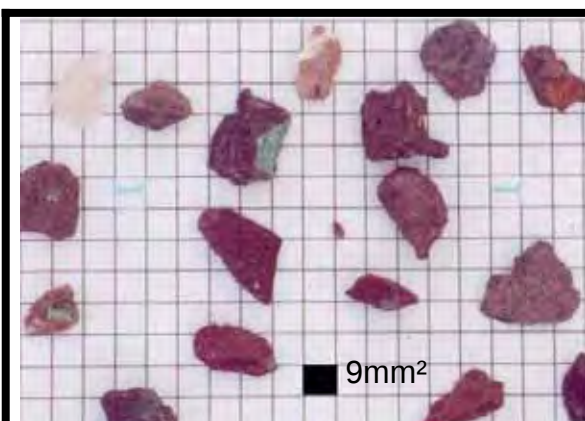


Foto 20 - Amostra de calha (PMA136) representativa do intervalo de profundidade de 134 a 136 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza/arroxado e marrom avermelhado.

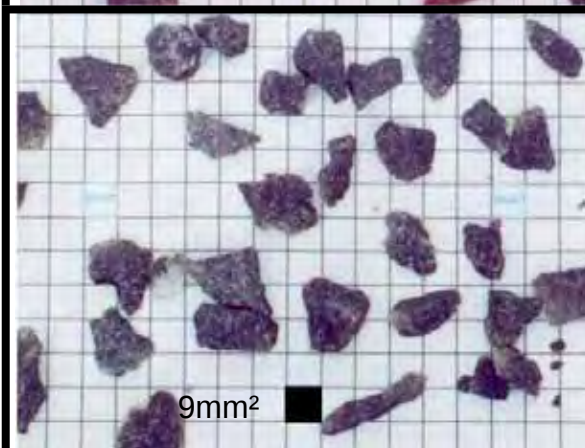


Foto 21 - Amostra de calha (PMA154) representativa do intervalo de profundidade de 152 a 154 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza médio. Apresentando esparsas concentrações de amígdalas.

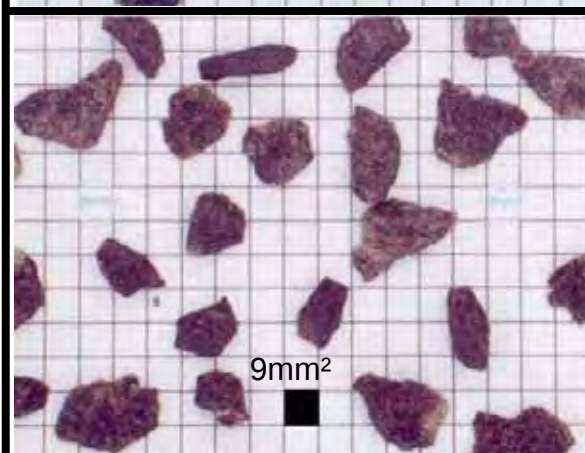


Foto 22 - Amostra de calha (PMA164) representativa do intervalo de profundidade de 162 a 164 metros. Fragmentos de basalto maciço, cinza escuro.

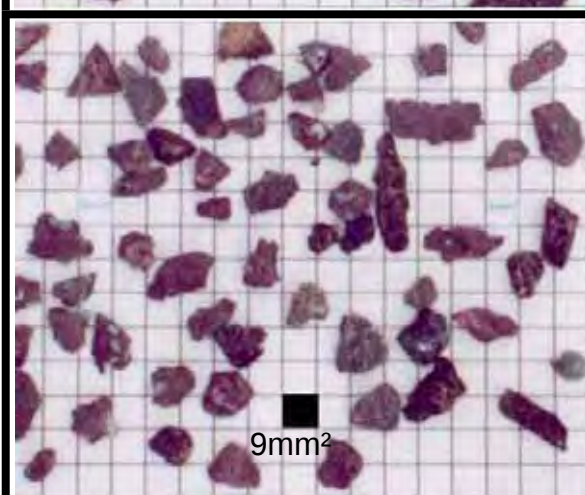


Foto 23 - Amostra de calha (PMA174) representativa do intervalo de profundidade de 172 a 174 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, marrom avermelhado.

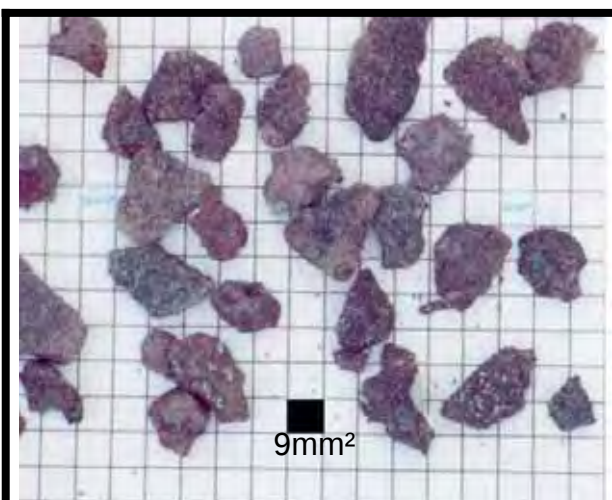


Foto 24 - Amostra de calha (PMA182) representativa do intervalo de profundidade de 180 a 182 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza esverdeado/arroxado.

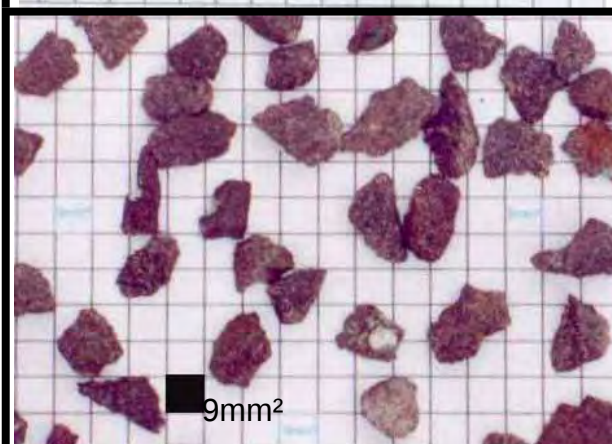


Foto 25 - Amostra de calha (PMA194) representativa do intervalo de profundidade de 192 a 194 metros. Fragmentos de basalto maciço, cinza/marrom avermelhado.

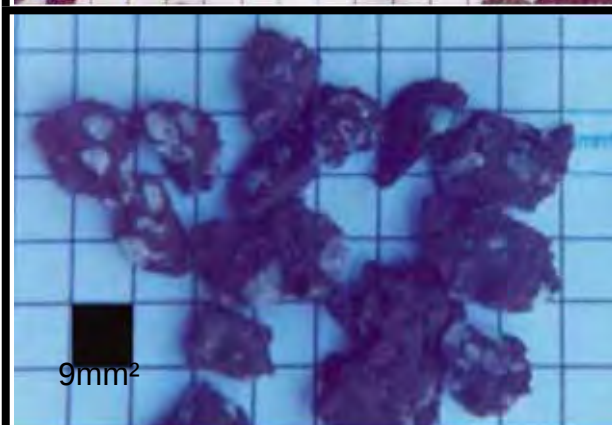


Foto 26 - Amostra de calha (PMA198) representativa do intervalo de profundidade de 196 a 198 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza esverdeado/arroxado.

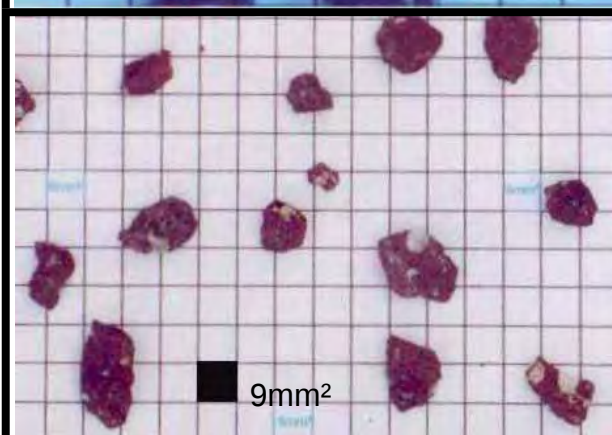


Foto 27 - Amostra de calha (PMA202) representativa do intervalo de profundidade de 200 a 202 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, marrom avermelhado.

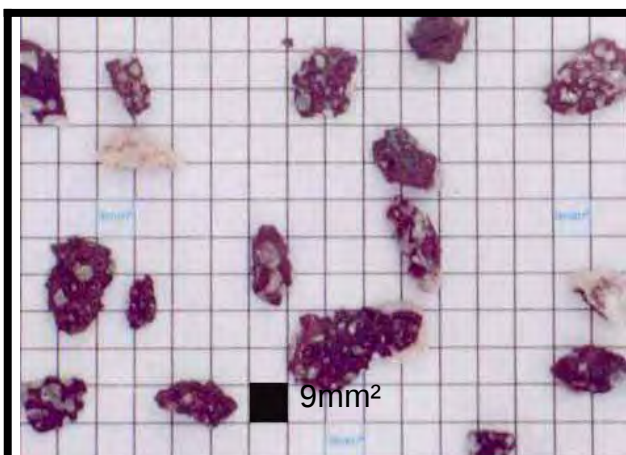


Foto 28 - Amostra de calha (PMA208) representativa do intervalo de profundidade de 206 a 208 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, marrom avermelhado.



Foto 29 - Amostra de calha (PMA232) representativa do intervalo de profundidade de 230 a 232 metros. Fragmentos de basalto maciço, cinza avermelhado.

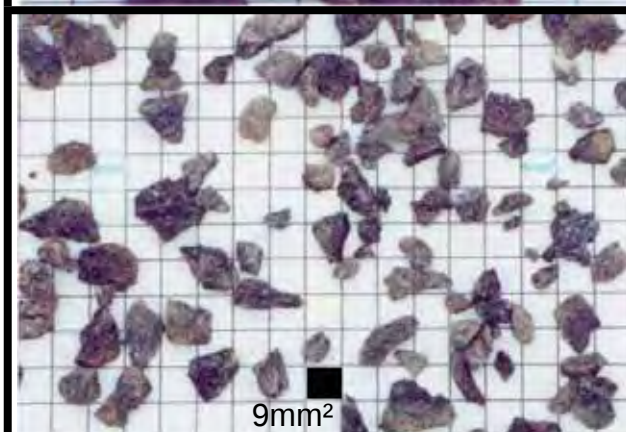


Foto 30 - Amostra de calha (PMA240) representativa do intervalo de profundidade de 238 a 240 metros. Fragmentos de basalto, cinza.

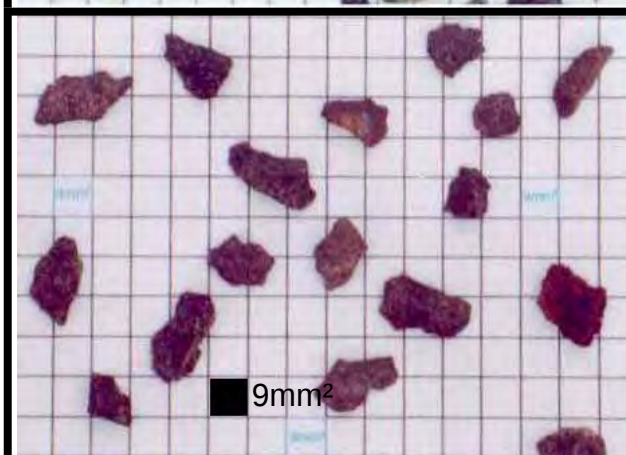


Foto 31 - Amostra de calha (PMA266) representativa do intervalo de profundidade de 264 a 266 metros. Fragmentos de basalto, cinza avermelhado.

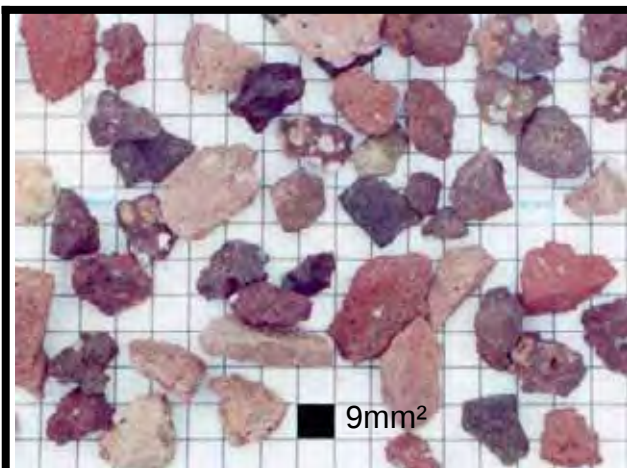


Foto 32 - Amostra de calha (PMA270) representativa do intervalo de profundidade de 268 a 270 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza esverdeado e marrom avermelhado.

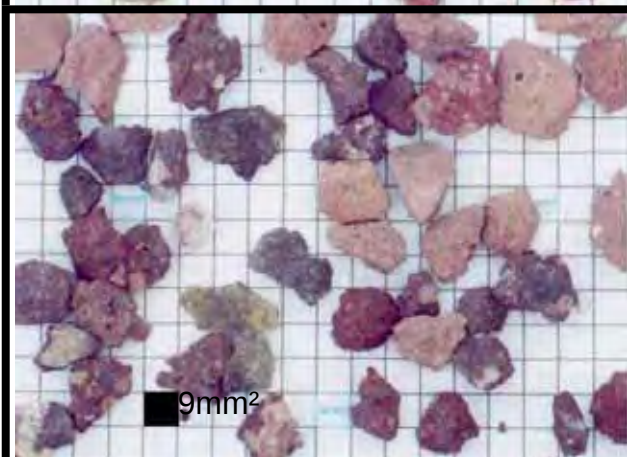


Foto 33 - Amostra de calha (PMA276) representativa do intervalo de profundidade de 274 a 276 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza esverdeado e marrom avermelhado.

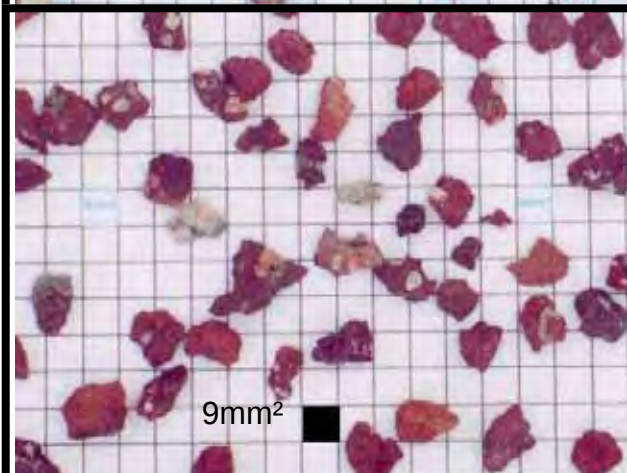


Foto 34 - Amostra de calha (PMA296) representativa do intervalo de profundidade de 294 a 296 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, marrom/cinza avermelhado.

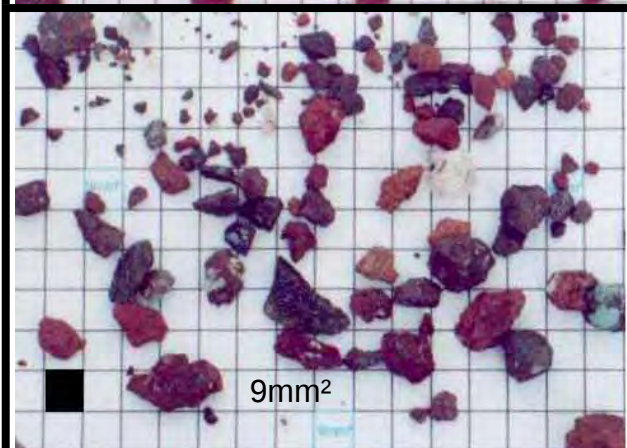


Foto 35 - Amostra de calha (PMA298) representativa do intervalo de profundidade de 296 a 298 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza/arroxado.

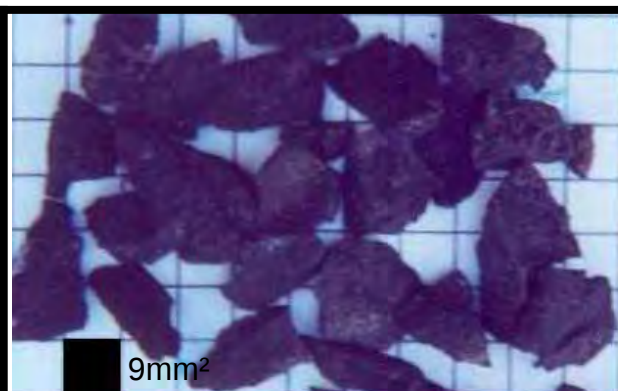


Foto 36 - Amostra de calha (PMA304) representativa do intervalo de profundidade de 302 a 304 metros. Fragmentos de basalto maciço, cinza.

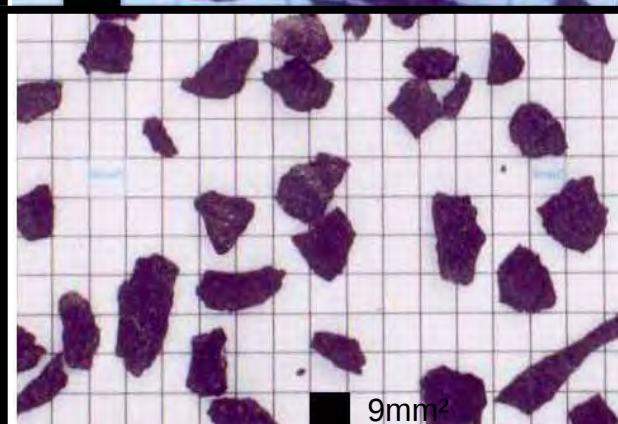


Foto 37 - Amostra de calha (PMA314) representativa do intervalo de profundidade de 312 a 314 metros. Fragmentos de basalto, cinza avermelhado.

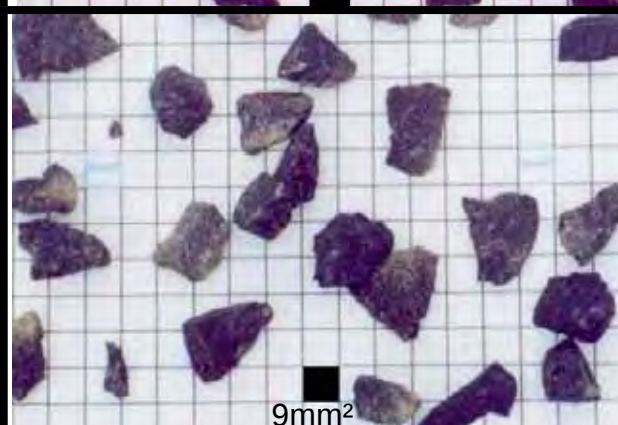


Foto 38 - Amostra de calha (PMA346) representativa do intervalo de profundidade de 344 a 346 metros. Fragmentos de basalto maciço, cinza.

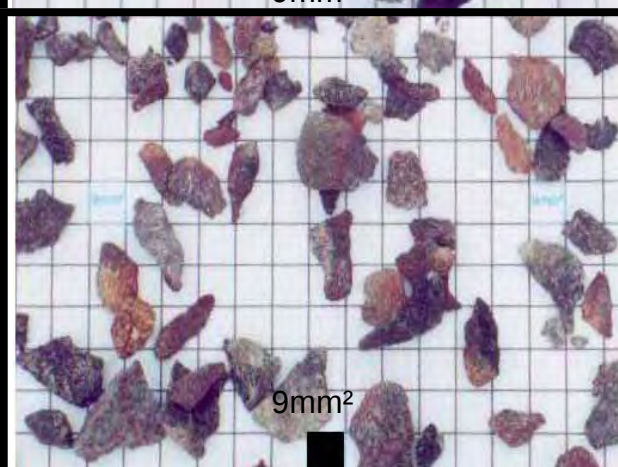


Foto 39 - Amostra de calha (PMA354) representativa do intervalo de profundidade de 352 a 354 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza esverdeado/arroxado.

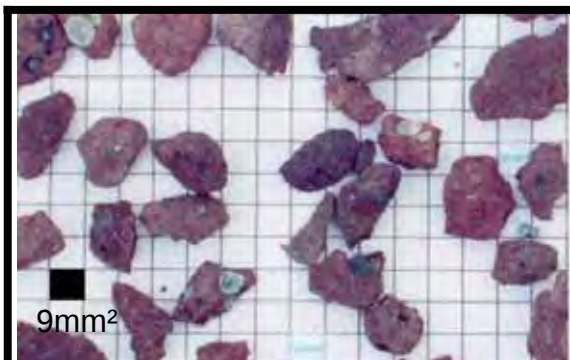


Foto 40 - Amostra de calha (PMA372) representativa do intervalo de profundidade de 372 a 374 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza avermelhado/arroxado.

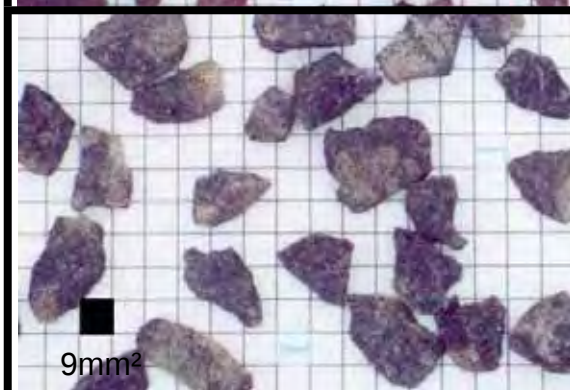


Foto 41 - Amostra de calha (PMA394) representativa do intervalo de profundidade de 392 a 394 metros. Fragmentos de basalto maciço, cinza.

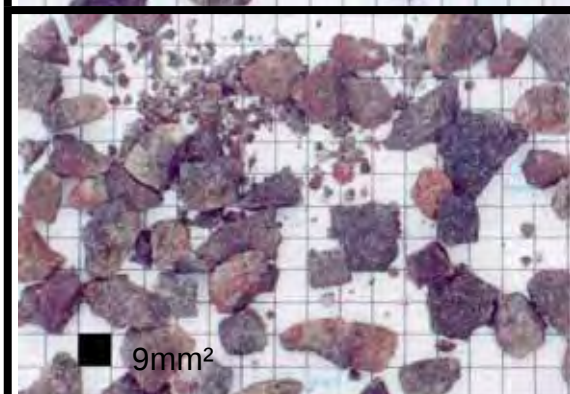


Foto 42 - Amostra de calha (PMA436) representativa do intervalo de profundidade de 434 a 436 metros. Fragmentos de basalto alterado, cinza avermelhado.

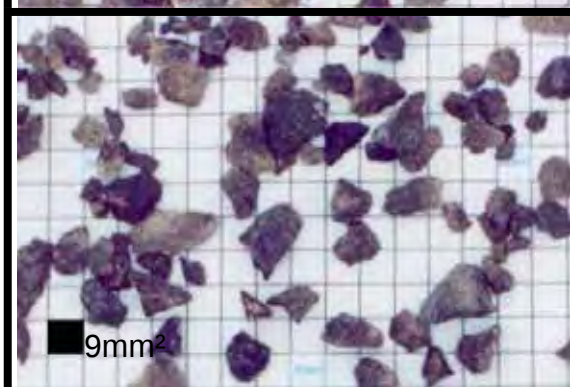


Foto 43 - Amostra de calha (PMA466) representativa do intervalo de profundidade de 464 a 466 metros. Fragmentos de basalto maciço, cinza.

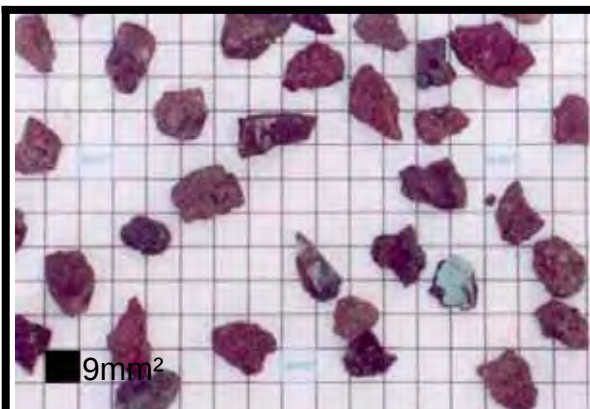


Foto 44 - Amostra de calha (PMA490) representativa do intervalo de profundidade de 488 a 490 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza esverdeado/arroxado.

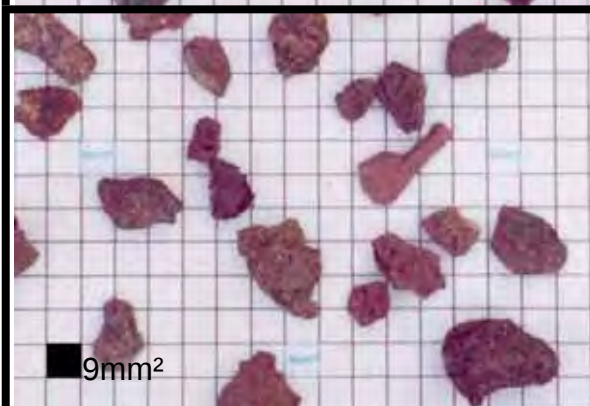


Foto 45 - Amostra de calha (PMA516) representativa do intervalo de profundidade de 514 a 516 metros. Fragmentos de basalto amigdaloidal, cinza esverdeado e marrom arroxado.



Foto 46 - Amostra de calha (PMA558) representativa do intervalo de profundidade de 556 a 558 metros. Fragmentos de basalto vesicular/amigdaloidal, cinza avermelhado/arroxado.

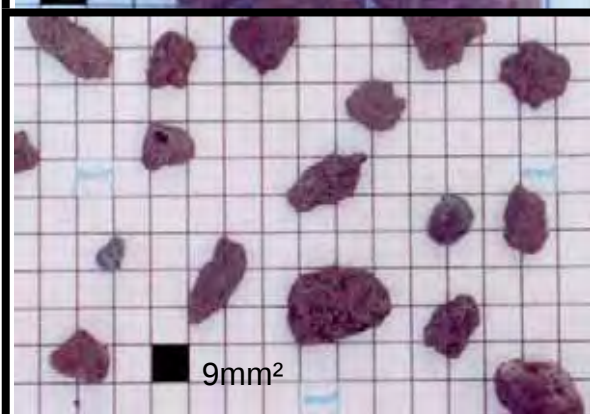


Foto 47 - Amostra de calha (PMA584) representativa do intervalo de profundidade de 582 a 584 metros. Fragmentos de basalto vesicular, de aspecto escoriáceo, cinza arroxado.

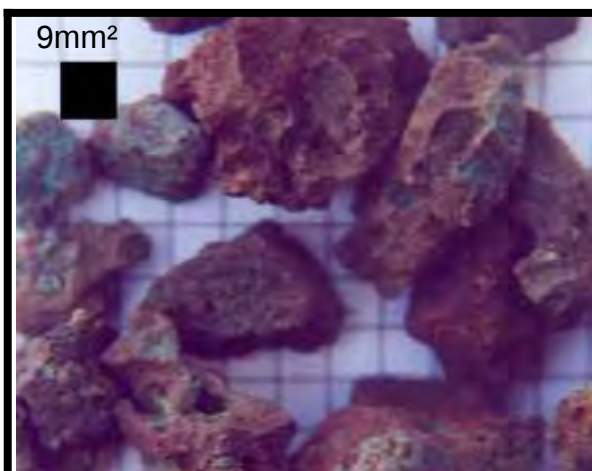


Foto 48 - Amostra de calha (PMA714) representativa do intervalo de profundidade de 712 a 714 metros. Fragmentos de basalto vesicular/amigdaloidal, marrom avermelhado e cinza esverdeado.

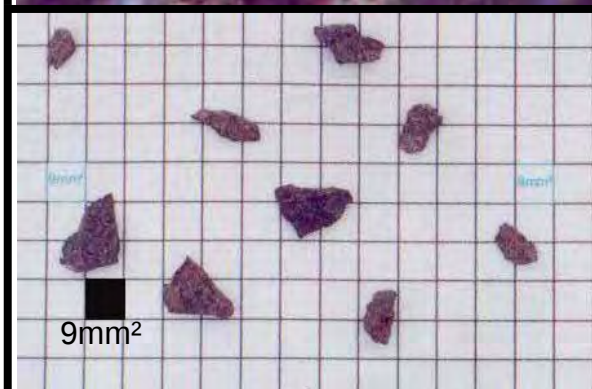


Foto 49 - Amostra de calha (PMA740) representativa do intervalo de profundidade de 738 a 740 metros. Fragmentos de basalto maciço, cinza arroxeado.

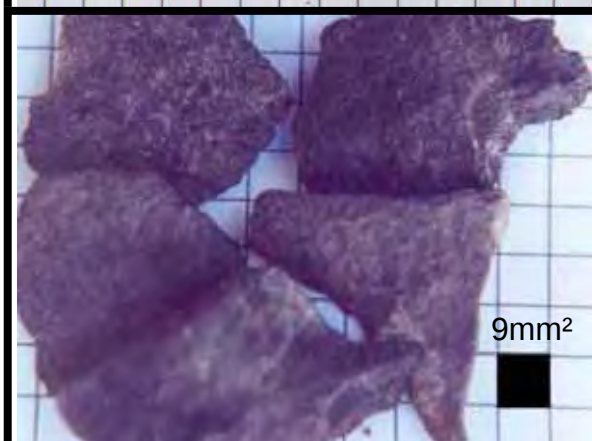


Foto 50 - Amostra de calha (PMA760) representativa do intervalo de profundidade de 758 a 760 metros. Fragmentos de basalto afanítico, cinza arroxeado.

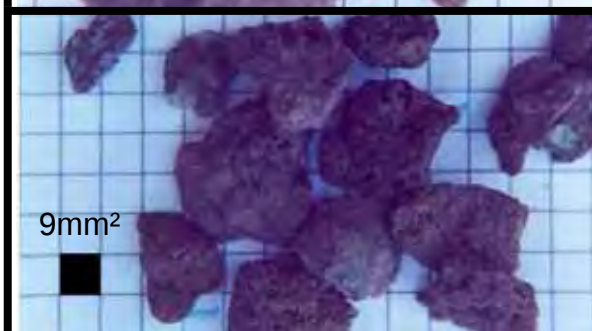


Foto 51 - Amostra de calha (PMA794) representativa do intervalo de profundidade de 792 a 794 metros. Fragmentos de basalto alterado, de aspecto escoriáceo, cinza médio.

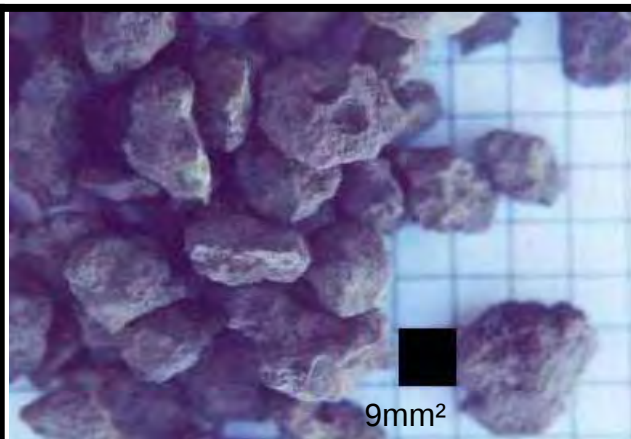


Foto 52 - Amostra de calha (PMA806) representativa do intervalo de profundidade de 804 a 806 metros. Fragmentos de basalto alterado, de aspecto escoriáceo, cinza médio.

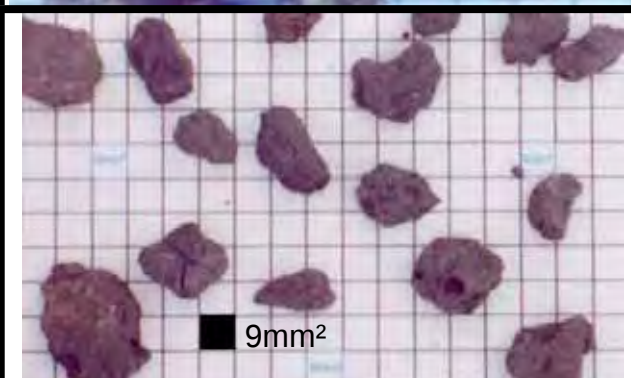


Foto 53 - Amostra de calha (PMA814) representativa do intervalo de profundidade de 812 a 814 metros. Fragmentos de basalto vesicular, de aspecto escoriáceo, cinza arroxeadado.

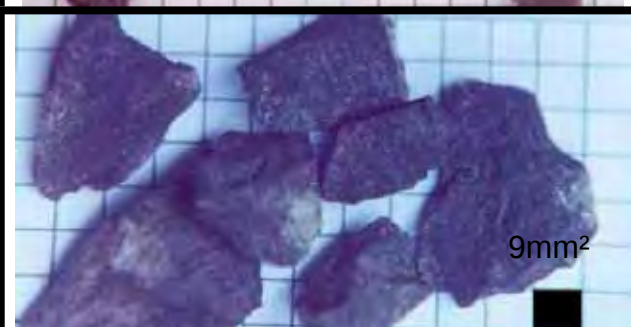


Foto 54 - Amostra de calha (PMA826) representativa do intervalo de profundidade de 824 a 826 metros. Fragmentos de basalto **maciço**, cinza.



Foto 55 - Amostra de calha (PMA846) representativa do intervalo de profundidade de 844 a 846 metros. Fragmentos de basalto **maciço**, cinza escuro.

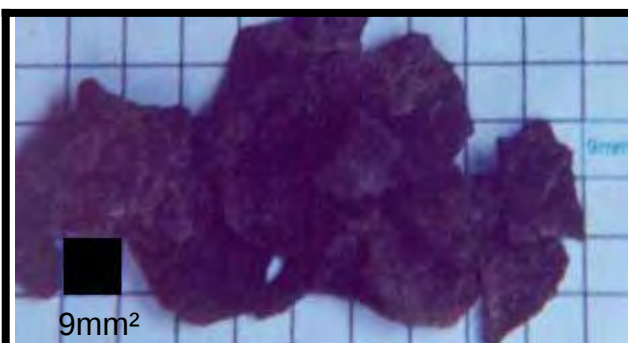


Foto 56 - Amostra de calha (PMA908) representativa do intervalo de profundidade de 906 a 908 metros. Fragmentos de basalto **maciço**, cinza.

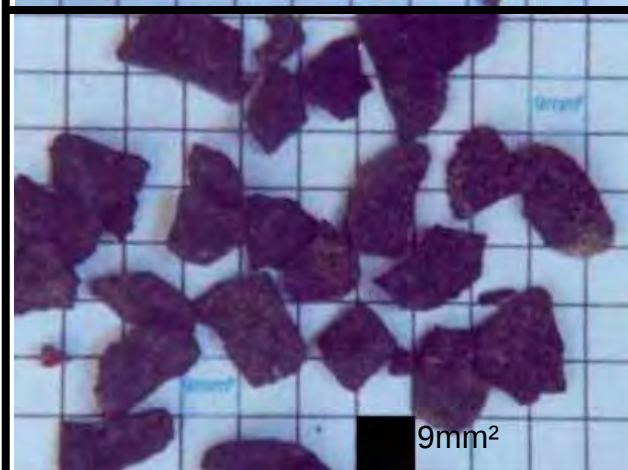


Foto 57 - Amostra de calha (PMA954) representativa do intervalo de profundidade de 952 a 954 metros. Fragmentos de basalto **maciço**, cinza.

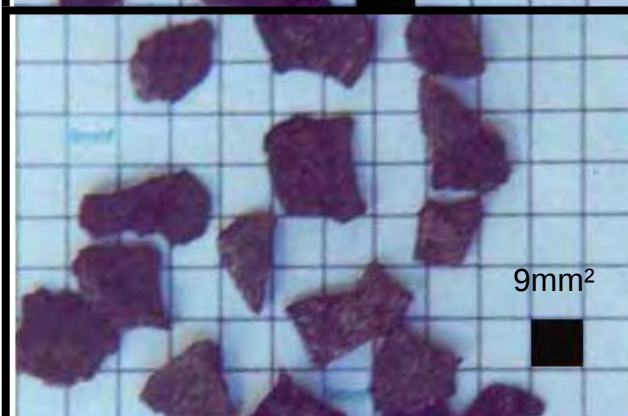


Foto 58 - Amostra de calha (PMA964) representativa do intervalo de profundidade de 962 a 964 metros. Fragmentos de basalto **maciço**, cinza.

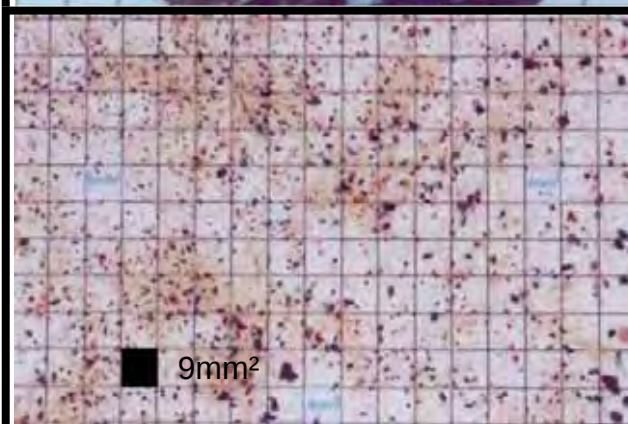


Foto 59 – Amostra (PMA982), representativa da profundidade de 980 a 982 metros. Arenito fino a muito fino, castanho rosado. Formação Botucatu.

CAPÍTULO VII – CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS ROCHAS BASÁLTICAS ESTUDADAS

7.1 – Mineralogia

As rochas basálticas estudadas, consistem em litotipos básicos da Associação Toleítica da Formação Serra Geral.

Os estudos petrográficos realizados revelaram 5 fases minerais essenciais: clinopiroxênio cálcico e subcálcico, plagioclásio, material vítreo, minerais opacos (provavelmente magnetita e ilmenita) e olivina. Plagioclásios e clinopiroxênios constituem as fases minerais predominantes na composição volumétrica das rochas estudadas, em seguida estão os minerais opacos e, finalmente as olivinas. O material vítreo existente, trata-se de um constituinte, que ocorre, em proporções volumétricas variáveis, na matriz dessas rochas.

Os plagioclásios constituem o componente mineralógico predominante, alcançando cerca de 50% do volume das rochas. Ocorrem como microfenocristais e na matriz com granulação inferior a 0,2 mm. Os microfenocristais são subhedrais, ripiformes, com geminação polissintética, Carlsbad e Carlsbad-Albita. Apresentam-se algumas vezes com zoneamento e em outras, com as bordas corroídas pela matriz (Fotos 60 e 61). Por vezes, os cristais de plagioclásio apresentam-se saussuritizados.

Os clinopiroxênios possuem natureza cálcica e subcálcica, constituem cerca de 45% do volume das rochas (Fotos 60 a 70 e 78/79). São na maioria das vezes anhedrais e secundariamente subhedrais. Ocorrem na matriz de forma granular (Fotos 78/79) e como microfenocristais poiquilíticos.

As olivinas ocorrem total ou parcialmente alteradas por mineral castanho avermelhado, provavelmente idingisita. Ocorrem na matriz como microfenocristais arredondados envoltos por clinopiroxênios, na maioria das vezes. Os cristais de olivina não chegam a atingir 5% do volume das rochas.

Os minerais opacos, provavelmente magnetita e ilmenita, chegam a constituir 20% do volume total das rochas. Ocorrem intersticialmente na matriz e como microfenocristais. Os microfenocristais são, frequentemente, subhedrais (Fotos 60 a 63 e 68/69).

O material vítreo de coloração marrom escuro a preto, isotrópico, ocorre intersticialmente na matriz. Possuem composição volumétrica variável, chegando a atingir mais de 60% do volume total das rochas (Fotos 70 a 75).

7.2 – Texturas e Estruturas

Os plagioclásios juntamente com os clinopiroxênios constituem a malha fundamental das rochas. Os grãos de clinopiroxênio ocorrem intersticialmente (Fotos 60 a 79) e, também, como microfenocristais poikilíticos, envolvendo plagioclásios e opacos. Os microfenocristais de plagioclásios idiomórficos, orientam-se localmente, conferindo, localmente, estruturas de fluxo (Fotos 64 e 65). Os plagioclásios ocorrem também como cristais tipo “cauda de andorinha,” que constituem estruturas típicas de resfriamento rápido (Foto 74). Os cristais de opacos ocorrem intersticialmente (Fotos 78 e 79) na matriz e como fenocristais subhedrais, poiquilíticos, envolvendo clinopiroxênios e plagioclásios (Fotos 68, 69, 76 e 77).

Nas amostras representativas dos topos dos derrames, a matriz é constituída, predominantemente, por material vítreo. São comuns, também, as ocorrências de estruturas vesiculares/amigdaloidais preenchidas por zeólitas (Fotos 70, 71 e 75).

O exame microscópico das secções delgadas constatou a presença de material vítreo em quantidades variáveis. As amostras são desde holocristalinas a hipohialinas (Fotos 70 a 75).

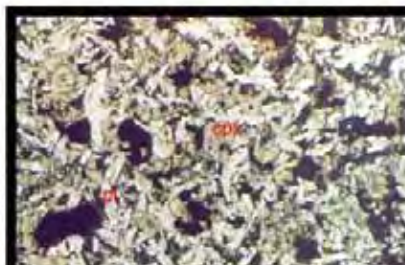


Foto 60 - Fotomicrografia (x2,5) de basalto (amostra P1) da cava 1 (CV1) da Pedreira da RFFSA (Parque Ecológico Baguaçu), onde se observa cristais de plagioclásio (pl) e cristais de clinopiroxênio ocorrendo intersticialmente.



Foto 61 - Fotomicrografia (x2,5), a nicóis cruzados, da amostra P1 (foto acima).

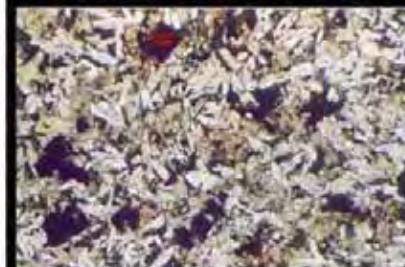


Foto 62 - Fotomicrografia (x2,5), de basalto (amostra P1) da cava 01(CV1) da Pedreira da RFFSA (Parque Ecológico Baguaçu) onde se observa textura intergranular dada pela trama de plagioclásios (pl) e clinopiroxênios (cpx) intersticiais. Presença de cristais idiomórficos/subidiomórficos de minerais opacos (op).



Foto 63 - Fotomicrografias (x2,5), a nicóis cruzados, da amostra P1(foto acima).

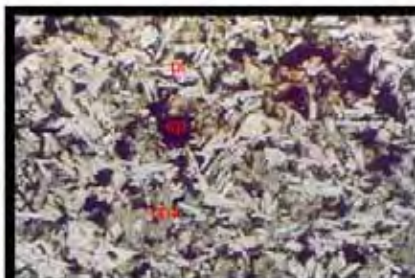


Foto 64 - Fotomicrografia (x2,5) de basalto (amostra P2) da cava (CV1) da Pedreira da RFFSA (Av. dos Araças) onde se observa estrutura de fluxo dada pela orientação dos cristais de plagioclásio (pl). Clinopixênios (cpx) ocorrem intersticialmente.



Foto 65 - Fotomicrografia (x2,5), a nicóis cruzados, da amostra P2 (foto acima- Foto 64).

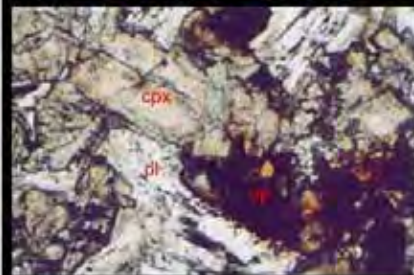


Foto 66 - Fotomicrografia (x10) da amostra P2, onde se observa cristais de clinopiroxênio (cpx) com bordas corroídas, plagioclásios (pl) geminados apresentado zoneamento. Cristais de opacos (op) ocorrem intersticialmente.



Foto 67 - Fotomicrografia (x1,0), a nicóis cruzados, da amostra P2 (foto acima - Foto 66).

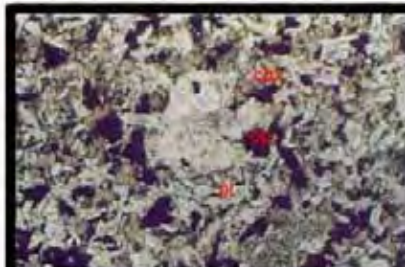


Foto 68 - Fotomicrografia (x2,5) de basalto amostra P3 da cava 2 (CV2) da Pedreira da RFFSA (Av. dos Araças), onde se observa a presença de clinopiroxênio (cpx) e opacos (op) intersticiais, cristais de plagioclásios (pl) parcialmente alterados.



Foto 69 - Fotomicrografia (x2,5) a nicos cruzados, da amostra P3 (foto acima - Foto 68).

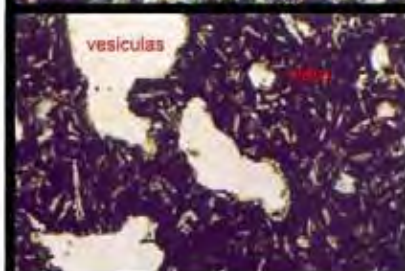


Foto 70 - Fotomicrografia (x2,5) de basalto vesicular/amigdaloidal (amostra P4) da cachoeirinha do leito Ribeirão Baguaçu (Parque Ecológico Baguaçu) onde se observa a matriz constituída predominantemente por material vítrico.



Foto 71 - Fotomicrografia (x2,5) a nicos cruzados, de amostra P4 (foto acima - Foto 70).

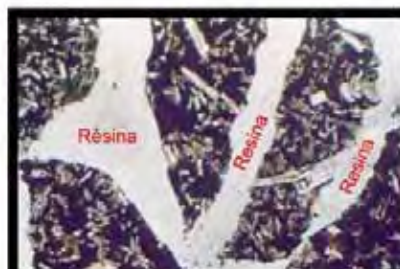


Foto 72 - Fotomicrografia (x2,5) de fragmentos da amostra de calha (PMA 34) do poço profundo - PMA, onde se observa microfenocristais de plagioclásio (pl), cristais de clinopiroxênio (cpx) intersticiais e material vítreo.



Foto 73 - Fotomicrografia (x2,5), a nicóis cruzados de amostra PMA34 (foto acima - Foto 72).



Foto 74 - Fotomicrografia (x2,5), a nicóis cruzados, de fragmentos de basalto (amostra PMA74) do poço profundo do PMA, representativo do intervalo de profundidade de 72 a 74 metros, onde se observa matriz constituída predominantemente por material vítreo, clinopiroxênios (cpx) intersticiais e plagioclásios (pl) tipo "canda de andorinha", típica de resfriamento rápido.

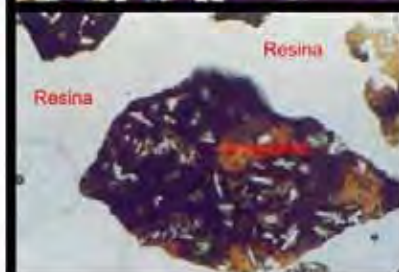


Foto 75 - Fotomicrografia (x2,5) de fragmento de basalto (amostra PMA108), a nicóis cruzados, onde se observa amígdalas, e matriz constituída por material vítreo.

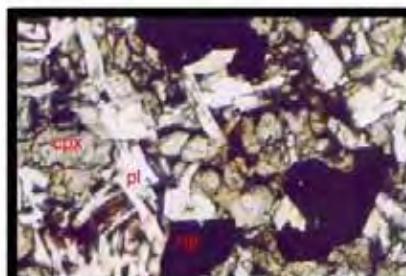


Foto 76 - Fotomicrografia (x10) de fragmentos de basalto (amostra de calha PMA164) do poço profundo do PMA, representativa do intervalo de profundidade de 162 a 164 metros, onde se observa plagioclásios (pl) geminados, clinopiroxênios (cpx) intersticiais e cristais poikiliticos de opacos (op).



Foto 77 - Fotomicrografia (x10), a nicóis cruzados, de amostra PMA164 (foto acima - Foto 76).

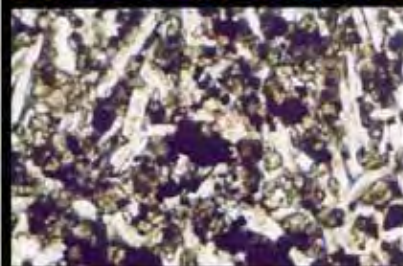


Foto 78 - Fotomicrografia (x2,5) de fragmentos de basalto (amostra PMA248) do poço profundo - PMA, representativa do intervalo de profundidade de 246 a 248 metros, onde se observa microfenocristais de plagioclásios (pl) zonados, com bordas corroídas. Cristais de clinopiroxênios (cpx) e de opacos (op) ocorreu intersticialmente.



Foto 79 - Fotomicrografia (x2,5), a nicóis cruzados, da amostra PMA248 (foto acima - Foto 78).

VIII – LITOQUÍMICA

8.1-Dados químicos das rochas estudadas

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises realizadas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia-DMP do Departamento do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE da UNESP-Campus de Rio Claro.

As análises de elementos maiores e traços foram feitas pelo método de fluorescência de raios-X (FRX). As análises dos elementos terras raras(ETR) foram feitas pelo método ICP-AES (Espectometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Acoplado Indutivamente).

As amostras escolhidas para análises químicas foram inspecionadas através de microscopia sendo evitadas, dentro do possível, aquelas que apresentavam estrutura amigdaloidal ou minerais de alteração (e.g. calcita, clorita, etc) por não representarem a composição química do magma original das quais tiveram origem.

	PMA34	PMA68	PMA74	PMA164	PMA206	PMA248	PMA314	PMA344	PMA390	PMA422	PMA454	PMA710	PMA774	PMA828	PMA904	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
SiO₂	50,30	52,01	52,05	50,85	48,83	50,72	50,10	51,08	50,37	50,44	49,76	54,38	50,01	51,49	50,07	50,35	51,35	51,23	50,19	50,40	52,01	50,07	50,45
TiO₂	2,03	2,06	1,77	1,88	1,95	1,95	3,56	3,14	3,01	3,23	2,57	2,81	3,66	3,74	3,12	2,41	2,35	2,36	2,69	2,51	2,33	2,43	2,32
Al₂O₃	12,91	12,68	12,95	13,26	12,73	13,25	12,72	13,09	12,89	12,46	13,40	12,93	12,68	12,22	12,55	13,16	12,94	13,06	13,18	13,45	12,84	13,02	13,23
Fe₂O₃	15,45	15,22	14,56	14,55	14,99	15,61	15,93	15,12	14,98	15,51	15,20	13,31	15,29	14,98	14,94	14,76	14,49	14,78	16,82	14,03	14,50	14,86	15,07
FeO	4,24	9,03	6,43	9,27	4,74	7,70	8,12	8,29	8,52	5,81	5,24	3,46	7,34	7,65	5,80	4,02	7,46	7,31	6,90	5,93	5,22	5,50	6,71
MnO	0,22	0,21	0,22	0,21	0,21	0,20	0,23	0,20	0,21	0,21	0,20	0,19	0,21	0,23	0,21	0,21	0,19	0,20	0,26	0,20	0,21	0,21	0,21
MgO	4,96	5,01	5,11	5,73	5,14	5,41	4,45	4,94	5,00	4,66	5,17	3,81	4,51	4,26	4,63	5,26	5,08	5,17	3,27	5,70	5,02	5,76	5,01
CaO	9,30	8,91	9,09	9,75	8,88	9,19	8,48	8,30	8,79	8,45	9,52	7,33	8,55	7,81	8,40	8,80	8,76	8,74	7,32	8,94	8,22	8,58	8,51
Na₂O	2,90	2,41	2,51	2,35	3,54	2,38	2,66	2,69	2,58	2,80	2,61	3,38	2,65	2,54	2,61	2,63	2,58	2,44	3,09	2,34	2,33	2,16	2,41
K₂O	0,60	0,99	1,05	0,67	1,25	1,01	1,18	0,87	1,26	0,78	0,51	1,46	0,95	1,60	1,15	1,45	1,40	1,37	1,49	1,27	1,45	1,38	2,07
Cr₂O₃	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
P₂O₅	0,30	0,26	0,27	0,23	0,24	0,22	0,52	0,34	0,36	0,35	0,27	0,33	0,49	0,61	0,47	0,31	0,32	0,32	0,44	0,32	0,31	0,31	0,31
LOI	1,00	0,23	0,41	0,45	2,25	0,05	0,17	0,20	0,56	1,07	0,78	0,37	0,98	0,50	1,81	0,65	0,53	0,14	1,24	1,05	0,76	1,20	0,53
SOMA	99,98	100,00	99,98	99,93	99,9	99,99	99,99	99,99	100,00	99,97	99,98	100,30	99,99	99,98	99,98	100,00	100,00	99,82	99,99	100,21	99,98	99,99	100,13
Q	9,75	13,02	11,89	10,81	3,31	10,52	10,92	11,74	9,84	11,48	10,02	12,62	11,42	12,96	11,07	8,34	10,21	10,68	10,59	9,42	12,64	10,15	8,17
Z	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04
Or	3,55	5,86	6,21	3,96	7,39	5,97	6,98	5,15	7,45	4,62	3,02	8,64	5,62	9,46	6,80	8,58	8,28	8,10	8,81	7,51	8,58	8,17	12,25
Ab	24,54	20,39	21,24	19,88	29,95	20,14	22,51	22,76	21,83	23,69	22,08	28,60	22,42	21,49	22,08	22,25	21,83	20,64	26,14	19,80	19,71	18,28	20,41
An	20,45	20,87	20,98	23,67	15,16	22,50	19,30	21,08	19,88	19,14	23,36	15,81	19,91	17,23	19,14	19,83	19,60	20,64	17,72	22,46	20,30	21,76	19,16
Di	13,75	11,97	13,36	13,68	16,71	12,25	6,24	6,10	9,22	7,95	10,96	7,36	5,89	4,33	7,44	11,18	11,22	10,34	5,74	9,29	8,76	8,73	10,79
Hy	5,98	6,93	6,54	7,93	5,06	7,80	8,19	9,48	8,18	7,92	7,80	6,08	8,51	8,60	8,09	7,92	7,45	8,09	5,48	9,89	8,44	10,30	7,48
Cm	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03
Hm	15,45	15,22	14,56	14,55	14,99	15,61	15,93	15,12	14,98	15,51	15,20	13,31	15,29	14,98	14,94	14,76	14,49	14,78	16,82	14,03	14,50	14,86	15,07
Ilm	0,46	0,44	0,46	0,44	0,44	0,42	0,48	0,42	0,44	0,44	0,42	0,40	0,45	0,48	0,44	0,44	0,39	0,42	0,55	0,42	0,44	0,44	0,44
Tn	4,38	4,49	3,75	4,05	4,22	4,25	8,11	7,16	6,82	7,36	5,77	6,39	8,41	8,56	7,09	5,35	5,26	5,25	5,88	5,62	5,15	5,39	5,12
Ap	0,71	0,62	0,64	0,55	0,57	0,52	1,12	0,81	0,85	0,83	0,64	0,78	1,16	1,45	1,11	0,74	0,76	0,76	1,04	0,76	0,73	0,73	0,73
Cr	122	141	148	171	130	151	99	102	168	129	132	129	92	102	115	161	163	140	127	128	136	121	128
Ni	46	46	49	58	47	46	31	55	54	39	45	39	61	40	34	53	55	51	48	50	50	57	51
Rb	8	18	6	2	15	8	5	9	10	18	6	16	2	15	17	6	16	17	5	30	27	36	29
Sr	421	284	323	308	313	277	406	309	395	418	415	283	492	453	408	271	254	266	271	250	238	244	249
Nb	15	13	16	13	20	14	22	21	14	27	19	11	25	22	23	23	17	21	16	9	17	24	14
Zr	155	152	141	145	142	146	220	198	203	208	158	199	253	270	213	178	190	180	222	193	178	186	176
Y	37	34	31	27	23	31	43	35	33	26	30	37	32	47	34	42	32	41	71	48	37	37	44
Ba	368	287	337	257	346	336	414	498	402	331	318	369	520	571	497	435	415	450	732	521	416	547	459
La	17,50				16,70		28,30				19,50	22,10	29,30		33,40	21,90							
Ce	40,80				37,50		65,80				43,60	49,80	68,80		77,30	51,90							
Nd	20,10				19,30		33,40				22,70	26,90	36,50		40,70	25,00							
Sm	4,80				4,70		7,40				5,30	6,30	8,20		8,90	5,90							
Eu	1,50				1,50		2,20				1,70	1,90	2,30		2,60	1,80							
Gd	5,00				4,90		7,20				5,40	6,20	7,40		8,30	6,10							
Dy	5,70				4,30		6,10				4,40	5,60	5,90		6,30	5,80							
Er	3,90				2,70		3,30				2,60	3,10	3,00		3,30	3,40							
Yb	3,40				2,40		2,90				2,10	2,80	2,50		2,70	3,10							
Lu	0,49				0,33		0,38				0,27	0,36	0,33		0,35	0,44							

Tabela 02 - Análises Químicas de elementos maiores, menores (% em peso), traços (ppm) e elementos terras raras (ppm) e composição normativa das amostras estudadas.

8.2 – Classificação e Nomenclatura das Rochas Estudadas

A classificação modal de Streckeisen (1980) para rochas vulcânicas afaníticas não é aplicável por não permitir a observação dos minerais que as constituem. Assim sendo, neste estudo, as rochas basálticas foram classificadas através de suas composições químicas.

8.2.1- Classificação com base no conteúdo em álcalis e sílica

Com base nos dados químicos apresentados na Tabela 2, as amostras estudadas foram classificadas segundo os diagramas propostos por De La Roche et al.(1980) e por Le Maitre (1989).

8.2.1.1- Classificação segundo De La Roche et al. (1980)

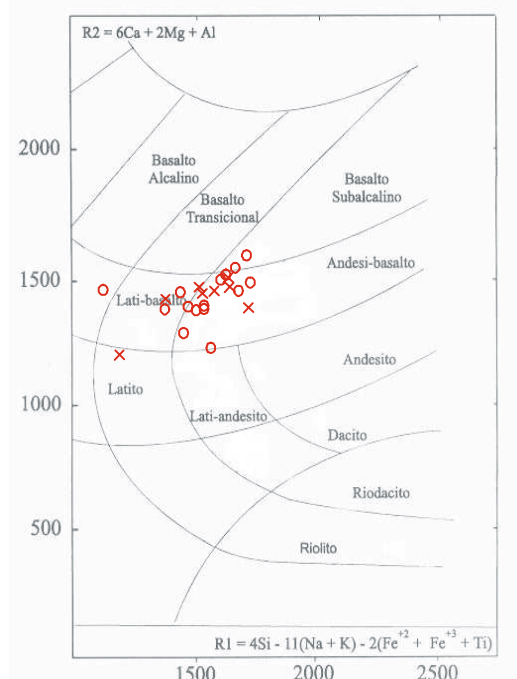
O presente trabalho utilizou a proposta de De La Roche et al. (1980) para a classificação e nomenclatura das rochas estudadas. Este diagrama, que emprega as variáveis R1 e R2 que estão baseadas na proporção molar (cátion x 1000) dos principais elementos formadores das rochas.

A Fig.08 mostra que a maioria das rochas estudadas está localizada no campo dos andesi-basaltos, enquanto que as demais, se distribuem nos campos dos basaltos subalcalinos (PMA164 e 454) e dos lati-basaltos (P8, PMA314 e 390). Entretanto, duas das amostras analisadas ocorrem no campo do latito (P4) e hawaiito (PMA206), ou seja no campo das rochas alcalinas. Porém, a mineralogia destas rochas não aponta nesta direção, e levando-se em consideração que elas apresentam os maiores valores de perda ao fogo em relação às demais rochas analisadas (1,24 e 2,25% respectivamente), deve-se considerar que suas composições químicas originais foram modificadas pela presença de minerais secundários tanto de alteração quanto de preenchimento de vesículas.

Fig. 08 – Diagrama R1 vs R2 com os teores das amostras estudadas.

○ Amostras do Poço Profundo-PMA

✕ Amostras das Pedreiras e Leito do Bagaçu



De La Roche et al. (1980)
e modificado por Bellieni et al. (1985b)

8.2.1.2 - Segundo Le Maitre (1989)

O diagrama (Fig. 09) álcalis x sílica (Le Maitre, 1989) mostra que as amostras das pedreiras, leito do Rio Bagaçu e do poço estão distribuídas no campo dos basaltos e que apenas a amostra PMA710 do poço está localizada no campo andesito basáltico.

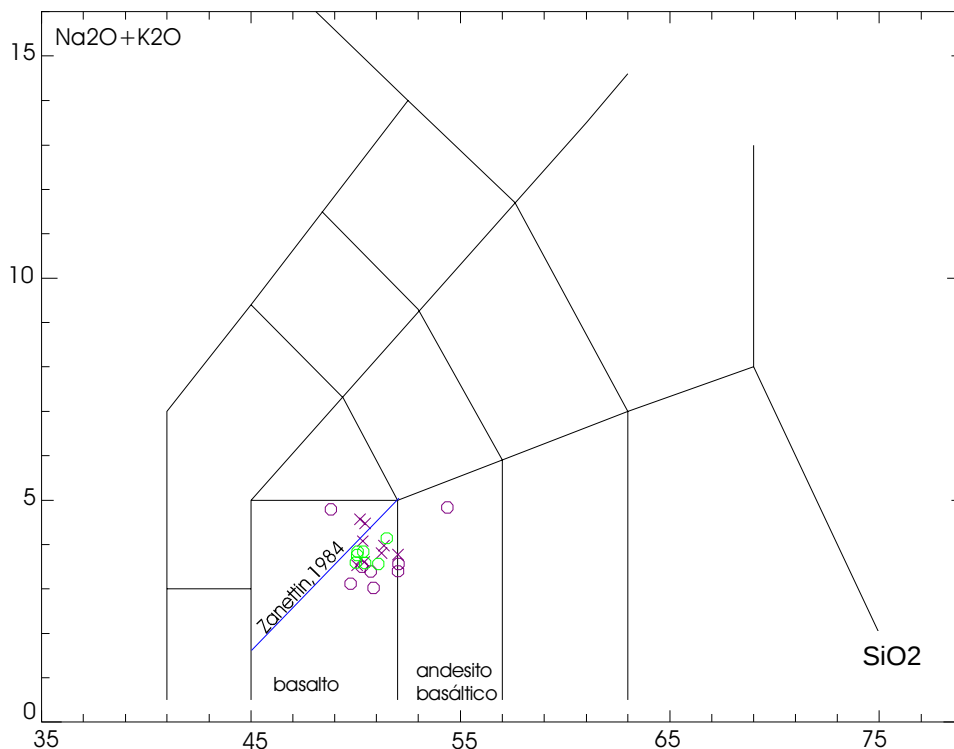


Fig. 09 – Diagrama Álcis x Sílica (Le Maitre, 1989): Distribuição das amostras estudadas (pedreiras (x) e poço profundo-PMA (o)). A linha azul separa os campos alcalino e subalcalino (Zanettin, 1984). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga.

8.2.2 – Conteúdo em álcalis, ferro total e magnésio - Diagrama AFM

O diagrama AFM representa o conteúdo (percentagem em peso) na forma dos óxidos : A ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), F (ferro total) e M (MgO).

A aplicação do diagrama AFM (Fig.10) e da divisão dos campos toleítico e cálcio-alcalino (Irvine & Baragar, 1971) revela o caráter toleítico das rochas estudadas.

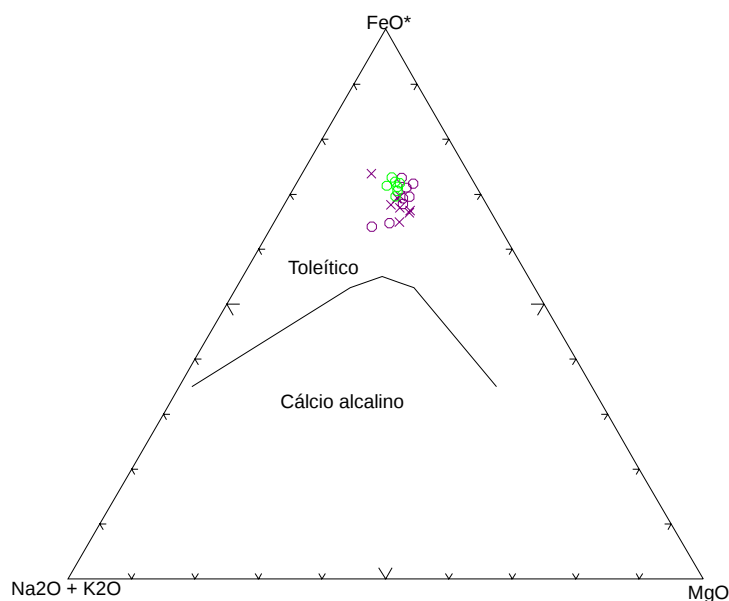


Fig. 10 – Diagrama AFM (Irvine & Baragar (1971)). Distribuição das amostras estudadas (poço-PMA (o)), das pedreiras e do Ribeirão Bagaçu (x)). Os símbolos em roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga.

8.3 - Comportamento Geoquímico

8.3.1 - Diagramas de Variação

8.3.1.1- Elementos maiores e traços

O conteúdo de MgO, indicativo de diferenciação magmática, mostra que a maioria das amostras concentram-se em um pequeno intervalo de variação, que vai de 4,45% a 5,76%(em peso), entretanto as amostras PMA710 e P4, apresentam 3,81% e 3,27% de MgO, respectivamente. Os diagramas de variação (Figs 11 e 12) demonstram um aumento nos teores de SiO₂, Na₂O, K₂O, Al₂O₃, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, P₂O₅, Sr, Zr, Nb, Y e decréscimos de CaO, FeO, Cr, Ni, à medida que o MgO diminui.

O comportamento do SiO₂ (Figs 11 e 12) é caracterizado por exibir uma certa dispersão e leve correlação negativa com o MgO. As rochas estudadas apresentam SiO₂ < 52,05%, com exceção da amostra PMA710 (54,38% de SiO₂).

No diagrama $\text{MgO} \times \text{P}_2\text{O}_5$, com a diminuição do MgO , verifica-se um aumento do P_2O_5 e um *trend* bem definido nas amostras com $\text{TiO}_2 > 3,01\%$, enquanto nas amostras com $\text{TiO}_2 < 2,81\%$ a tendência é menos acentuada e maior a dispersão dos pontos. Quanto às concentrações em P_2O_5 , aquelas do primeiro grupo variam entre 0,22 e 0,32% e as do segundo, entre 0,34 e 0,61%.

Na Fig 12, de maneira geral, verifica-se um decréscimo do Cr com a diminuição do MgO , sendo que nas amostras com maiores concentrações de $\text{TiO}_2 (> 3,01\%)$ prevalecem os menores teores de Cr ($99\text{ppm} < \text{Cr} < 129\text{ppm}$), com exceção da amostra 390 ($\text{MgO}=5\%$ e $\text{Cr}=168\text{ppm}$). Já as amostras com concentrações em $\text{TiO}_2 < 2,81\%$ apresentam maiores teores de MgO e as concentrações de Cr são mais elevadas sendo a maior delas aquela encontrada na amostra 164 ($\text{MgO}=5,73\%$, $\text{Cr}=171\text{ppm}$). As maiores dispersões são observadas nas amostras P4,P5,P7 e PMA710.

Quando se analisa o comportamento TiO_2 observa-se que as amostras com maiores teores de elementos incompatíveis correspondem àquelas com $\text{TiO}_2 > 2,32\%$. Verifica-se também, acréscimos nas concentrações de P_2O_5 , Sr, Zr, Y, La, Ce, Nd, Sm, Eu e Gd e diminuição do Yb e Lu, com o aumento do TiO_2 .

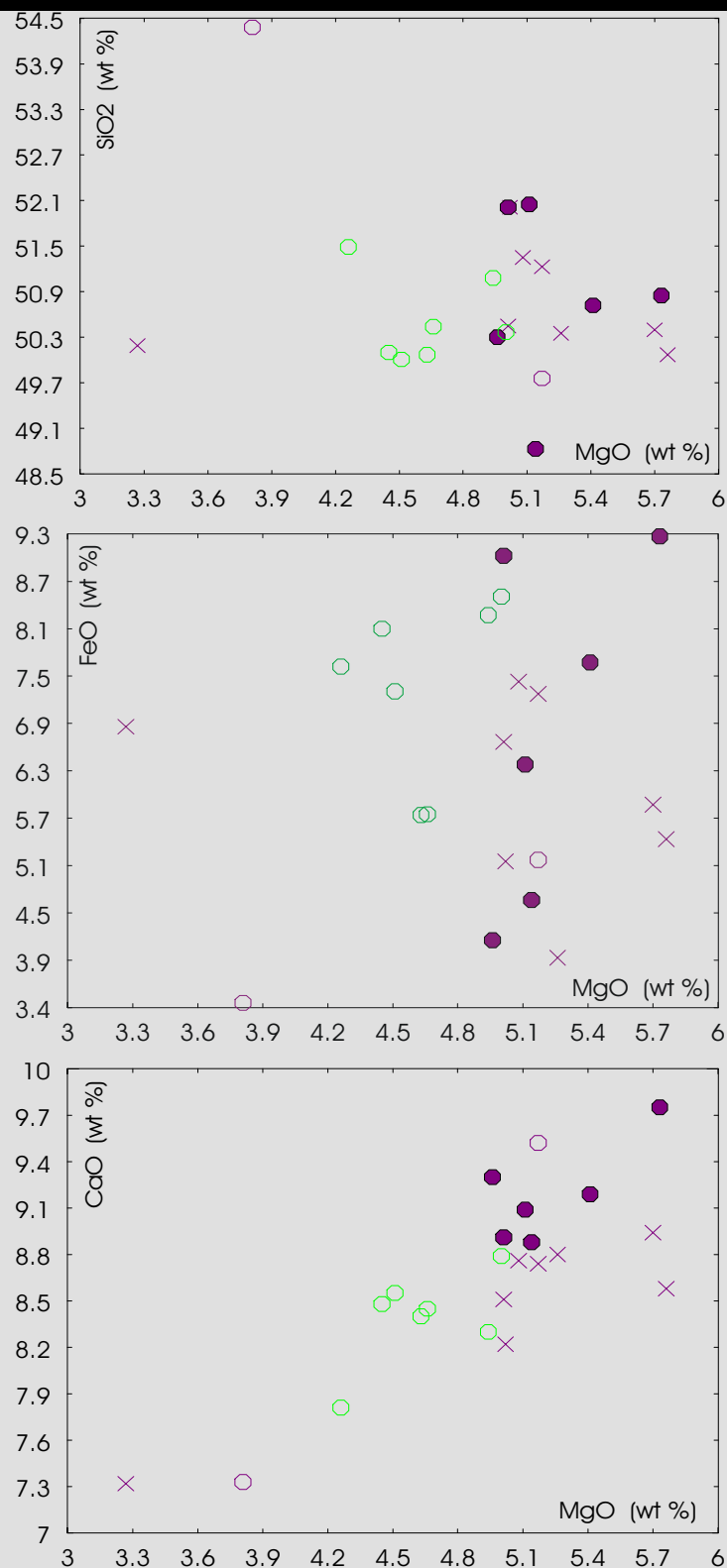


Fig.11A – Diagramas de variação de elementos maiores e menores(%) em função de MgO(%) das amostras do poço(o) e das pedreiras e Ribeirão Baguaçu (x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de TiO₂ < 2.03% e TiO₂ > 2.06%, respectivamente.

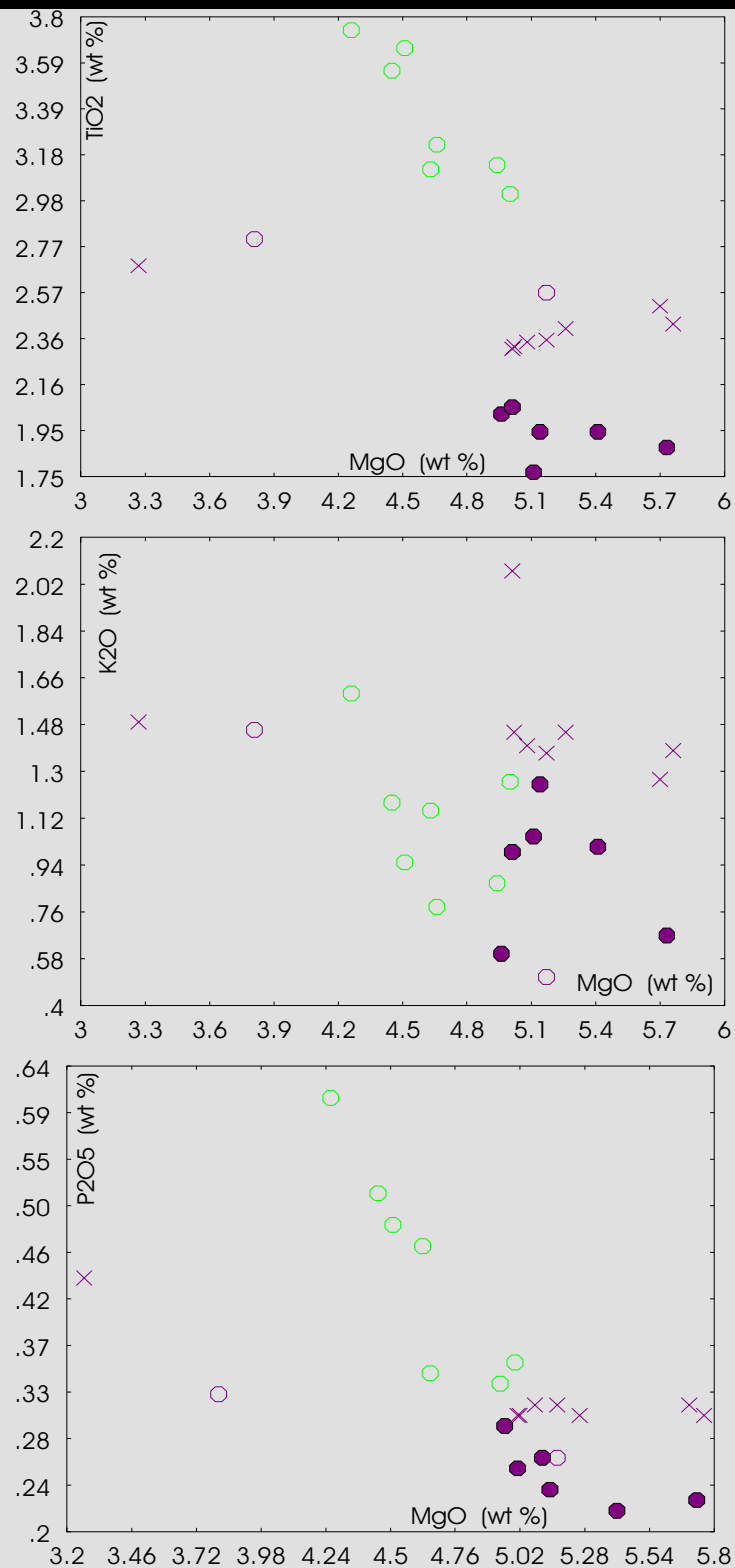


Fig.11B – Diagramas de variação de elementos maiores e menores(%) em função de MgO(%) das amostras do poço(o) e das pedreiras e Ribeirão Bagaçu (x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de TiO₂ < 2.03% e TiO₂ > 2.06%, respectivamente.

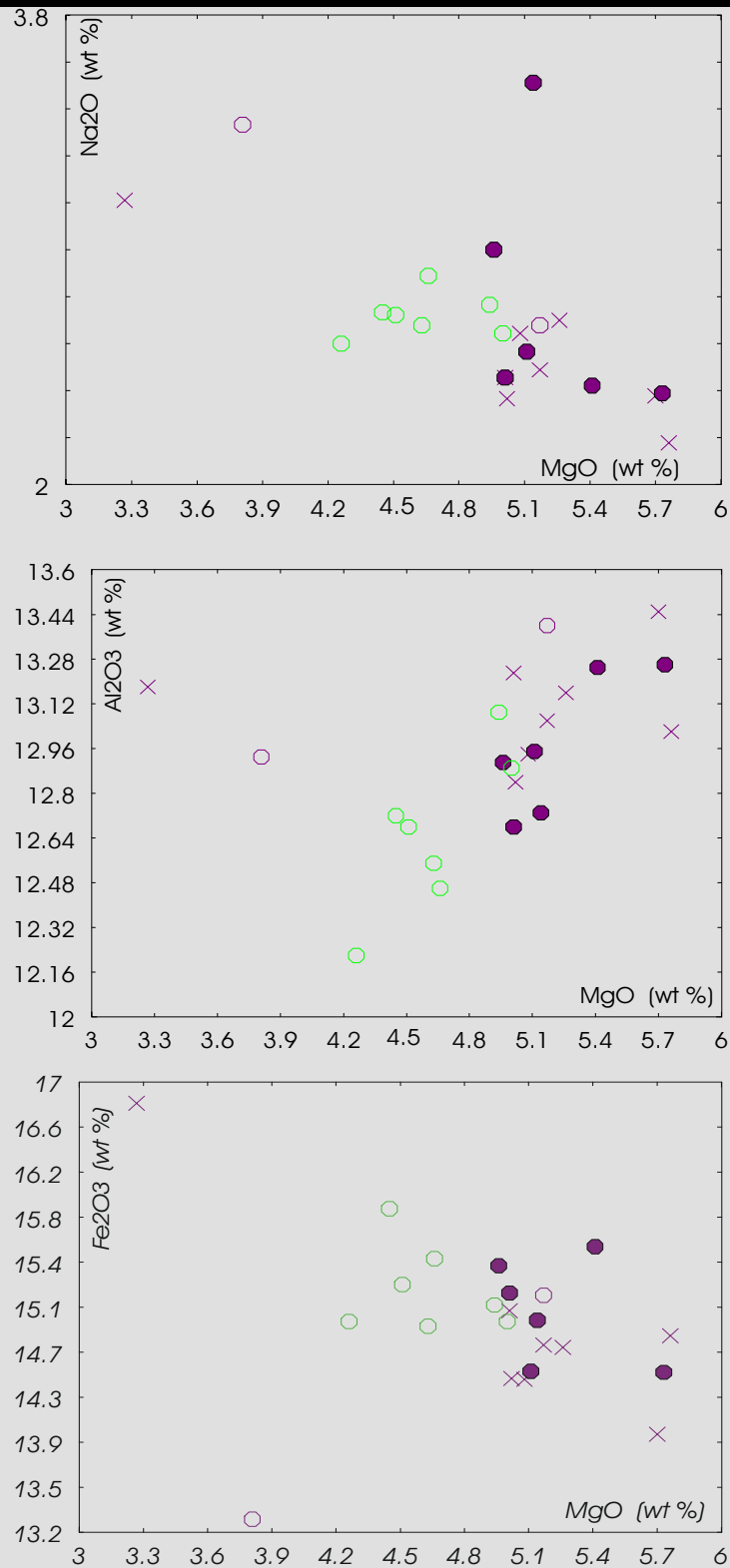


Fig.11C – Diagramas de variação de elementos maiores e menores(%) em função de MgO(%) das amostras do poço(o) e das pedreiras e Ribeirão Bagaçu (x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

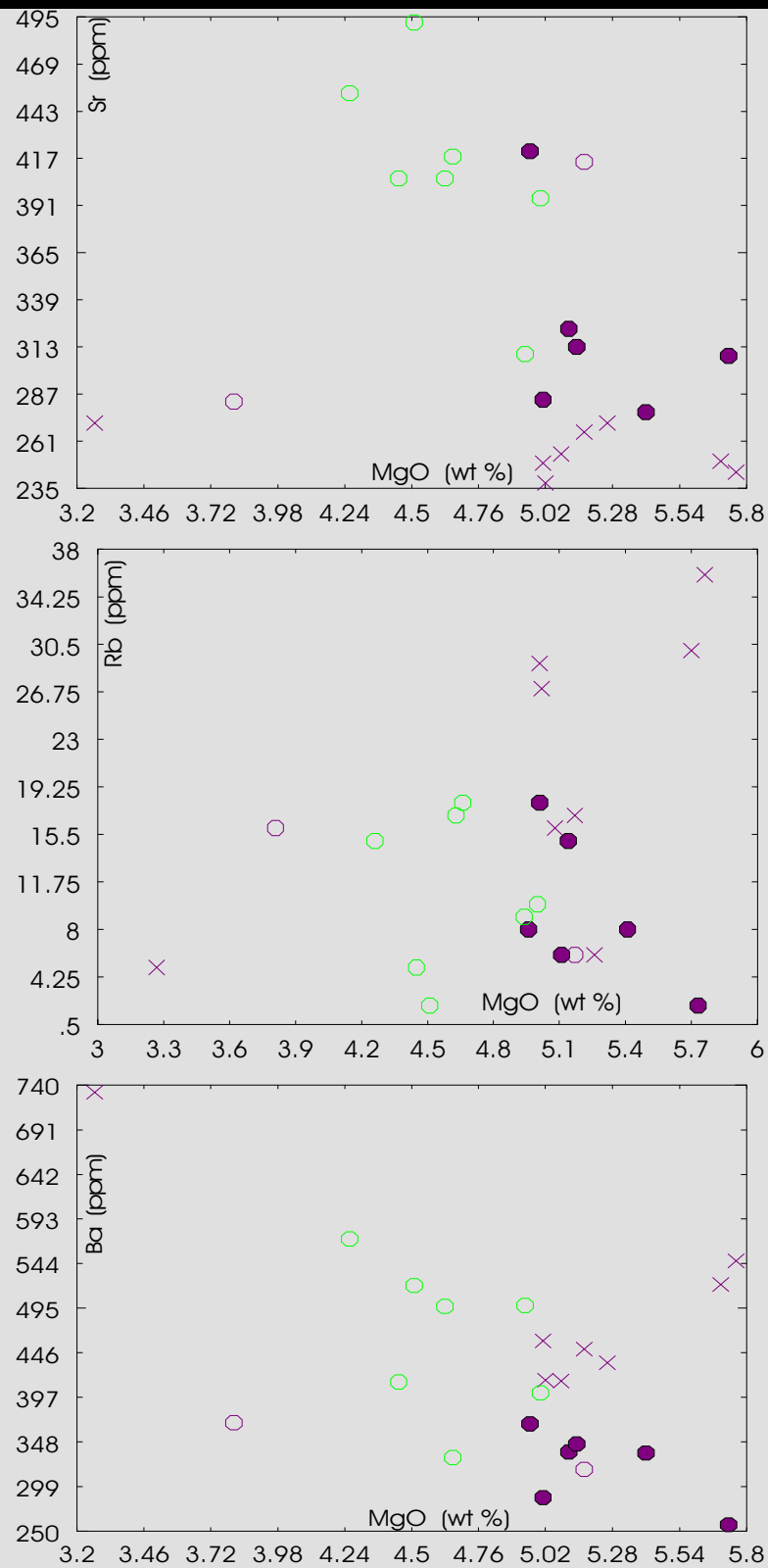


Fig.12A – Diagramas de variação de elementos traços(ppm) em função de MgO(%), em amostras do poço(o) e das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu(x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $TiO_2 < 2.03\%$ e $TiO_2 > 2.06\%$, respectivamente.

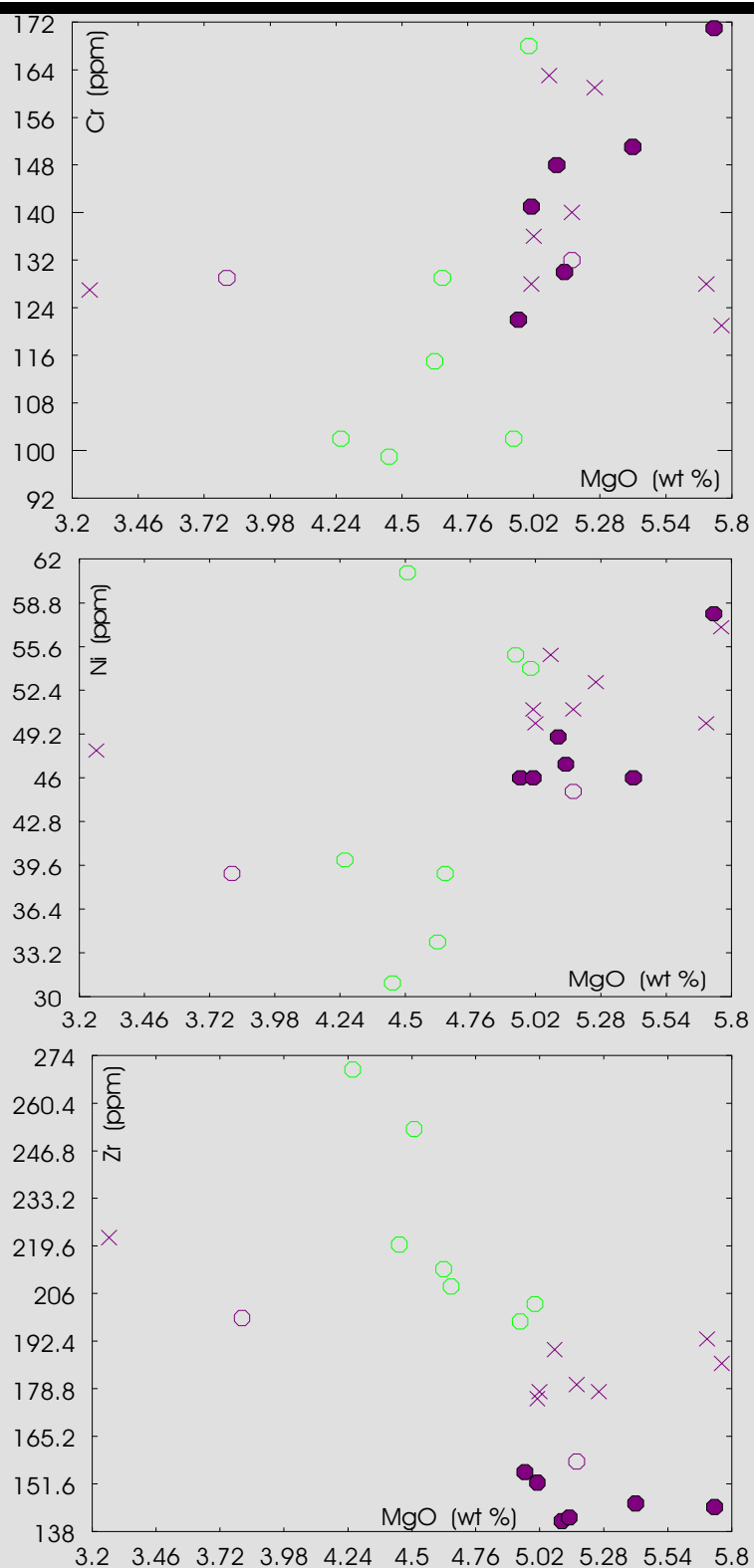


Fig.12B – Diagramas de variação de elementos traços(ppm) em função de MgO (%), em amostras do poço (o) e das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu (x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

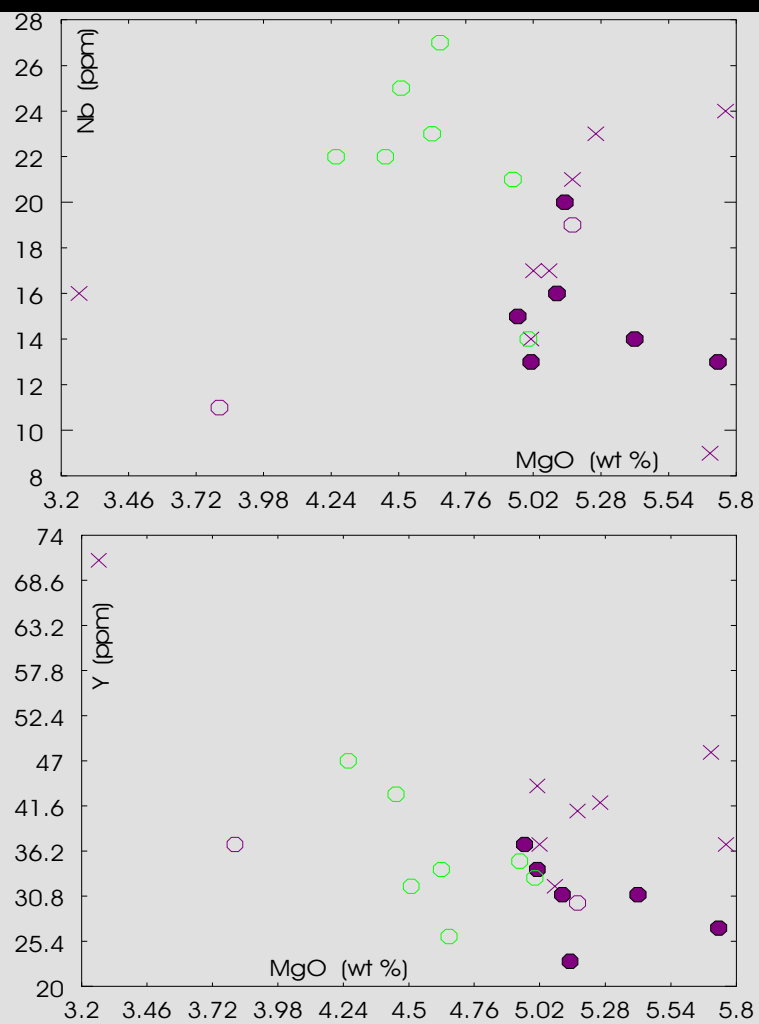


Fig.12C – Diagramas de variação de elementos traços (ppm) em função de MgO (%), em amostras do poço (o) e das pedreiras e do Ribeirão Bagaçu (x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de TiO₂ < 2.03% e TiO₂ > 2.06%, respectivamente.

8.3.1.2 – Elementos Terras Raras

Os resultados das análises químicas de ETR revelam concentrações superiores de elementos terras raras leves em relação às pesadas. As concentrações de La, Ce e Nd, variam de 16,7 a 33,4 ppm; de 37,5 a 77,3 ppm e; de 19,3 a 40,7 ppm; respectivamente. Os ETRs pesados apresentam variações para Dy de 4,3 a 6,3 ppm, para Er de 2,6 a 3,9 ppm, para Yb de 2,1 a 3,4 ppm e, para Lu de 0,27 a 0,49 ppm. As variações nas concentrações das ETRs intermediárias são de 4,7 a 8,9 ppm para Sm; de 1,5 a 2,6 ppm para Eu e; de 4,9 a 8,3 para Gd.

Os padrões de abundância dos elementos terras raras, normalizados em relação aos condritos (Boynnton,1984), das amostras do Poço-PMA e das pedreiras, representados na Fig. 13, demonstram um enriquecimento de terras raras leves dos derrames com $\text{TiO}_2 > 3,01$ quando comparados aos derrames com $\text{TiO}_2 < 2,81$.

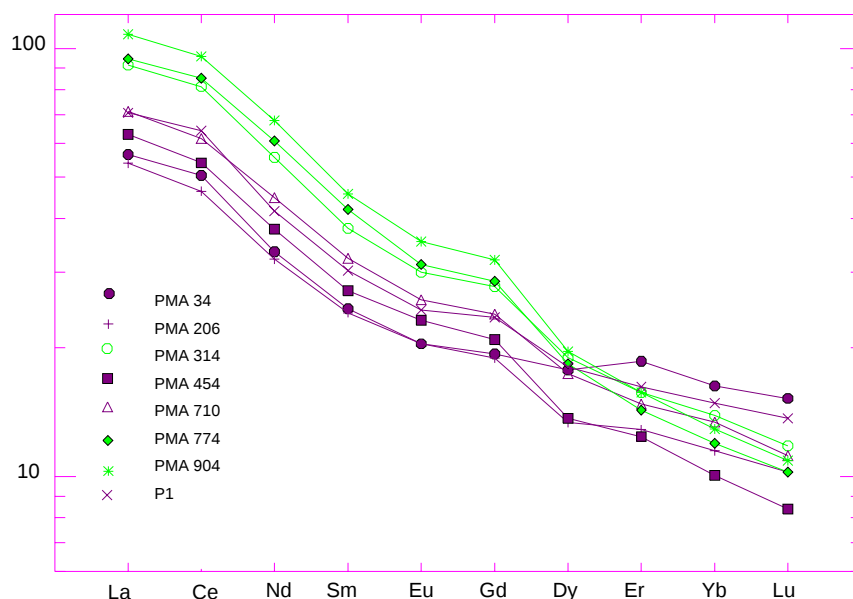


Fig. 13- Padrões de abundância dos elementos terras raras, normalizados em relação aos condritos (Boynnton,1984), das amostras do poço, das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu. Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga.

De maneira geral, as concentrações dos ETRs leves e intermediárias aumentam com a profundidade (Fig.15), particularmente nos intervalos de 772 a 774 m e de 902 a 904 m. Ocorre também, um aumento acentuado nas

concentrações dessas terras raras nos intervalos de 204 a 206 e de 312 a 314 metros. A amostra P1, representativa das rochas das pedreiras, apresenta concentrações mais elevadas em relação aos intervalos de 32 a 34, de 204 a 206 e de 452 a 454 metros.

A concentração de terras raras pesadas, de maneira geral, diminui com o aumento da profundidade. As maiores concentrações são encontradas nas amostras da pedreira (P1) e na representativa do intervalo de 32 a 34 metros. O intervalo 312 a 314 apresenta concentrações mais elevadas que aquelas encontradas a maiores profundidades

De maneira geral, os diagramas de variação (Fig.14) mostram elevação nas concentrações de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb e queda do Lu com o decréscimo do MgO, bem como um enriquecimento de terras raras leves em relação às pesadas com o aumento dos teores de TiO_2 .

Com o aumento da profundidade verifica-se um aumento nas concentrações dos elementos traços incompatíveis : P_2O_5 , Sr, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er e Yb, com exceção do Lu que praticamente não varia com a profundidade e da amostra PMA34 que apresenta os maiores teores em Dy, Er, Yb e Lu.

Verifica-se (Tab.3) um acentuado enriquecimento de ETR leves no caso das rochas com TiO_2 mais alto em relação àquelas com concentrações mais baixas com a profundidade (Fig.16). A amostra PMA904 apresenta La/Lu de 9,9 enquanto na amostra PMA34 a razão La/Lu é de 3,7. A razão La/Lu de 6,4 da amostra PMA710 mostra um leve enriquecimento de ETR leves, provavelmente, devido a um maior grau de diferenciação.

O comportamento das terras raras pesadas (Fig.16) difere das leves, a razão Lu/Gd diminui com a profundidade e é maior nas rochas com menores concentrações em TiO_2 (PMA34 ~ 1,6). A amostra PMA904 apresenta razão Lu/Gd de 0,66.

As razões Eu/Eu* revelam anomalias negativas de Eu e aumento da razão Eu /Eu* nos intervalos de 204 a 206 e de 452 a 454 metros. As maiores anomalias negativas de Eu são encontradas nas amostras com maiores concentrações em TiO_2 (Fig.16). A amostra PMA774 mostra uma significativa anomalia negativa de Eu/Eu*(~ 0,88), que se deve, provavelmente, a um maior grau de diferenciação.

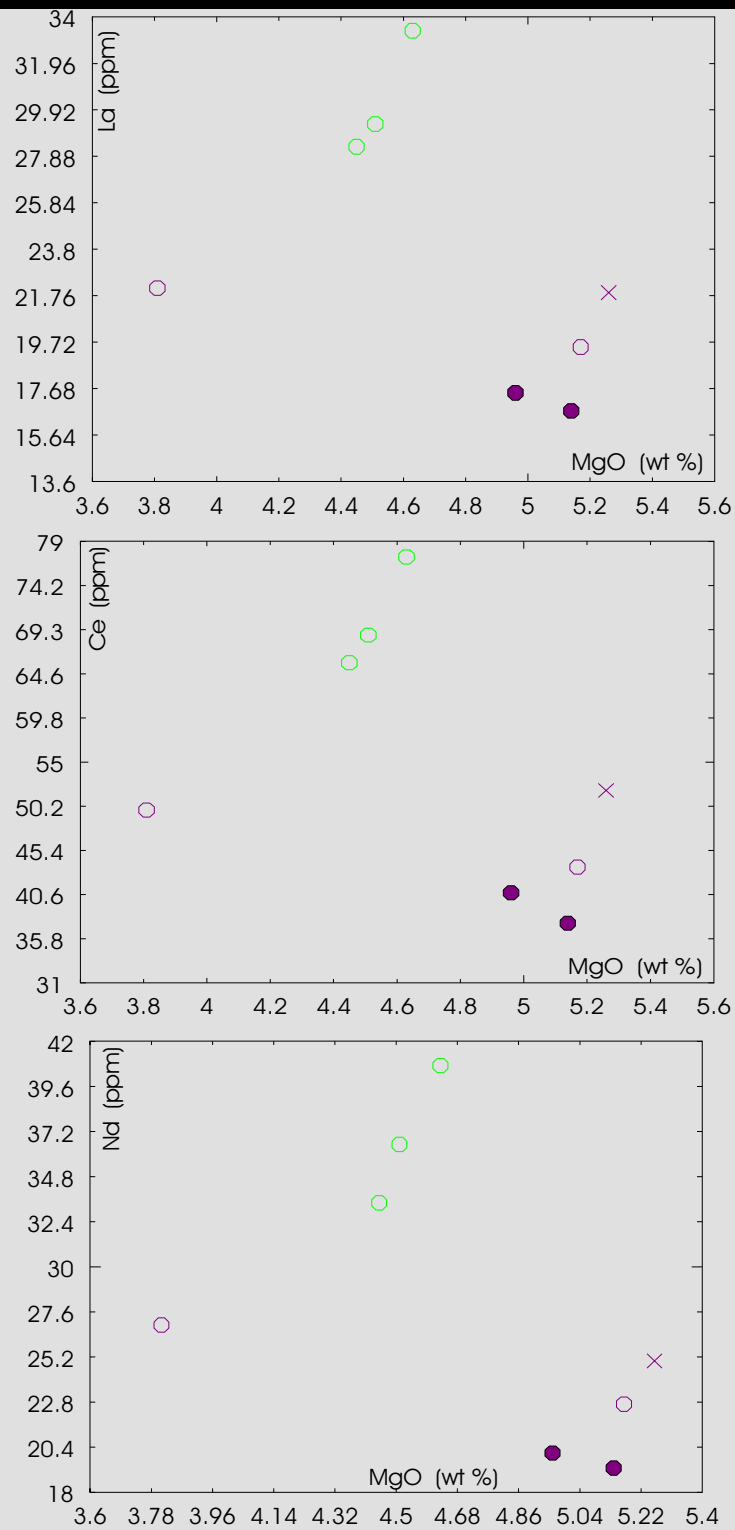


Fig. 14A - Diagramas de variação de elementos terras raras(ppm) em função de MgO(%) das amostras do poço(O), das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu (x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

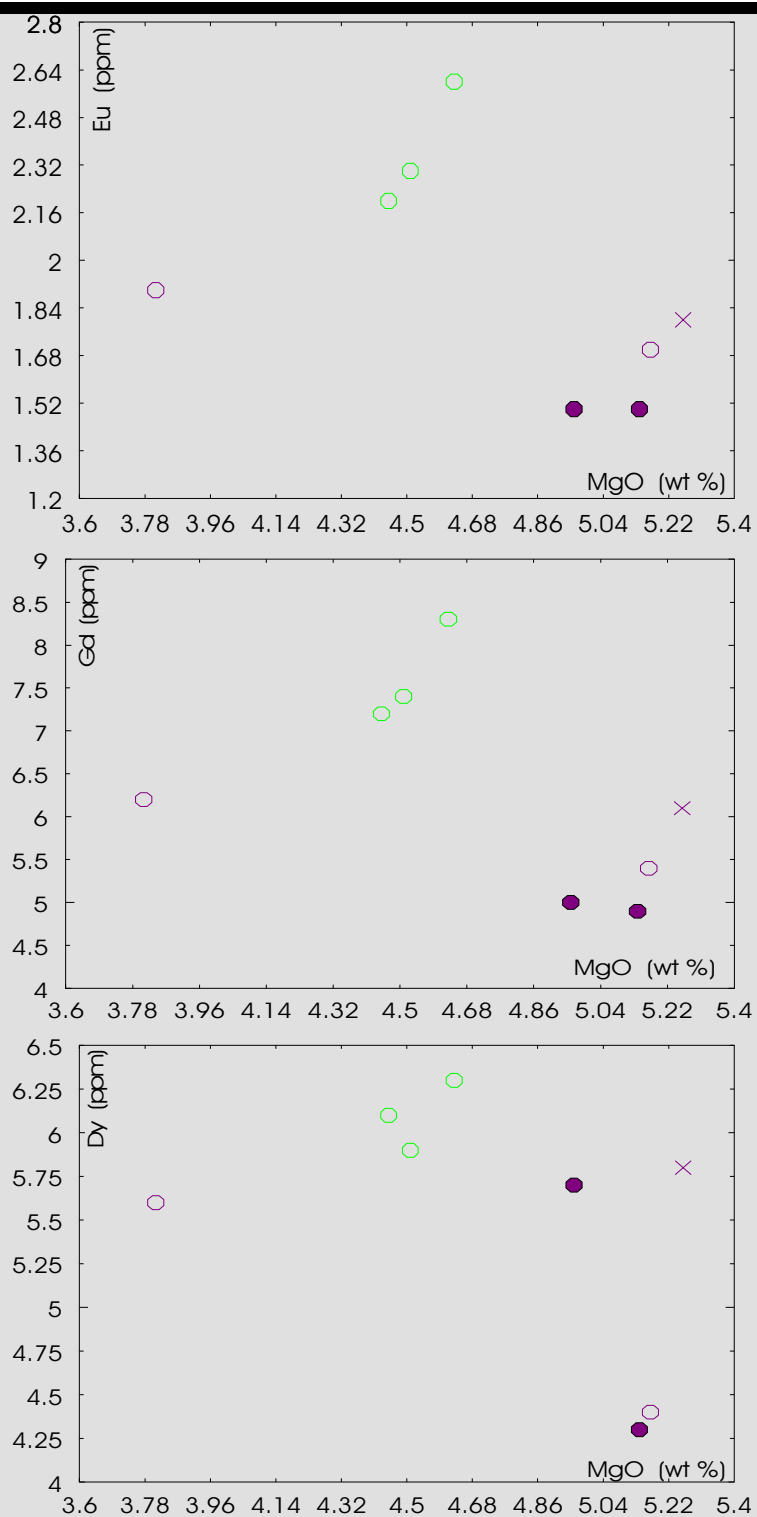


Fig. 14B - Diagramas de variação de elementos terras raras(ppm) em função de $\text{MgO}(\%)$ das amostras do poço(O), das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu (x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

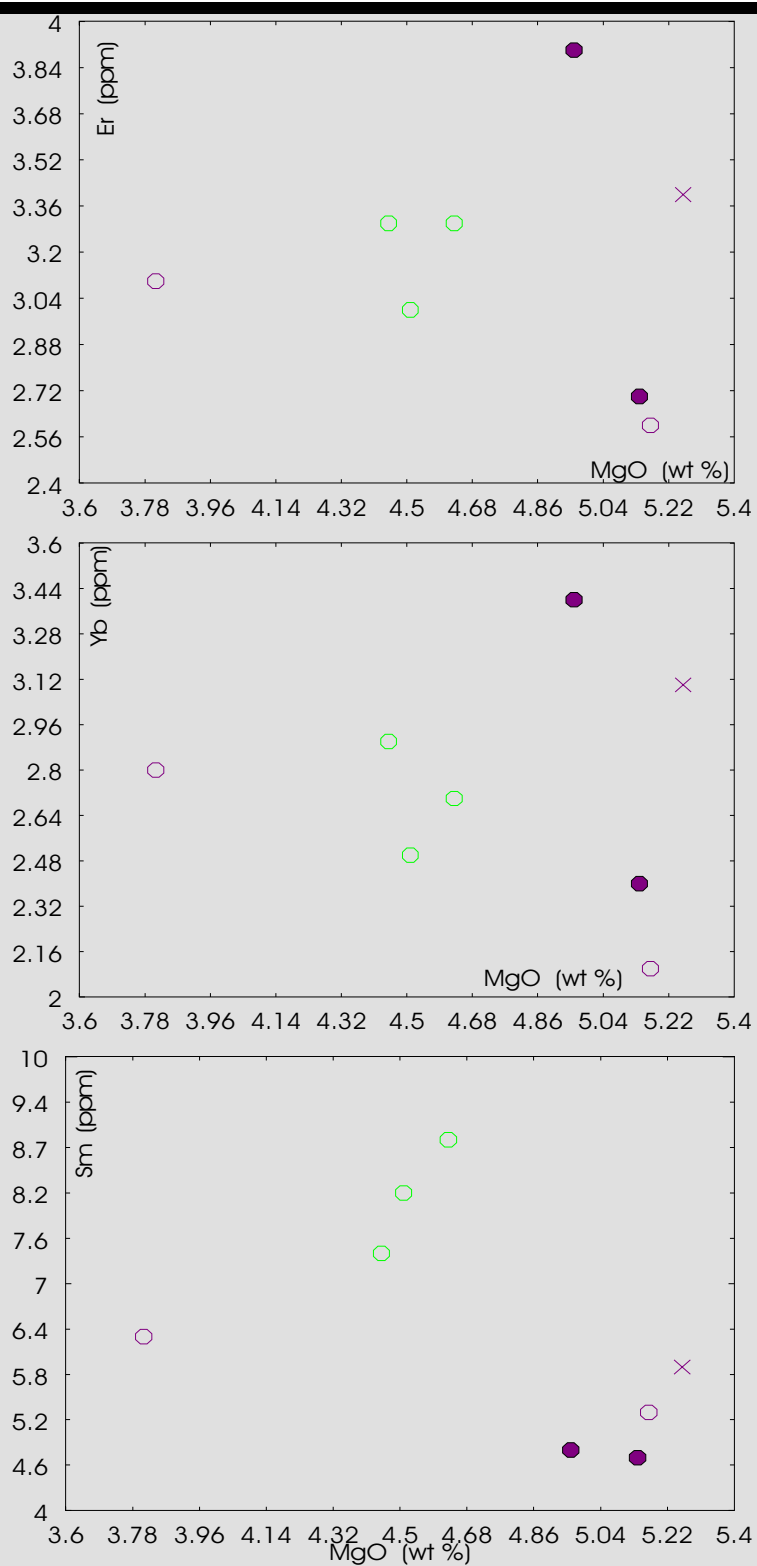


Fig. 14C - Diagramas de variação de elementos terras raras(ppm) em função de MgO(%) das amostras do poço(O), das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu (x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

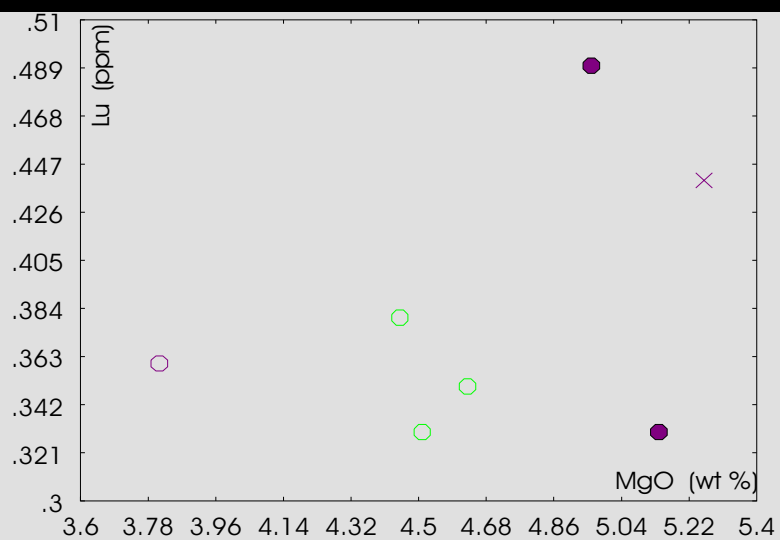


Fig. 14D - Diagramas de variação de elementos terras raras(ppm) em função de MgO(%) das amostras do poço(O), das pedreiras e do Ribeirão Baguaçu (x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de TiO₂ < 2.03% e TiO₂ > 2.06%, respectivamente.

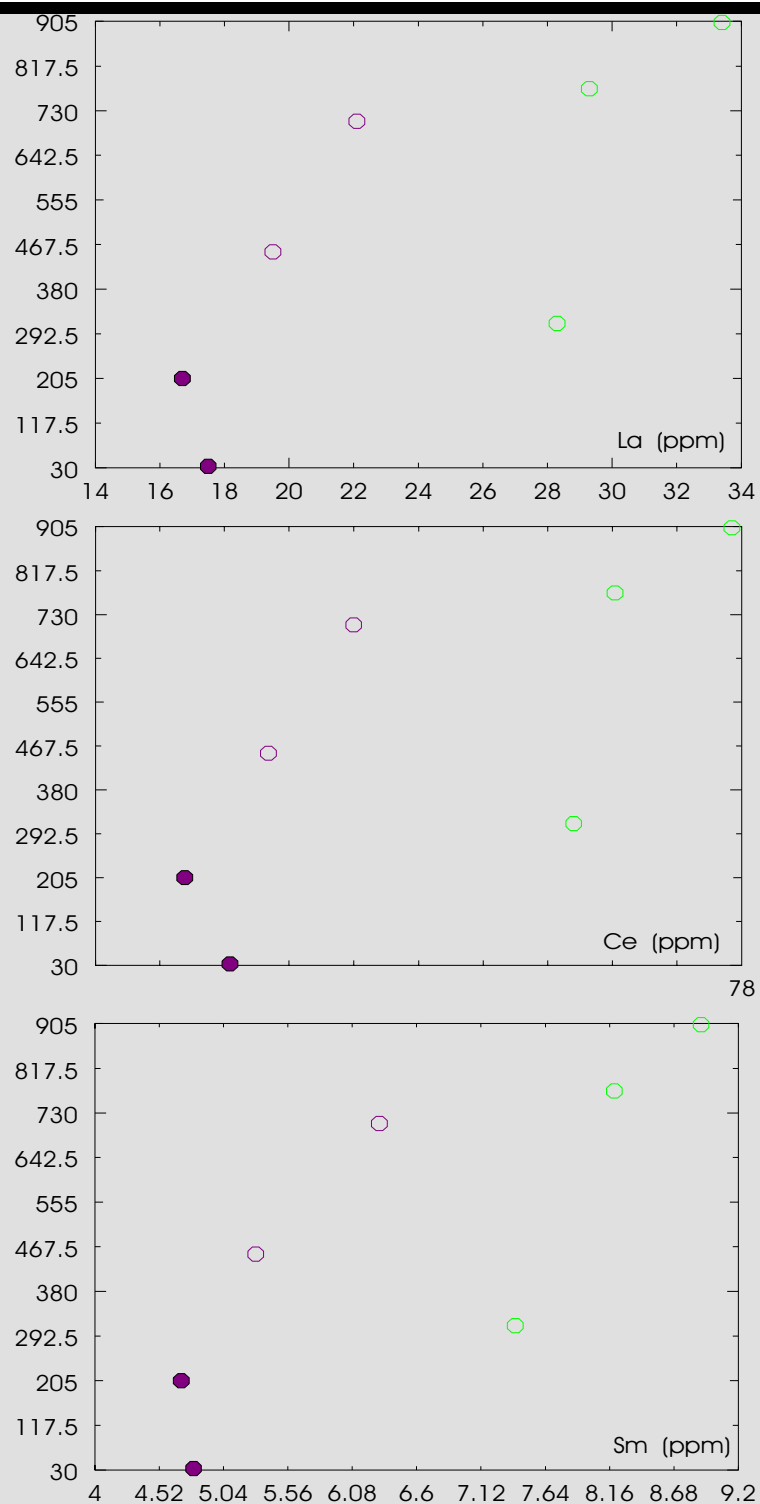


Fig. 15A- Variação das concentrações de elementos terras raras(ppm)das amostras do poço(o) com a profundidade(m).Símbolos roxo e verde representam, respectivamente os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

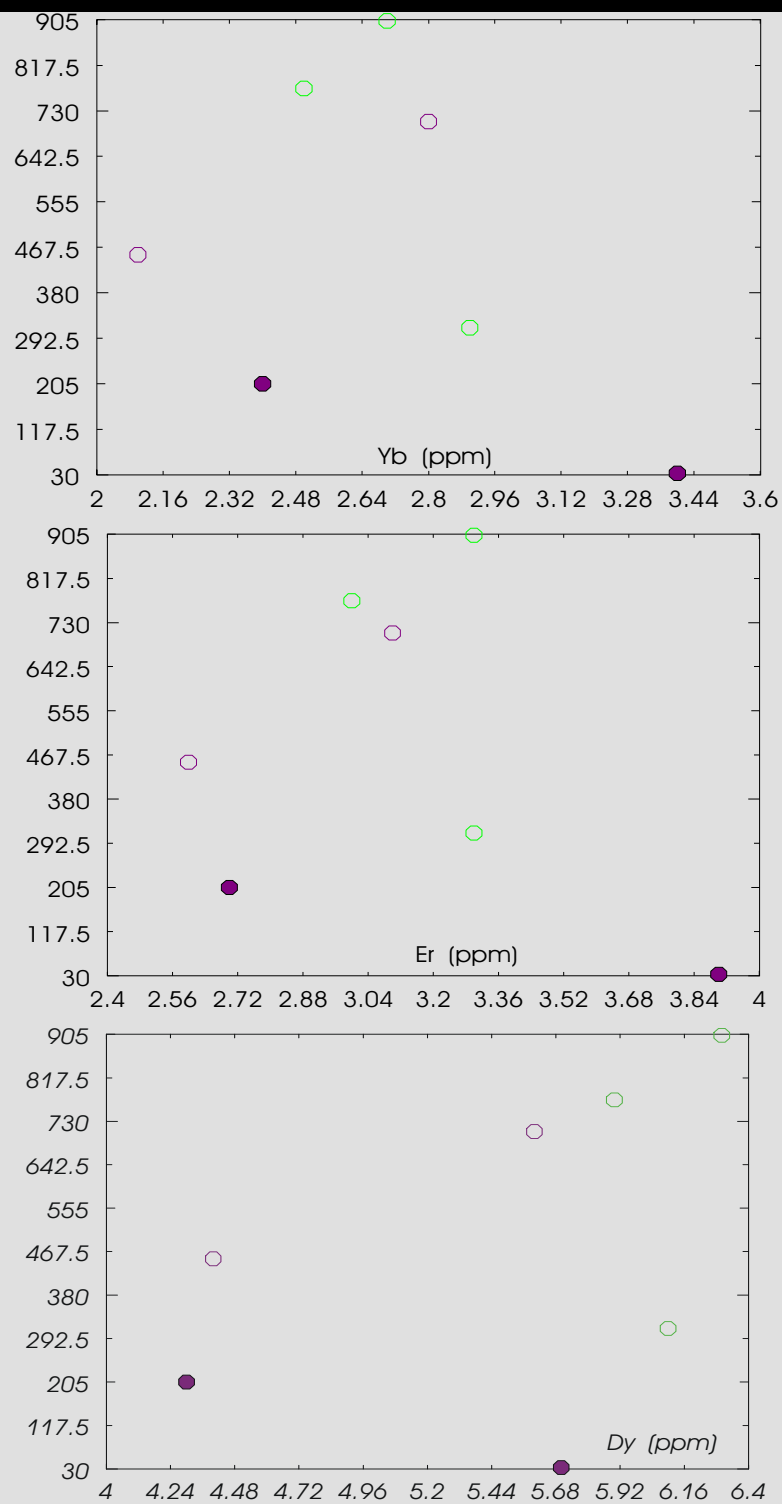


Fig. 15B- Variação das concentrações de elementos terras raras(ppm)das amostras do poço(o) com a profundidade(m).Símbolos roxo e verde representam, respectivamente os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $TiO_2 < 2.03\%$ e $TiO_2 > 2.06\%$, respectivamente.

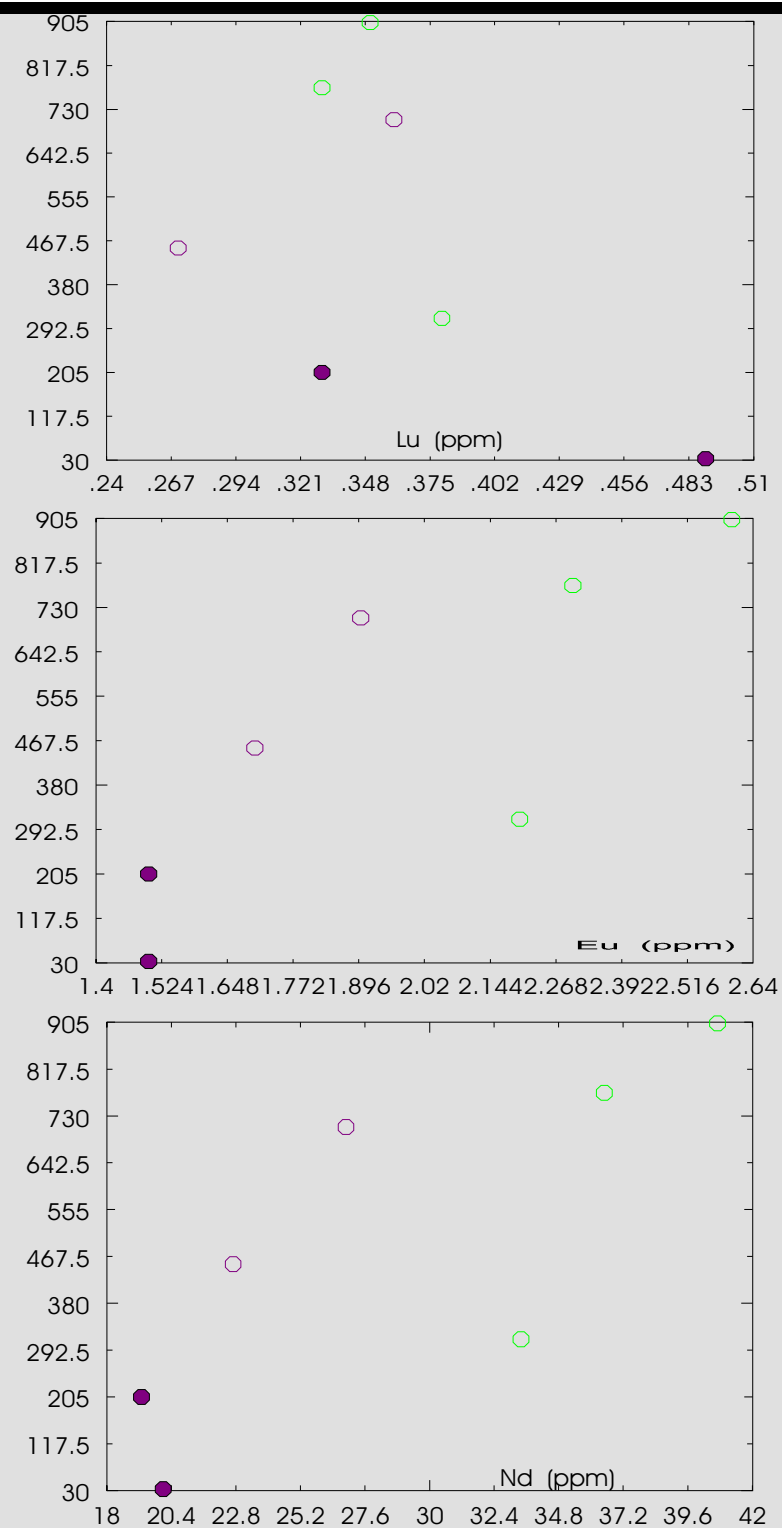
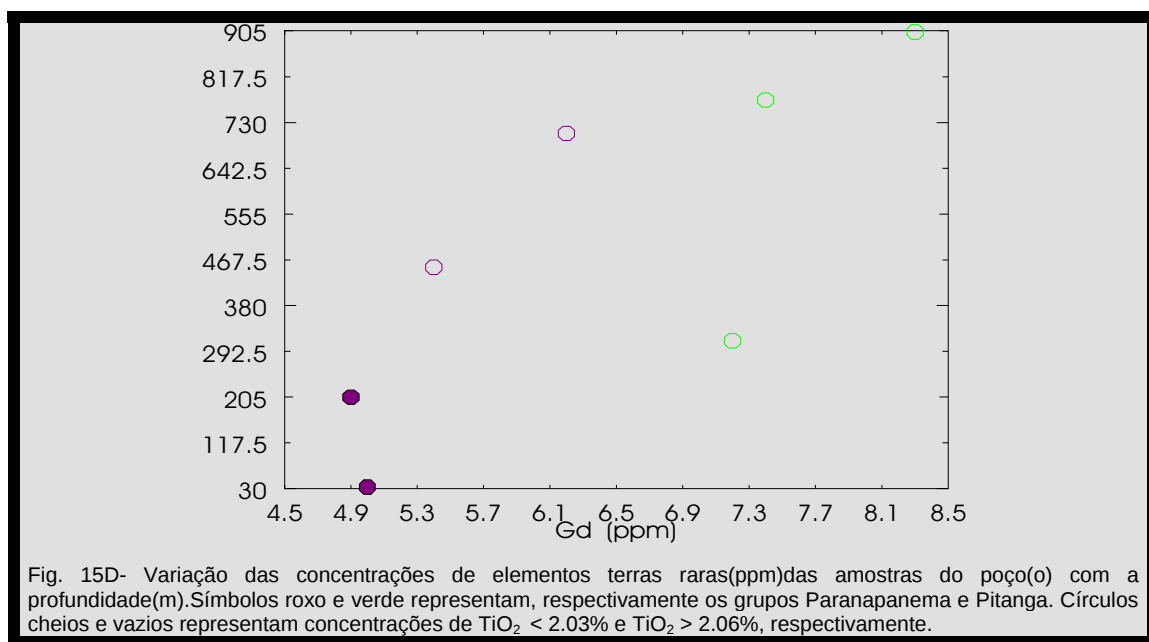


Fig. 15C- Variação das concentrações de elementos terras raras(ppm)das amostras do poço(o) com a profundidade(m).Símbolos roxo e verde representam, respectivamente os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.



Amostras	MgO	Eu/Eu *	(La/Lu) n	(La/Sm) n	(Lu/Gd) n
PB1	5,26	0,910	5,169	2,334	1,160
P33	4,96	0,929	3,709	2,293	1,576
P205	5,14	0,948	5,256	2,235	1,083
P313	4,45	0,910	7,735	2,405	0,849
P453	5,17	0,963	7,501	2,314	0,804
P709	3,81	0,919	6,376	2,206	0,934
P773	4,51	0,886	9,285	2,262	0,717
P903	4,63	0,910	9,912	2,360	0,678

Tab.03 -Razões entre elementos terras raras, normalizados em relação aos condritos (Boyton, 1984) das amostras da pedra(P1) e do poço-PMA (34,206,314,454,710,774 e 904) .

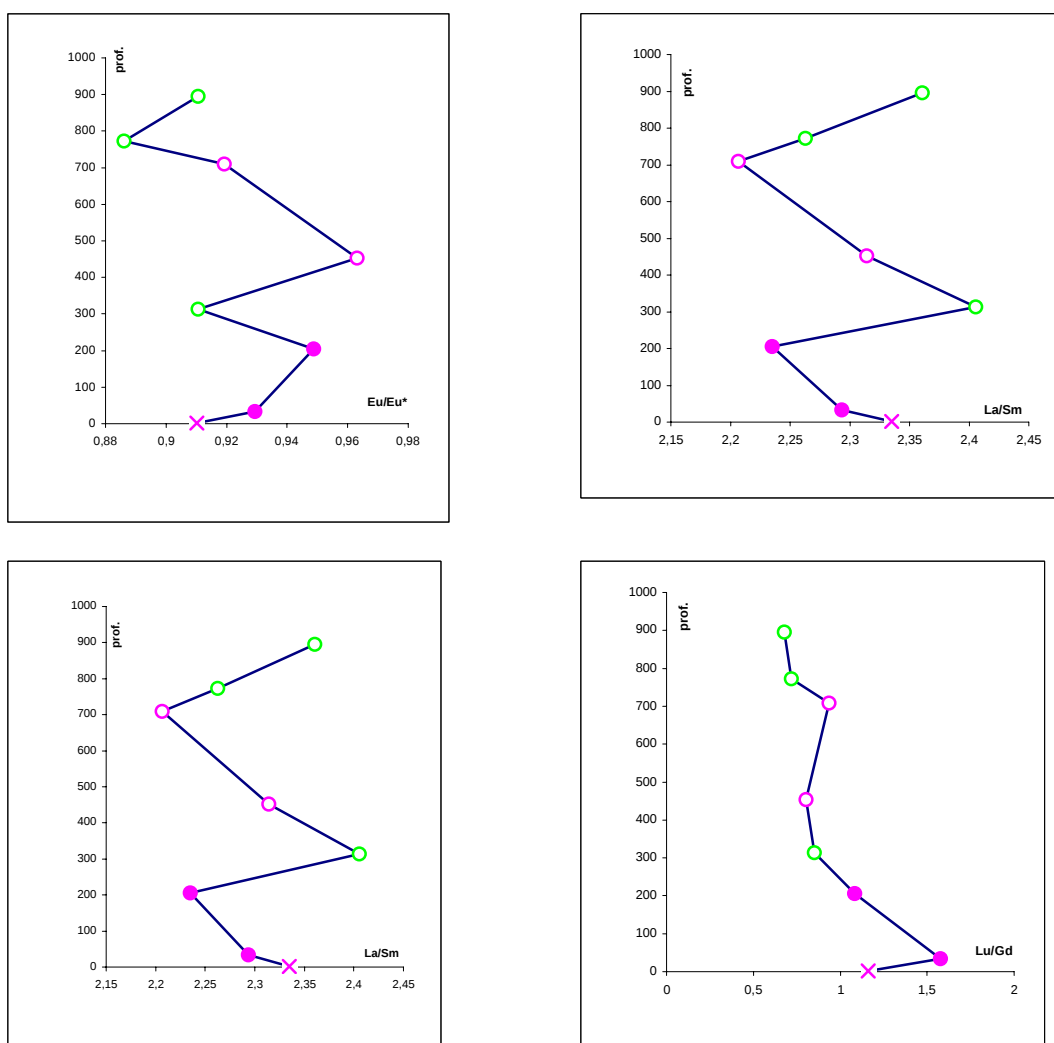


Fig.16- Comportamento das razões entre elementos terras raras, normalizados em relação aos condritos (Boyton,1984), das amostras do poço(o) com a profundidade e da pedreira-P1(x). Os símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

IX – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO MAGMA

9.1- Considerações gerais

A classificação das rochas vulcânicas da Província Magmática do Paraná (Bellieni et al., 1984 e Mantovani et al., 1985a), baseada na concentração de TiO_2 , dividiu essas rochas em dois grupos, respectivamente, baixo titânio (<2%) praticamente restrito a região sul e alto titânio (>2%) dominante no norte da província. Os Basaltos Alto TiO_2 - BAT são enriquecidos em ETR leves, Sr, Ba, Zr e Nb, quando comparadas com os Basaltos Baixo TiO_2 – BBT, com semelhantes concentrações de MgO (Piccirillo et al., 1988). Apresentam também, notáveis diferenças em Sr, Nb e nas assinaturas isotópicas de Pb.

Bellieni et al (1986b), com base nas concentrações de TiO_2 , consideraram um terceiro grupo de rochas basálticas com teores entre 2% e 3%, ou seja, intermediário aos grupos de Baixo e Alto TiO_2 - BIT.

A marcante distribuição geográfica dos grupos BAT, BBT e BIT, induziu a compartimentação geoquímica da Formação Serra Geral (Bellieni et al., 1984a). Peate et al. (1988) baseando-se nas concentrações de TiO_2 , SiO_2 e Sr e nas razões de Zr/Nb, Zr/Y e Ba/Y dividiram esses magmas em três grupos: intermediário, baixo e alto titânio. Peate et al. (1992) definiram seis magmas tipo dentro dos grupos baixo titânio (Gramado e Esmeralda) e alto titânio (Ubirici, Pitanga, Paranapanema e Ribeira), tendo em vista as abundâncias em TiO_2 , Sr(ppm) e nas razões de Ti/Zr, Ti/Y, Zr/Y e Ba/Y.

9.2- Caracterização química das rochas basálticas estudadas

A partir dos resultados químicos obtidos (Tab.2) e com base nos critérios adotados por Peate (1988) e Peate et al. (1992), as amostras estudadas revelaram que a seqüência vulcânica, em questão, é constituída por dois grupos distintos, pertencentes às unidades geoquímicas Paranapanema e Pitanga (Tabela 4) e, que são, respectivamente, correspondentes às subdivisões BIT e BAT de Peate et al. (1988).

	TiO ₂	Ti	Y	Zr	Ba	Sr	Nb	Ti/Y	Zr/Y	Ti/Zr	Zr/Nb	Ba/Y	Magma	Tipo
P1	2,41	14447,9	42	178	435	271	23	344	4,2381	81,16	7,739	10,36	Paranapanema	BIT
P2	2,35	14088,2	32	190	415	254	17	440,3	5,9375	74,14	11,18	12,97	Paranapanema	BIT
P3	2,36	14148,2	41	180	450	266	21	345,1	4,3902	78,60	8,571	10,98	Paranapanema	BIT
P4	2,69	16126,5	71	222	732	271	16	227,1	3,1268	72,64	13,88	10,31	Paranapanema	BIT
P5	2,51	15047,4	48	193	521	250	9	313,5	4,0208	77,96	21,44	10,85	Paranapanema	BIT
P6	2,33	13968,3	37	178	416	238	17	377,5	4,8108	78,47	10,47	11,24	Paranapanema	BIT
P7	2,43	14567,8	37	186	547	244	24	393,7	5,027	78,32	7,75	14,78	Paranapanema	BIT
P8	2,32	13908,4	44	176	459	249	14	316,1	4	79,02	12,57	10,43	Paranapanema	BIT
PMA33	2,03	12169,8	37	155	368	421	15	328,9	4,1892	78,51	10,33	9,946	Paranapanema	BIT
PMA 67	2,06	12349,7	34	152	287	284	13	363,2	4,4706	81,24	11,69	8,441	Paranapanema	BIT
PMA 73	1,77	10611,1	31	141	337	323	16	342,3	4,5484	75,25	8,813	10,87	Paranapanema	BIT
PMA 163	1,88	11270,6	27	145	257	308	13	417,4	5,3704	77,72	11,15	9,519	Paranapanema	BIT
PMA 205	1,95	11690,2	23	142	346	313	20	508,3	6,1739	82,32	7,1	15,04	Paranapanema	BIT
PMA 247	1,95	11690,2	31	146	336	277	14	377,1	4,7097	80,07	10,43	10,84	Paranapanema	BIT
PMA 313	3,56	21342,2	43	220	414	406	22	496,3	5,1163	97,00	10	9,628	Pitanga	BAT
PMA 343	3,14	18824,3	35	198	498	309	21	537,8	5,6571	95,07	9,429	14,23	Pitanga	BAT
PMA 389	3,01	18044,9	33	203	402	395	14	546,8	6,1515	88,89	14,5	12,18	Pitanga	BAT
PMA 421	3,23	19363,8	26	208	331	418	27	744,8	8	93,09	7,704	12,73	Pitanga	BAT
PMA 453	2,57	15407,1	30	158	318	415	19	513,6	5,2667	97,51	8,316	10,6	Paranapanema	BIT
PMA 709	2,81	16845,9	37	199	369	283	11	455,3	5,3784	84,65	18,09	9,973	Paranapanema	BIT
PMA 773	3,66	21941,7	32	253	520	492	25	685,7	7,9063	86,72	10,12	16,25	Pitanga	BAT
PMA 827	3,74	22421,3	47	270	571	453	22	477	5,7447	83,04	12,27	12,15	Pitanga	BAT
PMA 903	3,12	18704,4	34	213	497	408	23	550,1	6,2647	87,81	9,261	14,62	Pitanga	BAT

Tab.4 - Classificação das amostras das pedreiras(P1 a P8) e do poço-PMA(P33 a P903), segundo critérios adotados por Peate et al (1988, 1992) – BIT: TiO₂(1,8-3,2%), Sr(<375), Zr/Nb(<13), Zr/Y(4-6), Ba/Y(<12,5); BAT: TiO₂(>2,9%), Sr(>375), Zr/Nb(<13), Zr/Y(5,5 – 7,5), Ba/Y(11 – 14,5); Paranapanema TiO₂(1,7-3,2%), Sr(200 - 450 ppm), Ti/Y(>330), Zr/Y(4-7), Ba/Y(5-19) e Ti/Zr(>65); Pitanga TiO₂(>2,9%), Sr(>350ppm), Ti/Y(>350), Zr/Y(>5,5), Ba/Y(>9) e Ti/Zr(>60).

A distribuição dos magmas tipo da sequência estudada, conforme pode ser observado na Fig.17, ocorre sob a forma de pacotes de derrames, pertencentes a um mesmo magma, constituindo, portanto, unidades estratigráficas distintas.

Na Fig.17, observa-se, da base para o topo, uma primeira unidade estratigráfica constituída por um pacote de 05 derrames do tipo Pitanga. A segunda unidade é composta por 10 derrames do tipo Paranapanema. A terceira é constituída por uma sequência de 03 derrames do tipo Pitanga. Finalizando a sucessão de derrames ocorre a quarta unidade do tipo Paranapanema composta por 09 derrames. Os derrames tipo Pitanga são representados por basaltos, andesi-basaltos e lati-basaltos. Os derrames tipo Paranapanema são representados por andesi-basaltos, basalto subalcalino, latitos, hawaiiitos e latibasaltos (De Roche et al., 1989).

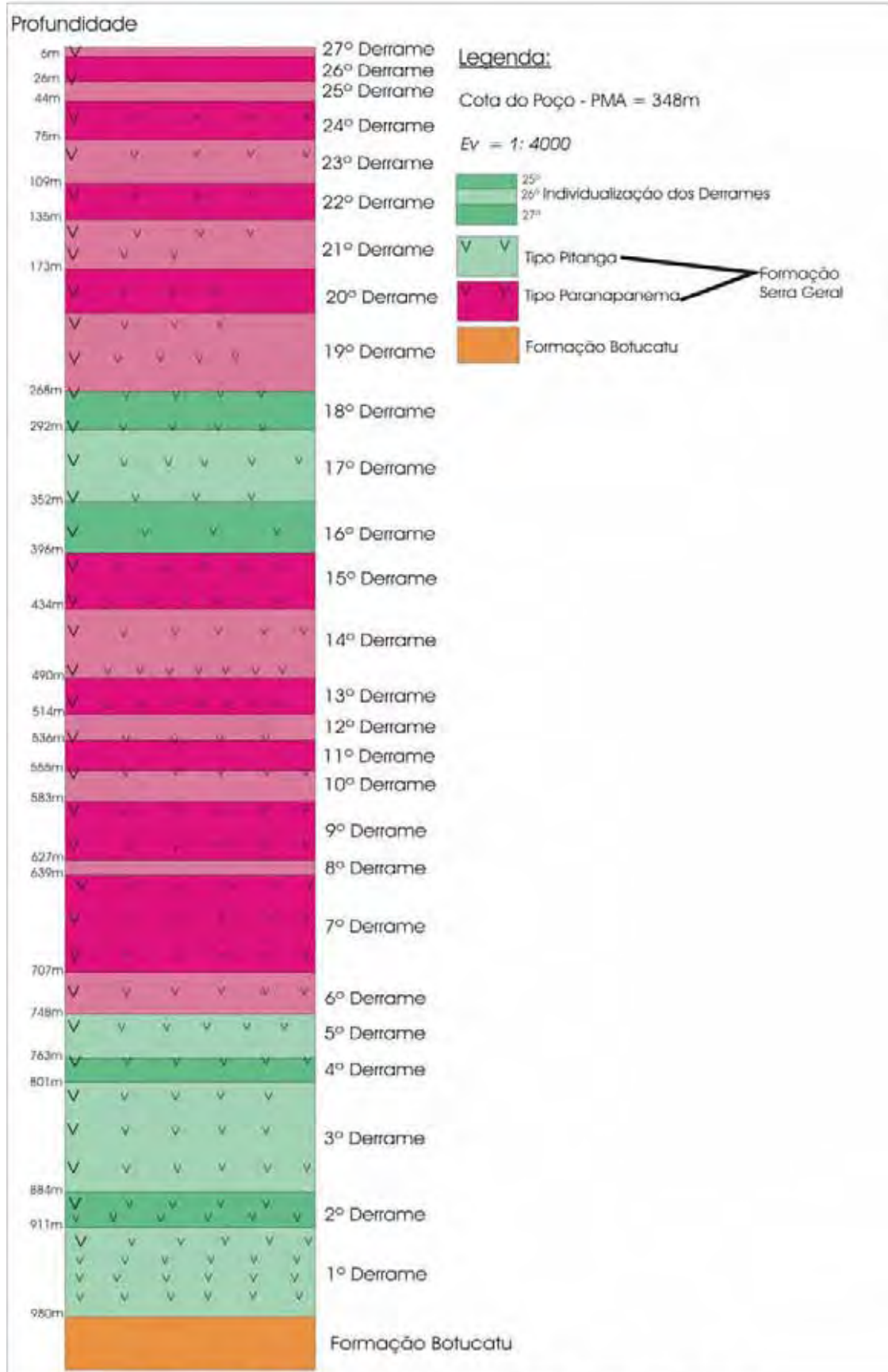
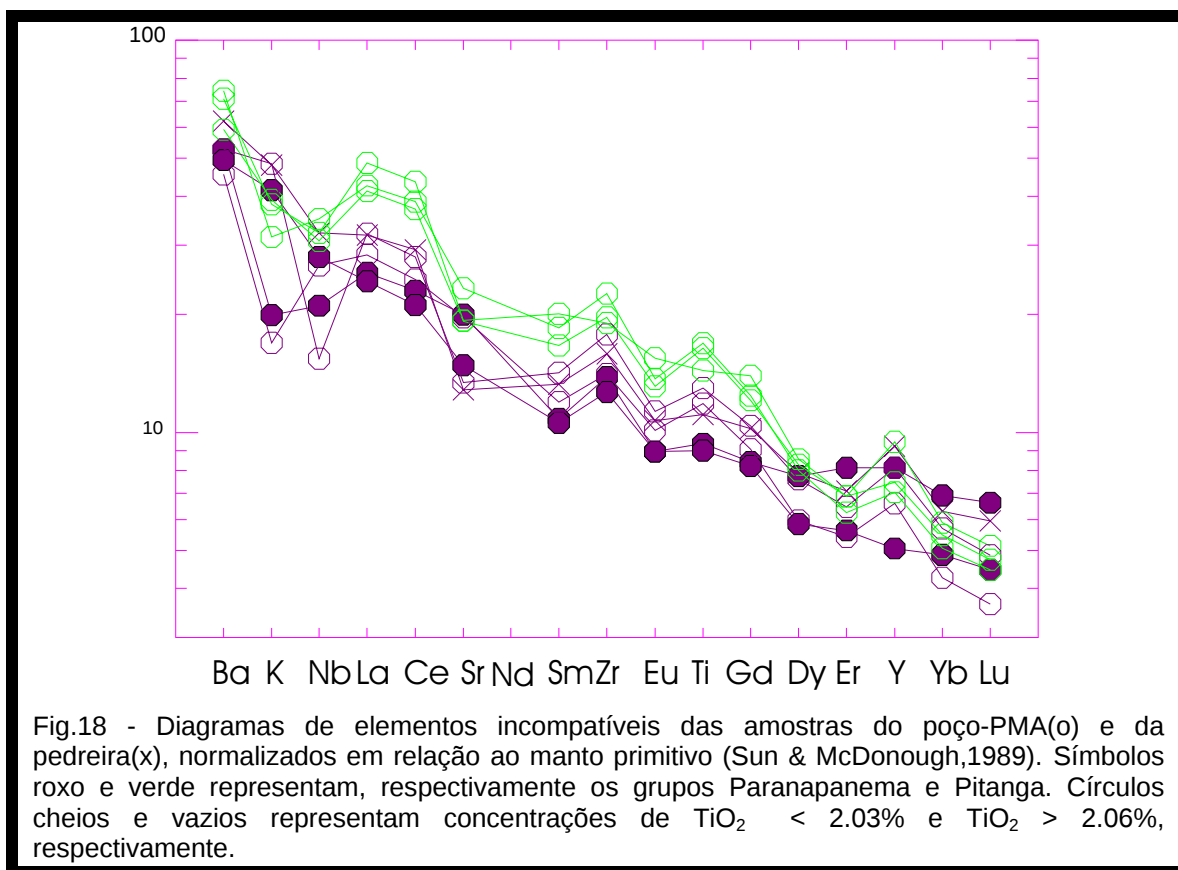


Fig. 17 - Perfil Litológico do Poço Profundo - PMA e Caracterização dos Magmas Tipo (Pitanga e Paranapanema) dos derrames identificados

9.2.1- Padrões de Abundância de Elementos Incompatíveis

O grupo alto titânio do norte da província (Pitanga, Paranapanema e Ribeira) possui uma ampla variação no conteúdo de TiO_2 (1,5 a 4,1% em peso) e semelhanças nos modelos de elementos traços normalizados em relação ao manto primitivo (Sun & McDonough, 1989), diferindo apenas no grau de enriquecimento. A Fig. 18 mostra os padrões de abundância de elementos incompatíveis das amostras estudadas, normalizados em relação ao manto primitivo (Sun & McDonough, 1989), e o enriquecimento desses elementos no magma tipo Pitanga em comparação ao Paranapanema.



9.2.2 – Variação das Concentrações de TiO₂

Conforme classificação apresentada (Tab.04), as amostras estudadas pertencem ao grupo dos magmas basálticos alto titânio da sub-província norte da Bacia do Paraná e possuem características que as enquadram nos tipos Paranapanema e Pitanga. Porém, de acordo com os teores de TiO₂ (Figs. 19 e 20) as rochas dos derrames da seqüência estudada podem ser subdivididas em três grupos, respectivamente, de 1,77% a 2,06%; de 2,32% a 2,81% e de 3,01% a 3,74%.

O grupo classificado como Paranapanema apresenta as seguintes características: TiO₂ entre 1,77% e 2,81%; Sr entre 238 e 421ppm; Ti/Y entre 227,1 e 513,6ppm; e Zr/Y entre 4,028 e 6,1739ppm. A amostra P4 apresenta razão Zr/Y de 3,1268 ppm, devido suas maiores concentrações de Zr e de Y, especialmente.

O grupo classificado como Pitanga possui TiO₂ variando entre 3,01% e 3,74%; Sr entre 395 e 492ppm; Ti/Y entre 496,3 e 744,8ppm; Zr/Y entre 5,7561 e 7,9063 ppm. A amostra PMA314 apresenta razão Zr/Y de 5,1163 ppm e a amostra PMA344 apresenta 309 ppm de Sr .

Os derrames tipo Pitanga apresentam SiO₂ e MgO variando entre 50,1% e 51,49% e 4,96% e 5,0%, respectivamente. Porém, nos derrames tipo Paranapanema os intervalos de variação são um pouco maiores (48,8% < SiO₂ < 52,05% e 4,96% < MgO < 5,76%) e a dispersão dos pontos muito mais acentuada P4(SiO₂=50,19 e MgO=3,27%) e PMA710(SiO₂=54,38% e MgO=3,81%).

Os andesi basaltos e lati basaltos do tipo Pitanga apresentam valores de TiO₂ mais elevados (3,01%<TiO₂<3,74%) que os encontrados nos derrames tipo Paranapanema, representados por andesi basalto, basalto subalcalino, latito, haviito, e latibasalto (1,77%<TiO₂<2,57%). As amostras P4 e PMA710, latito e andesi basalto tipo Paranapanema, apresentam maiores concentrações de TiO₂: 2,69% e 2,81%, respectivamente.

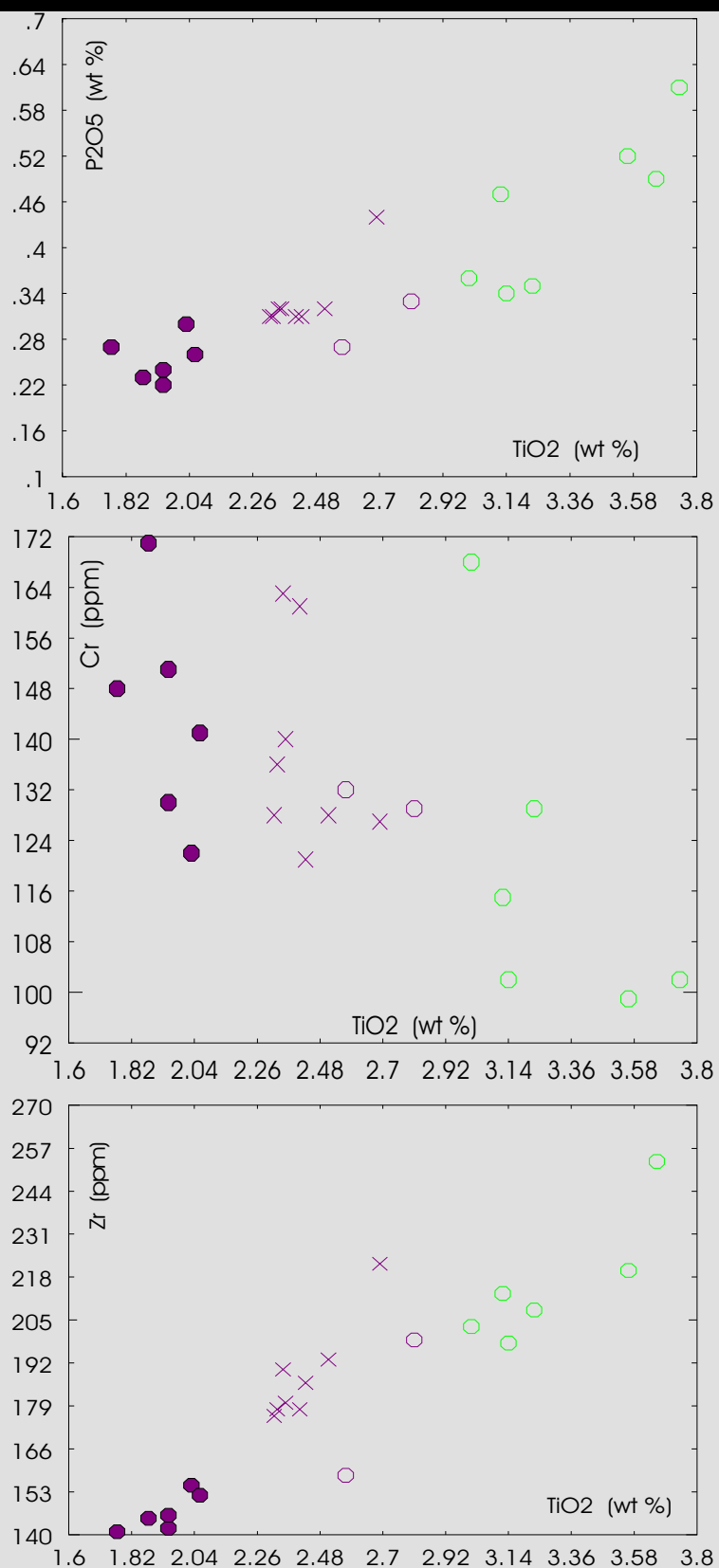


Fig.19A- Variação da concentração de elementos menores(%) e traços(ppm) das amostras do poço(o), do Ribeirão Baguaçu e das pedreiras(x), em função de TiO_2 (%). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

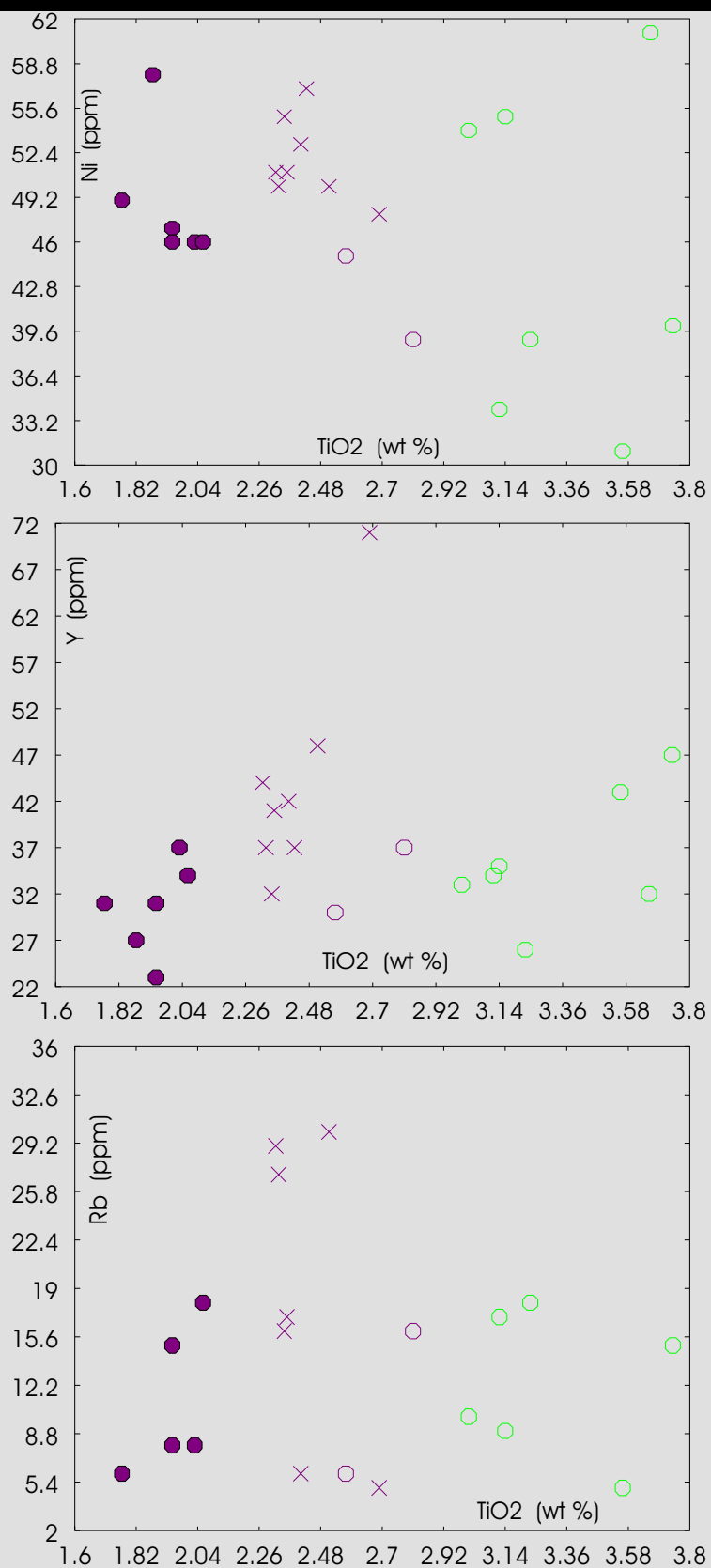


Fig.19B- Variação da concentração de elementos menores(%) e traços(ppm) das amostras do poço(o), do Ribeirão Baguaçu e das pedreiras(x), em função de TiO_2 (%). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

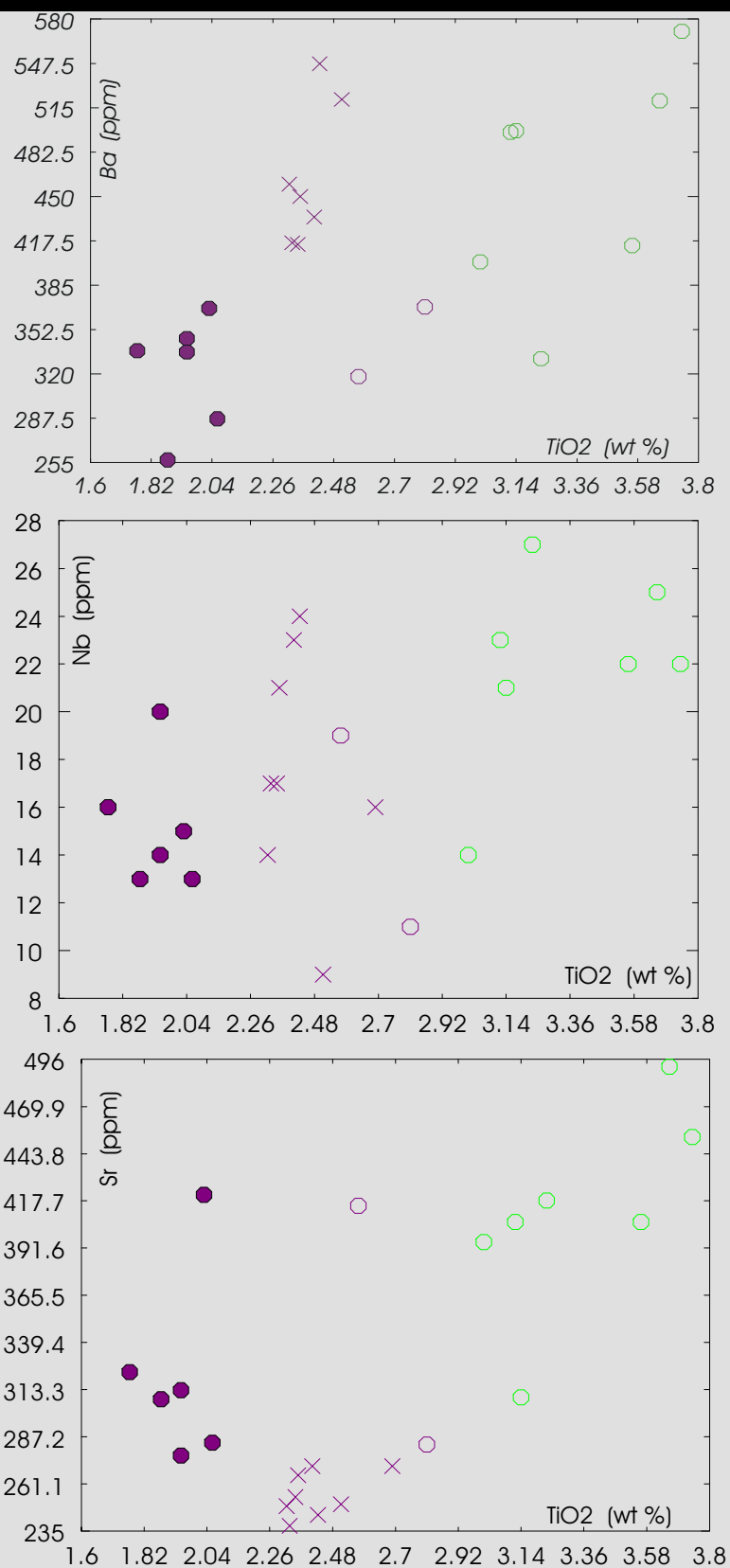


Fig.19C- Variação da concentração de elementos menores(%) e traços(ppm) das amostras do poço(o), do Ribeirão Bagaçu e das pedreiras(x), em função de TiO_2 (%). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $TiO_2 < 2.03\%$ e $TiO_2 > 2.06\%$, respectivamente.

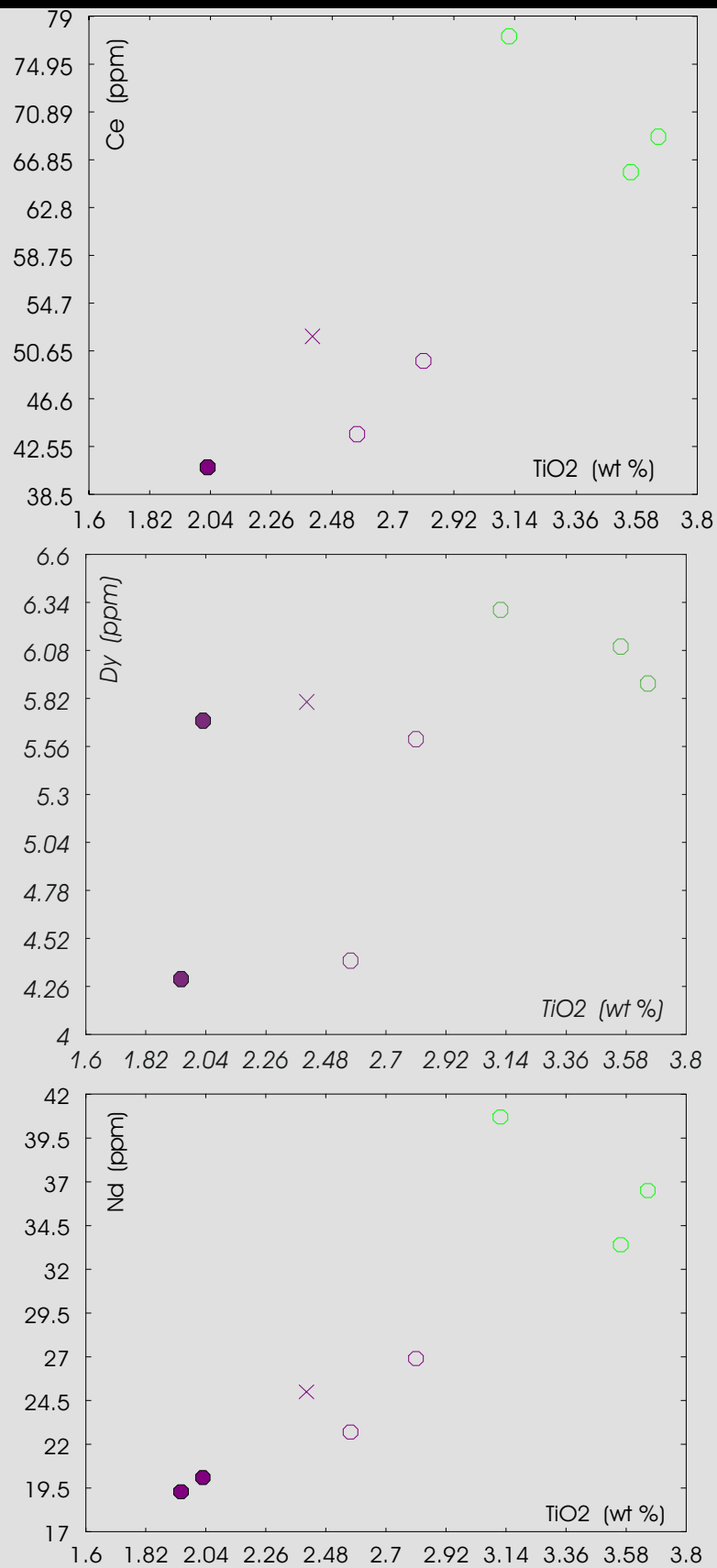


Fig.20A- Variação da concentração de elementos terras raras(ppm) das amostras do poço(o) e da pedreira-PB1(x), em função de TiO_2 (%). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $TiO_2 < 2.03\%$ e $TiO_2 > 2.06\%$, respectivamente.

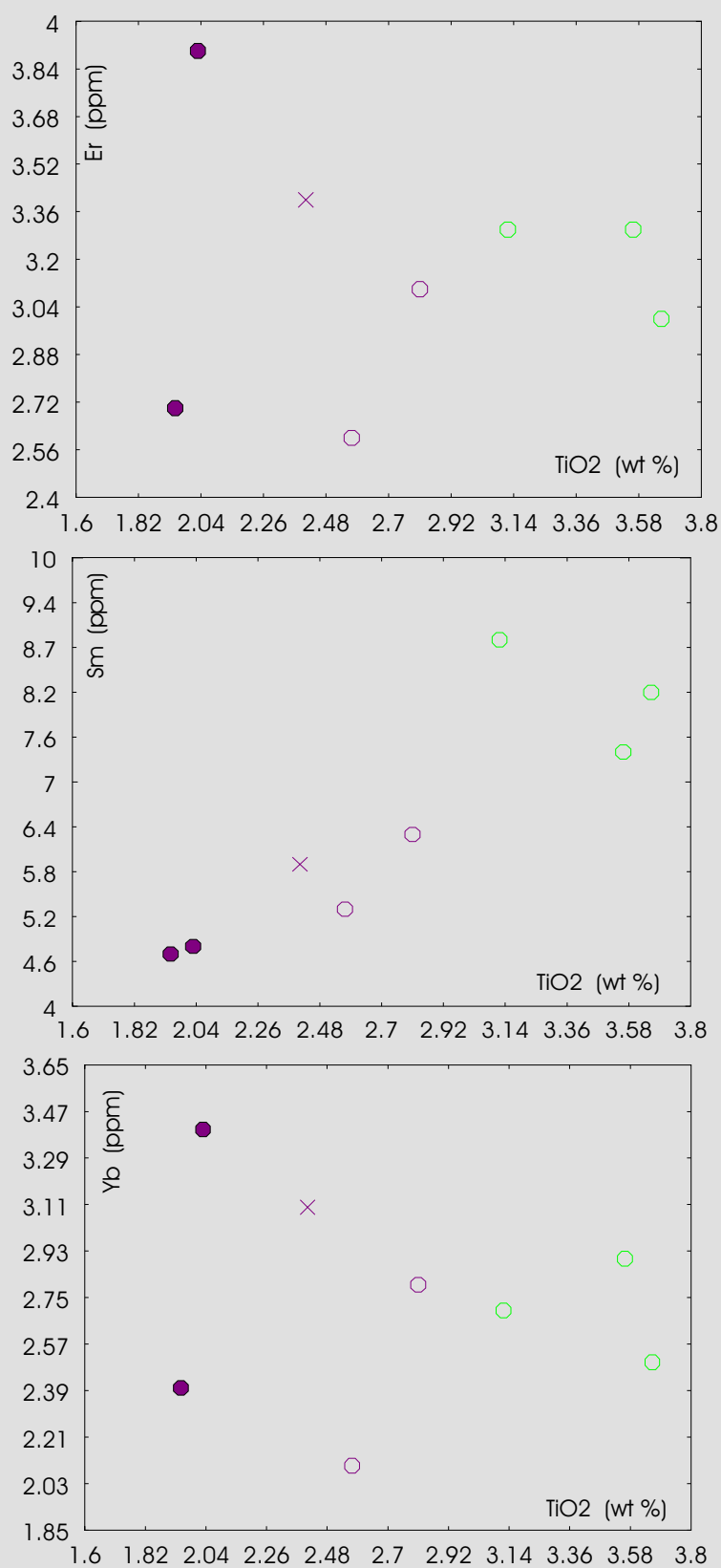


Fig.20B- Variação da concentração de elementos terras raras(ppm) das amostras do poço(o) e da pedreira-PB1(x), em função de TiO_2 (%). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

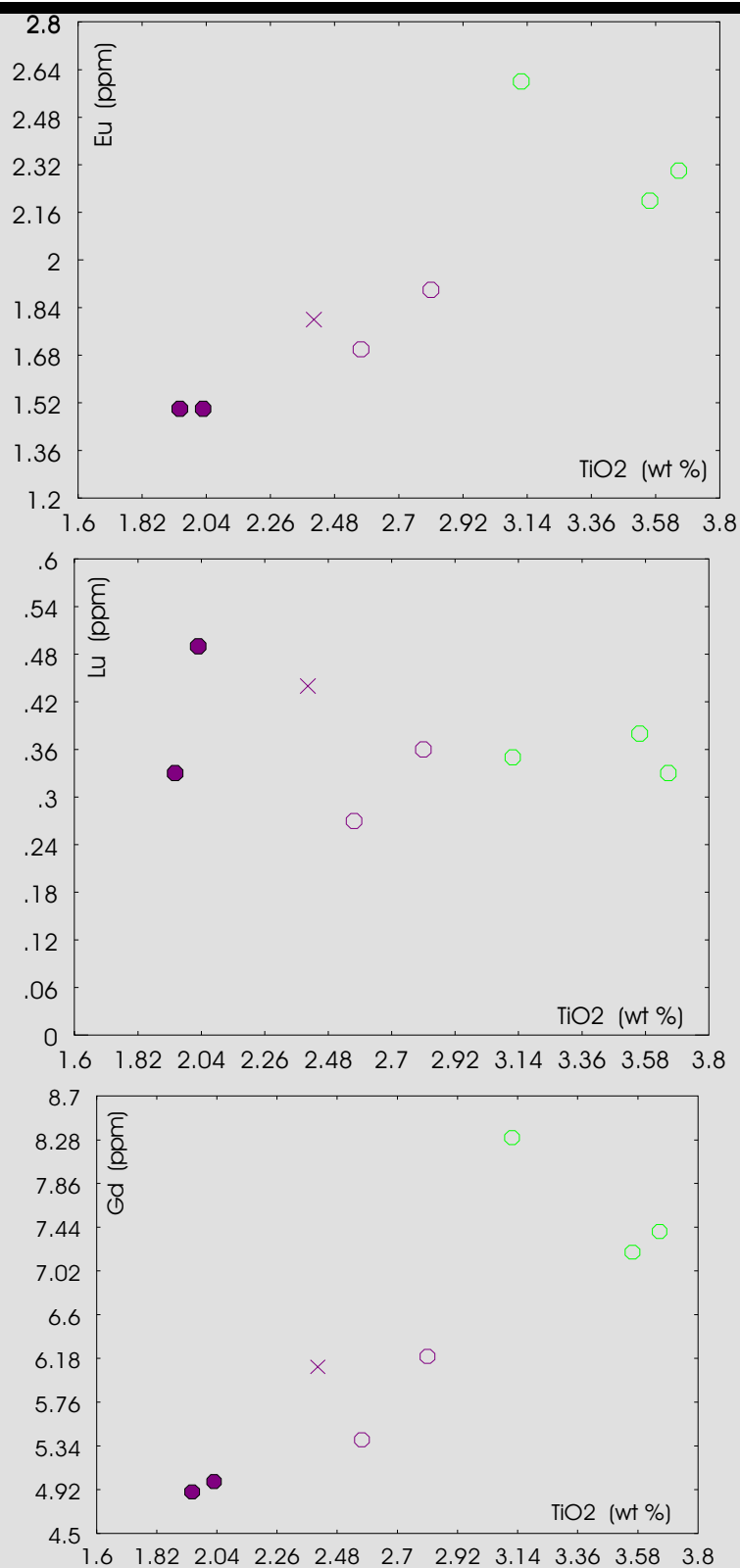


Fig.20C- Variação da concentração de elementos terras raras(ppm) das amostras do poço(o) e da pedreira-PB1(x), em função de TiO_2 (%). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

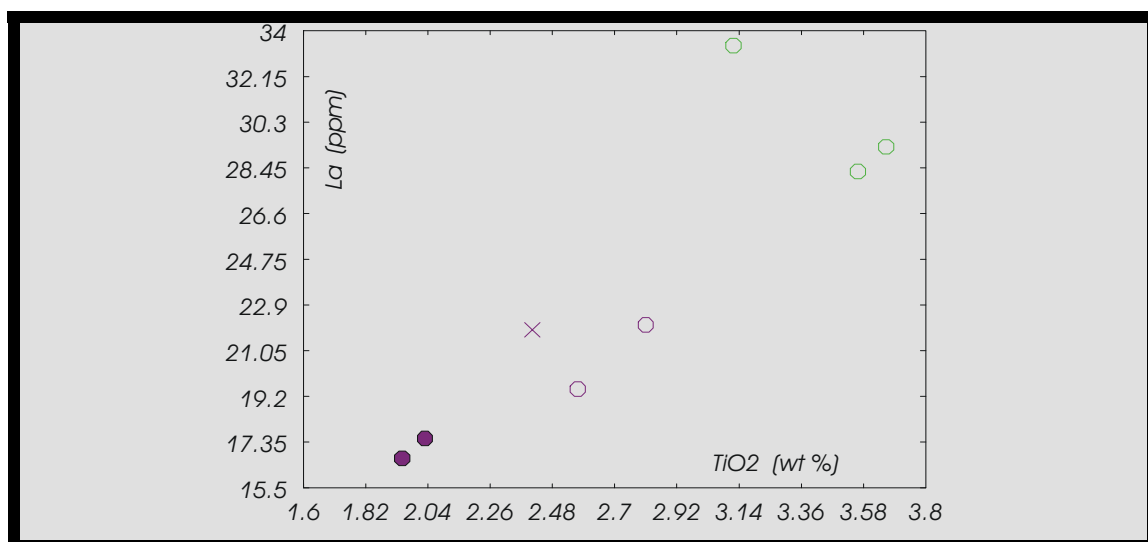


Fig.20D- Variação da concentração de elementos terras raras(ppm) das amostras do poço(o) e da pedreira-PB1(x), em função de TiO₂(%). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente, os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de TiO₂ < 2.03% e TiO₂ > 2.06%, respectivamente.

9.2.3- Comportamento dos elementos químicos com a profundidade

A seqüência vulcânica estudada, apresenta aumentos nas concentrações de TiO₂, Na₂O, P₂O₅, Ba, Nb, Zr, Y, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er e Yb e diminuição dos teores de MgO, Al₂O₃, CaO e Ni, com o aumento da profundidade (Figs. 15, 16, 21 e 22).

Os teores da SiO₂ das posições mais superiores da seqüência, que correspondem aos derrames tipo Paranapanema, variam de 48,8% a 52,05%, sendo que a amostra PMA710, representativa do intervalo de profundidade de 708 a 710m, apresenta um teor de SiO₂ de 54,38%, que pode significar porções mais diferenciadas do derrame. Os derrames tipo Pitanga ocorrem na base e nas posições mais intermediárias do pacote vulcânico e apresentam intervalo de variação mais estreito, que vai de 50,1% a 51,49% de SiO₂.

As concentrações de MgO, de maneira geral, apresentam uma tendência de diminuição com o aumento da profundidade. Os maiores teores (4,96% < MgO < 5,73%) são encontrados nos derrames tipo Paranapanema posicionados no topo e nas porções mais intermediárias da seqüência vulcânica, com exceção da amostra, representativa do topo derrame - PMA710 (MgO=3,81%). Os derrames tipo Pitanga apresentam 4,26% < MgO < 5,00%, encontrados na base e nas posições intermediárias da seqüência.

Ocorre grande dispersão dos pontos nos diagramas de variação do Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , Na_2O , K_2O , CaO , Cr , Ni , Rb , Nb e do Y , apesar das tendências de diminuição verificadas nos teores de Al_2O_3 , CaO e Ni e do aumento das concentrações de Na_2O , Fe_2O_3 e FeO com o aumento da profundidade.

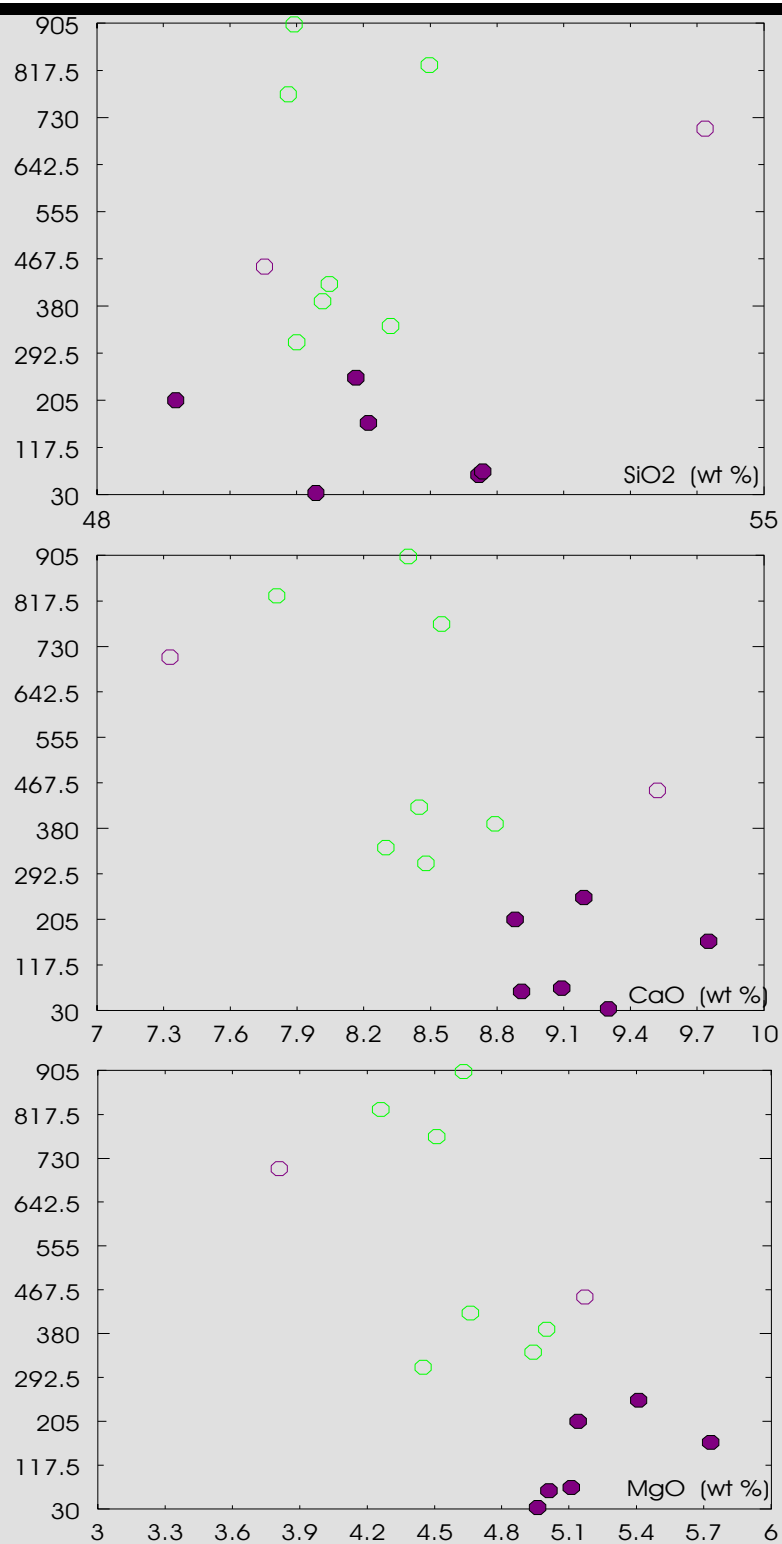


Fig.21A- Variação das concentrações de elementos maiores e menores(%) das amostras do poço(o) com a profundidade(m). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de TiO₂ < 2.03% e TiO₂ > 2.06%, respectivamente.

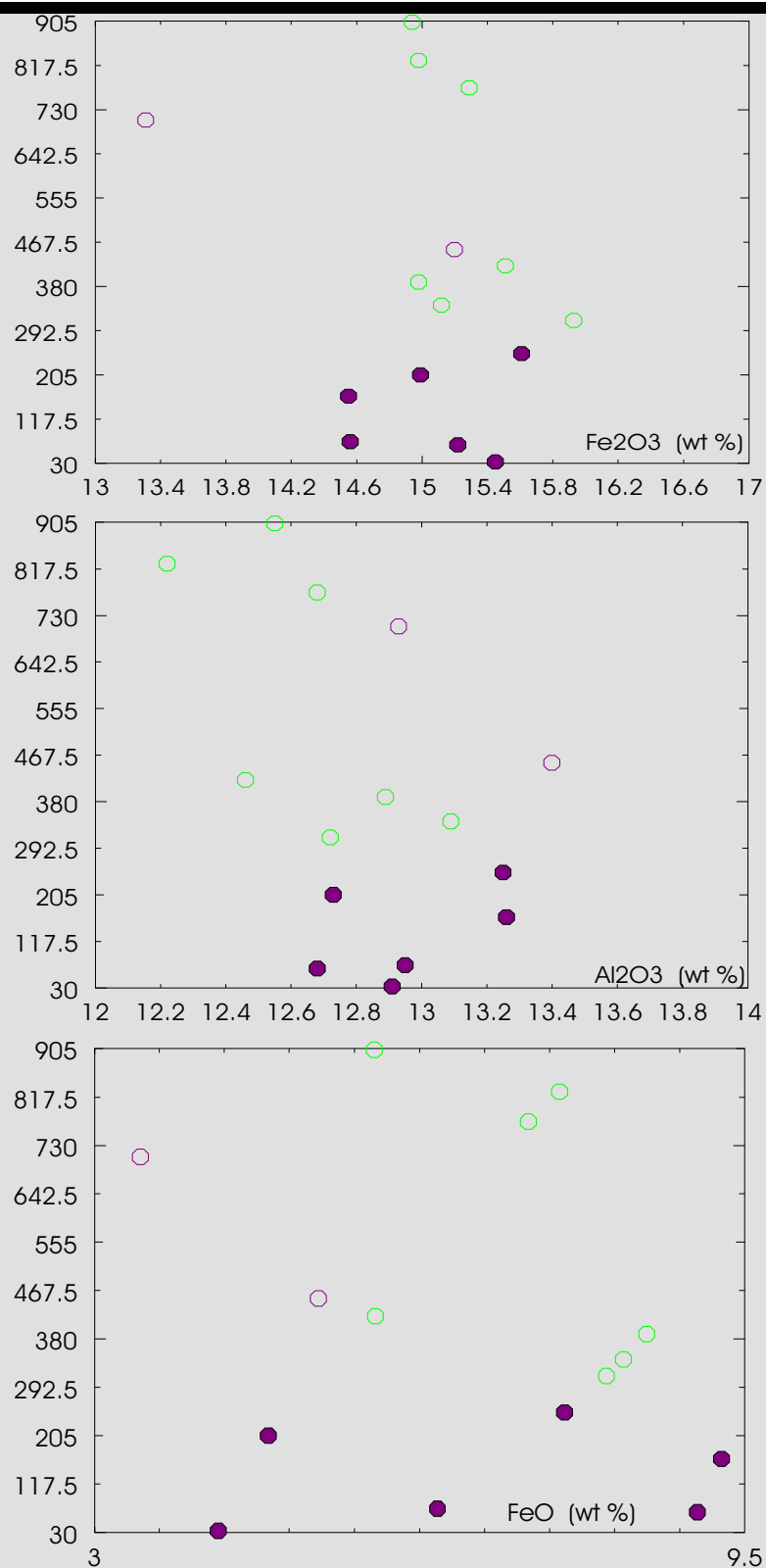


Fig.21B- Variação das concentrações de elementos maiores e menores(%) das amostras do poço(o) com a profundidade(m). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

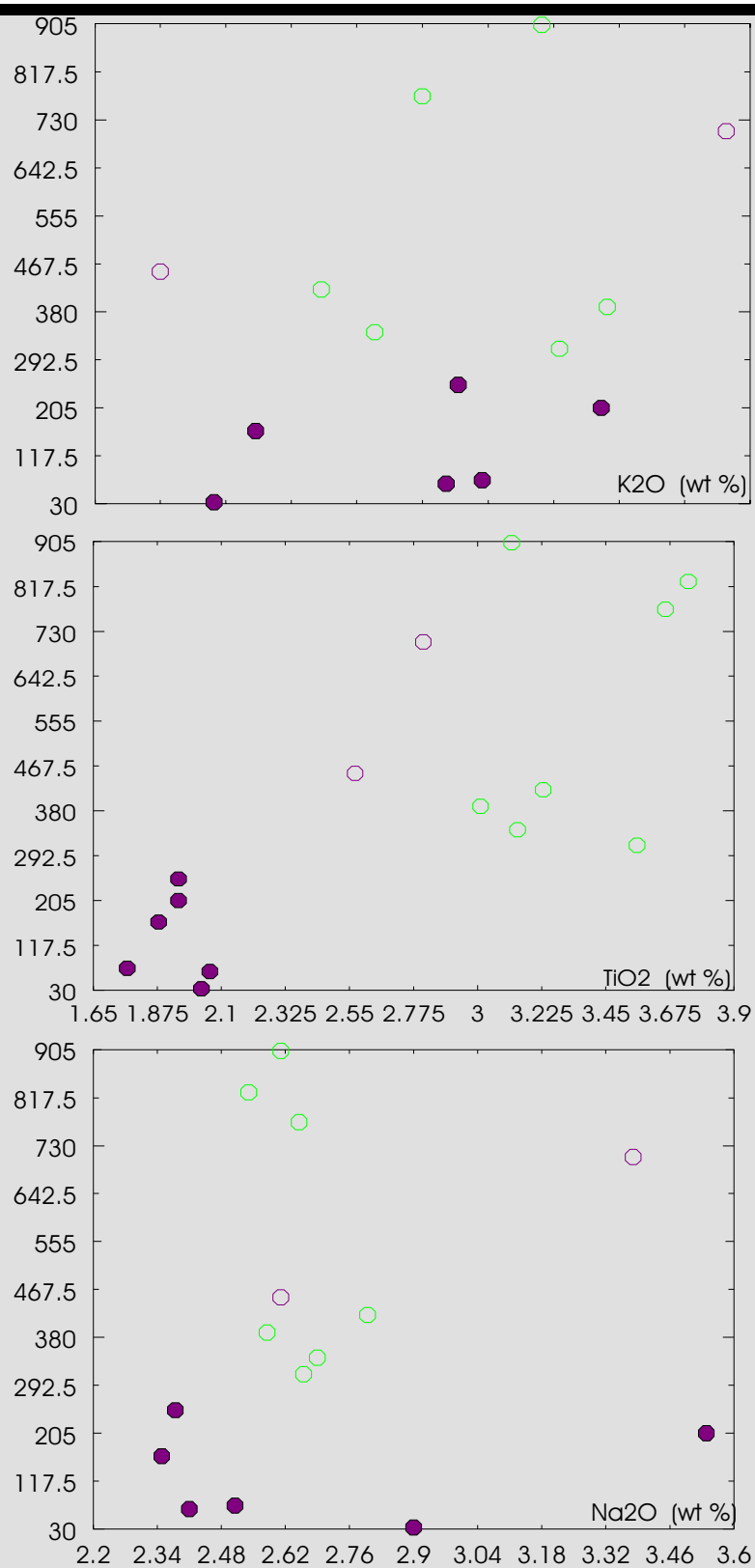


Fig.21C- Variação das concentrações de elementos maiores e menores(%) das amostras do poço(o) com a profundidade(m). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente os grupos Paranapanema e Pitanga. Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

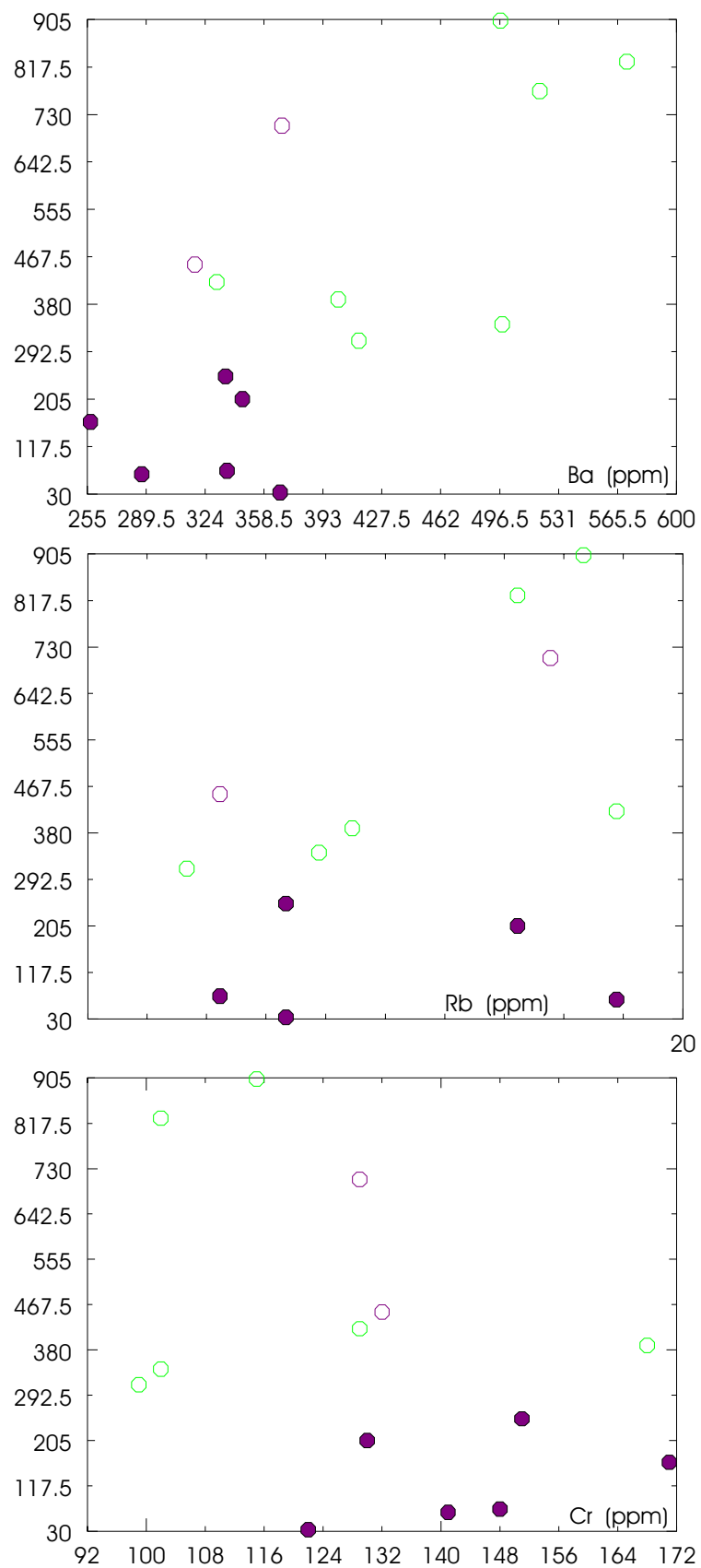


Fig.22A- Variação das concentrações de elementos traços(ppm) das amostras do poço(o) com a profundidade(m). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente os grupos Paranapanema e Pitanga. . Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

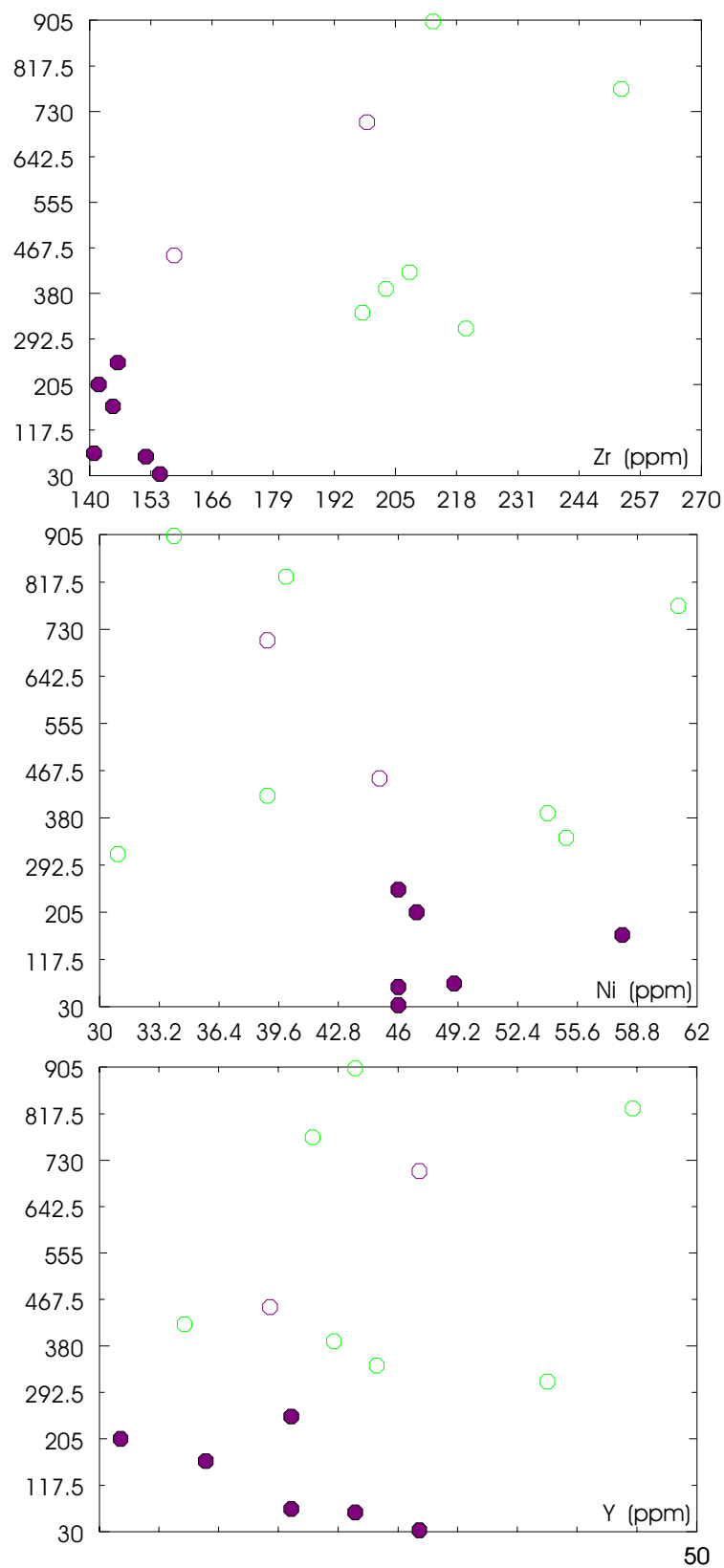


Fig.22B- Variação das concentrações de elementos traços(ppm) das amostras do poço(o) com a profundidade(m). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente os grupos Paranapanema e Pitanga. . Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

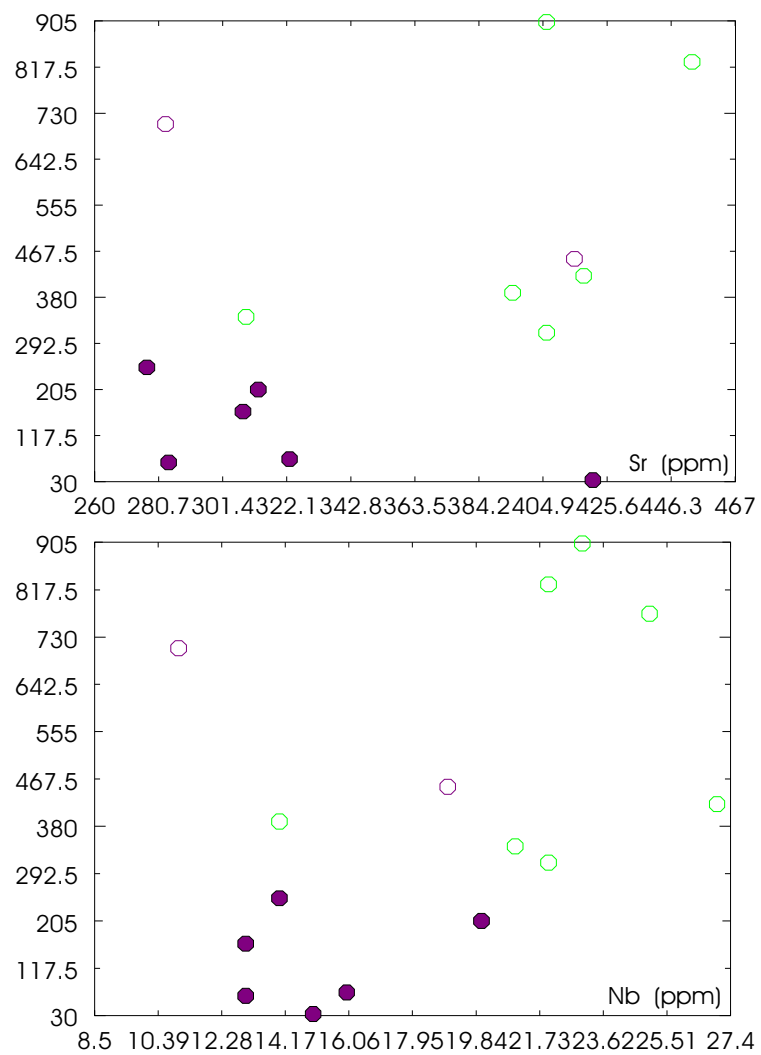


Fig.22C- Variação das concentrações de elementos traços(ppm) das amostras do poço(o) com a profundidade(m). Símbolos roxo e verde representam, respectivamente os grupos Paranapanema e Pitanga. . Círculos cheios e vazios representam concentrações de $\text{TiO}_2 < 2.03\%$ e $\text{TiO}_2 > 2.06\%$, respectivamente.

X – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos, a partir das amostragens realizadas em superfície e subsuperfície revelaram um pacote de lavas de 980 metros, edificado através da sucessão de 27 derrames, representados predominantemente por andesi basaltos, por basaltos subalcalinos, lati basaltos, latitos e havaiitos.

Com base nas concentrações de Ti e elementos traços incompatíveis (Peate et al., 1992) os magmas tipo dos derrames estudados foram classificados como Paranapanema e Pitanga. O comportamento das concentrações desses elementos reforça a tendência dos altos teores de TiO_2 na Região Norte da Bacia do Paraná e o posicionamento estratigráfico dos grupos Pitanga e Paranapanema na seqüência identificada.

A estratigrafia verificada, através da perfuração do poço-PMA revela que os basaltos do tipo Pitanga estão dispostos predominantemente sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu enquanto que os do tipo Paranapanema nas posições mais superiores da seqüência, o que é coerente com o comportamento geoquímico encontrado na seqüência estratigráfica dos poços de Cuiabá Paulista e Altônia observado por Peate et al., 1992.

XI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M., 1964. Grupo São Bento - Geologia do Estado de São Paulo. **Bol. do Inst. Geográf. e Geol.** - Secret. Agr. Est. - SP, 41, 85-100.

ALMEIDA, F.F.M., 1967. Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. **Bol. DNPM**, 241, 36pp.

ALMEIDA, F.F.M., 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. Simp. Int. Margens Cont. Tipo Atlântico, Anais Acad. Brás. Cienc., 48(supl.), 15-26.

ALMEIDA, F. F. M. 1981. Síntese sobre a Tectônica da Bacia do Paraná. **Atas III Simp. Reg. Geol., (SBG), Conf. de Abert., 1, 1-20, Curitiba (PR).**

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 Magmatismo pós-paleozóico no Brasil. **Rev. Bras. Geoc.**, 16(4), 325-349.

ALMEIDA, M.A.; STEIN, D. P.; MELO, M. S. 1980. Geologia do Oeste Paulista e áreas fronteiriças dos Estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: Congr. Bras. de Geologia, 31, Camboriú. **Anais...**, SBG v5, 2799-2812.

AMARAL, G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H., 1966. Potassium Argon Dates of Basaltic Rocks from Southern Brazil. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 30, 159-189.

AMARAL, G., 1977. Padrões Fotogeológicos das Litofácies da Formação Bauru como observados em Imagens Landsat. **Simp. Geologia Regional**, 1º SBG, 439-449.

ARNDT, N.T.; CHRISTENSEN, U., 1992. The Role of Lithospheric Mantle in Continental Flood Volcanism: Thermal and Geochemical Constraints. **J. Geophys. Res.**, 97, 10967-10981.

ASMUS, H.E. & PORTO, R., 1972. Classificação das Bacias Sedimentares Brasileiras segundo a Tectônica de Placas. Anais XXVI Congr. Brás. Geol. (SBG), Belém, 67-89.

ASMUS, H.E., 1980. Diferenças nos estágios iniciais da evolução da margem continental brasileira: possíveis causas e implicações. Anais XXXI Congr. Brás. Geol., Camboriú, 1, 225-233.

ASMUS, H.E. & BAISCH, P.R. 1983. Geological Evolution of the Brazilian Continental Margin. Episodes, 4, 3-9.

BARCELOS, J.H., 1984. Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo. Rio Claro, IGCE-UNESP. Tese de Livre Docência.

BELLIENI, G.; PICCIRILO, E.M.; ZANETTIN, B., 1981. Classification and Nomenclature of Basalts, IUGS - Subcommision on the Systematics of Igneous Rocks, circ. 34, **Contrib**, 87, 1-19.

BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILO, E.M.; STOLFA, D., 1983. Petrological and Paleomagnetic Data on the Plateaus Basalts to Rhyolite Sequences of the Southern Paraná Basin (Brazil). **An. Acad. Bras. Ciênc.**, 55, 355-383.

BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES L.S.; MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R.; ROISEMBERG, A., 1984a. High-and-Low-TiO₂ Flood Basalts from the Paraná Plateau (Brazil): Petrology and Geochemical Aspects Bearing on their Mantle Origin. **Neues Jahr. Min. Abh.**, 150(3), 273-306.

BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILO, E.M., 1984b. Flood Basalts to Rhyolite Suites in the Southern Paraná Plateau (Brazil): Paleomagnetism, Petrogenesis and Geodynamic Implications. **Journal Petrol.**, 25(3): 579-618.

BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; PINESE, J.P.P., 1984c. Diques Básicos do Arco de Ponta Grossa: Mineralogia e Petrologia (Resultados Preliminares). **An. XXXIII Cong. Bras. Geol. (SBG)**, 251-252.

BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES L.S.; MARTINEZ, L.A.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D., 1986a. Continental Flood Basalts from Central - Western Regions of the Paraná Plateau (Paraguay and Argentina): Petrology and Petrogenetic Aspects. **Neues Jahr. Miner. Abh.**, 154(2), 11-139.

BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PAPATRECHAS, C.; PICCIRILLO, E.M.; ROISEMBERG, A.; STOLFA, D., 1986b. Petrogenetic Aspects of Acid and Basaltic Lavas from the Paraná Plateau (Brazil): Geological, Mineralogical and Petrochemical Relationships. **Journal Petrol.**, 27(4), 915-944.

BJORNBERG A. J. S.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A. B. 1971. Basculamentos tectônicos modernos no Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25. **Anais...** São Paulo, SBG v.2, pág. 159-174.

BOYNTON, W. V. 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth elements: meteorite studies. In: Rare Earth Element Geochemistry, Henderson, P. ed., Elsevier Publ. Co., Amsterdam, 63-114.

CAMPBELL, I. H.; GRIFFITHS, R. W. 1990. Implications of Mantle Plume Structure for the Evolution of Flood Basalts. **Earth Plan. Science Lett.**, 99, 79-83.

ALLEGRE, C. J.; TREUIL, M.; MINSTER, J. F.; MISNTER, B.; ALBAREDE, F. 1977. Systematic Use of Trace Element in Igneous Process. **Contrib. Mineral. Petrol.**, 60, 57-75.

COIMBRA A. M.; BRANDT NETO, M.; PETRI, S. 1977. O alinhamento estrutural do Tietê. In: **Simp. Reg. Geol.**, 1. Atas, São Paulo, SBG., 145-152.

COMIM-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C. B.; RIVALENTI, G. 1983. High TiO₂ dykes in the coastline of São Paulo and Rio de Janeiro states (Brazil). Neues Jahr. Miner. Abh., 146: 133-150.

COMIN-CHIARAMONTI, P., BELLINI, G., PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J., 1988. Classification and petrography of continental stratoid volcanics and related intrusives from the Paraná basin (Brazil). In.: The Mesozoic continental flood volcanism of the Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects. PICCIRILLO, E.M. AND MELFI, A.J., Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo (Brasil).

CORDANI, U.G.; VANDOROS, P., 1967. Basaltic Rocks of the Paraná Basin. In.: J.J. Bigarella: **Problems in Brazilian Gondwana Geology**, Univ. Fed. Paraná, 207-231.

CORDANI, U.G.; SARTORI, P.L.P.; KAWASHITA, K., 1980. Geoquímica dos Isótopos de Estrôncio e a Evolução da Atividade Vulcânica na Bacia do Paraná (Sul do Brasil) durante o Cretáceo. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, 52, 811-819.

COX, K.G., 1988. The Karoo Province. J.D. Macdougall (ed) **Continental Flood Basalts**, 239-271.

COX, K.G.; CLIFFORD, P., 1982. Correlation Coefficient Patterns and their Interpretation in Basaltic Suites. **Contrib. Mineral. Petrol**, 79, 268-278.

COX, K.G., 1994. Sources of Basaltic Magmas: In.: Intern. **Symp. Phys. Chem. Upper Mantle**, Invited Lectures, 85-98.

CREER K.M.; MILLER, J.A.; SMITH, G.A., 1965. Radiometric Age of the Serra Geral Formation. **Natures**, 207, 282-283.

DAVIES, G., 1990. Mantles Plumes, Mantles Stirring and Hot Spot Chemistry. **Earth Plan. Science Lett.**, 99, 94-109.

DAVINO, A.; SINELLI, O.; SOUZA, A. 1984. Predominância de formas dômicas de diabásio na área da depressão periférica da Bacia do Paraná no estado de São Paulo. XXXIII Congr. Brás. Geol. Anais (SBG): 2549-2562.

DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, P.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M., 1980. A Classification of Volcanic and Plutonic Rocks Using R1 x R2 Diagram and Major Element Analyses. Its Relationships with Current Nomenclature. **Chem, Geol.**, 28, 183-210.

DECKART, K.; FÉRAUD, G.; MARQUES, L. S.; BERTRAND, H. 1998. New time constraints on dyke swarms related to the Paraná-Etendeka magmatic province and subsequent South Atlantic opening, southeastern Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 80: 67-83.

ERNESTO, M. ; RAPOSO, M. I. B.; MARQUES, L. S.; RENNE, P. R.; DIOGO, L. A.; DE MIN, A. 1999. Paleomagnetism, geochemistry and ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Northeastern Paraná Magmatic Province: tectonic implications. *J. Geodyn.*, 28: 321-340 .

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M., 1996. A Bacia Bauru – Cretáceo Superior, Brasil. **Anais Acad. Bras. Ciências**, 68(2), 195-205

FERREIRA, F.J.F, MORAES, R. A .V., FERRARI, M.P., VIANNA, R.B., 1981. Contribuição ao Estudo do Alinhamento Estrutural de Guapiara. Atas do 3º Simpósio Regional de Geologia (SBG), 1, 226-240, Curitiba.

FERREIRA, F.J.F, 1982. Alonhamentos Estruturais Magnéticos da Região Oriental da Bacia do Paraná e seu Significado Tectônico. In Geologia da Bacia do Paraná – Reavaliação da Potencialidade e Prospectividade em Hidrocarbonetos – PAULIPETRO, Consórcio IPT/CESP, 143-166.

FIGUEIREDO, A. M. F.; GABAGLIA, G. P. R.. Sistema Classificatório aplicado às Bacias Sedimentares Brasileiras. **Rev. Bras. Geoc.**, 16(4), 350-369.

FODOR, R. V. et al, 1985a. Petrology of the Serra Geral (Paraná) continental flood basalts, southern Brasil: crustal contamination, source material, and south Atlantic magnetism. **Cont. M. Petrol.** 91, 54-65.

FODOR, R. V. et al, 1985b. Crustal Signatures in the Serra Geral flood basalt province, southern Brazil: O-and-Sr isotope evidence. **Geology** 13, 763-765.

FULFARO, V. J. & LANDIM, P. M. B., 1973. Interpretação do Tectonismo Cratônico – O Cráton Brasileiro e a Bacia Sedimentar do Paraná. Anais XXVII Cong. Bras. Geol. (SBG), 2, Aracajú, 187-188.

FULFARO, V. J., 1979. O Cenozóico da Bacia do Paraná. In: **Simpósio Reg. Geologia**, 2, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: SBG. 1979 v.1, 231-241

FULFARO, V.J.; SAAD, A.R.; SANTOS, M.V.; VIANNA, R.B., 1982. Compartimentação e Evolução Tectônica da Bacia do Paraná. **Rev. Bras. Geoc.**, 12(4), 590-611.

GARLAND, F.; HAWKESWORTH, C.J. & MANTOVANI, M.S.M (1995). Description and petrogenesis of Paraná rhyolites, Southern Brazil. *Journal of Petrology*, 36: 1193-1227.

GARLAND, F.; TURNER, S. & HAWKESWORTH, C.J. (1996). Shifts in the source of the Paraná basalts through time. *Lithos*, 37 : 223-243.

GUIMARAES, D., 1933. A província magmática do Brasil meridional. *Serv. Geol. Miner. Bras., Bol.* 64, 70pp. Rio de Janeiro(RJ).

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.

HASUI, Y. et al, 1993. Megaestruturação do Pré-cambriano do Território Brasileiro baseada em dados geofísicos e geológicos. **Geociências**, São Paulo v.12, n.1

HAWKESWORTH, C. J.; GALLAGER, K.; KELLEY, S.; MANTOVANI, M. S. M.; PEATE, D.; REGELOUS, M.; ROGER, N. 1992. Paraná magmatism and the opening of South Atlantic. In: B. Storey; A. Alabaster; R. Pankrust (ed.). *Magmatism and the causes of the continental break-up*. London. Geol. Soc. Special Publication 68: 231-240.

HEAD, JAMES W. III; COFFIN, MILLARD F., 1997. Large Igneous Provinces: A Planetary Perspective. In: *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism*, 411-438.

IPT, 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, vol. 1 e 2.

IRVINE, T.N.; BARAGAR, W.R.A., 1971. A Guide to the Chemical Classification on the Common Volcanic Rocks. **Canadian Journal of Earth Science**, 8, 523-548.

IYOMASA, W.S.; FERNANDES, L.A.; M.H.B.O.; SCARMINIO, M., 1994. As Rochas Vulcânicas Ácidas da Formação Serra Geral no Vale do Rio Paranapanema - SP/PR. XXXVIII CONG. BRAS. GEOL., CAMBORIÚ SC, 3, 107-108.

PEARCE, J. A. & NORRY, M. J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb Variations in Volcanic Rocks. **Contrib. Mineral. Petrol.** 69, 33-47

LASSITER, J.C.; DEPAOLO, D. J. 1997. Plume/Lithosphere Interaction in the Generation of Continental and Oceanic Flood Basalts: Chemical and Isotopic Constraints. In: Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism, 335-355.

LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B., 1986. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram. **Journ. of Petrol.**, 27, 745-750.

LEINZ, V. 1949. Contribuição Geológica dos Derrames Basálticos do Sul do Brasil. **Bol. Fac. Fil. Ci Let** – USP. Vol.103, 1-61

LEINZ, V.; BARTORELLI, A.; SADOWSKI, G.R.; ISOTTA, C.A.L., 1966. Sobre o Comportamento Espacial do Trapp Basáltico da Bacia do Paraná. **Bol. Soc. Bras. Geol.**, 15, 79-81.

LEINZ, V.; BARTORELLI, A.; ISOTTA, C.A.L., 1968. Contribuição ao Estudo do Magmatismo Basáltico Mesozóico da Bacia do Paraná. **An. Acad. Bras. Ciec.** , 40, supl., 167-181.

LE MAITRE, R.W.; BATEMAN, P.; DUDEK, A.; KELLER, J.; LE BAS, M.J.; SABINE, P.A.; SCHIMD, R.; SORENSEN, H.; STRECKEISEN, A.; WOOLLEY, A.R.; ZANETTIN, B., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. **Blackwell, Oxford.**

MACDOUGALL, I.J. & RUEGG, N.R. 1966. Potassium-Argon Dates on the Serra Geral Formation on South America. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 30, 191-195.

MAACK, K. 1947. Breves Notícias Sobre a Geologia do Estado de São Paulo, Paraná e Santa Catarina. *Arq. Biol. Téc.*, 2, 63-154, Curitiba, PR.

MACDONALD, G.A.; KATSURA, T., 1964. Chemical Composition of Hawaiian Lavas. **Journal of Petrol.**, 5, 82-133.

MALAGUTTI, M. I. A.; Bahia F^o, O.; Moreno, M. M. T.; Nardy, A. J. R. 1998. Determinação de elementos terras raras e ítrio em rochas silicáticas por ICP-AES com separação em resina trocadora de íons. **Geochim. Brasil.**, 12(1/2), 75-80.

MANIESI, V.; OLIVEIRA, M. A. F., 1997. Petrologia das Soleiras de Diabásio de Reserva e Salto de Itararé. **Geochim. Brasil**, 11(2), 153-169.

MANTOVANI, M. S. M., 1988. Geochemical stratigraphy of Paraná continental flood basalts : a contribution from borehole samples. In : Piccirillo E.M.; Melfi A.J. (eds) The Mesozoic flood volcanism of the Paraná basin : petrogenetic and geophysical aspects. IAG-USP, 15-24.

MARINI, O. J.; FUCK, R. A.; TREIN, E. 1967. Intrusivas básicas Jurássico-Cretáceas do primeiro planalto do Paraná. Bol. Par. Geoc., 23-25: 307-324.

MARQUES, L.S., PICCIRILLO, E.M., MELFI, A.J. COMIN-CHIARAMONTI, P., BELLINI, G. 1989. Distribuição de Terras Raras e Outros Elementos Traços em Basaltos da Bacia do Paraná (Brasil Meridional). **Geochim. Brasil.**, 3, 1, 33-50.

MELFI, A.J. 1967. Potassium-Argon Dates for Core Samples of Basaltic Rocks from Southern Brazil. **Geochim. Chemoschim. Acta.**, 31, 1070-1089.

MELFI, A.J., PICCIRILLO, E.M. NARDY, A.J.R. 1988. Geological and Magmatic Aspects of the Paraná Basin. an Introduction. In.: **The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin. Petrogenetic and Geophysical Aspects**, E.M. PICCIRILLO & A.J. MELFI EDITORS, cap. I, 1-13, IAG-USP, São Paulo, Brazil.

MELFI, A. J.; MARQUES, L.S.; PICCIRILLO, E.M. & COMON-CHIARAMONTI, P. (1989). Geoquímica dos elementos terras raras em rochas vulcânicas. In : FORMOSO, M.L.L.; NARDY, L.V.S. & HARTMANN L. A. (eds). **Geoquímica dos elementos terras raras no Brasil**. CPRM/DNPM –SBGq, Rio de Janeiro, 23-33.

MESCHEDE, M., 1986. A Method of Discriminating between different types of Mid-Ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y Diagram. **Chemical Geology**, 56, 207-218.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L., 1994. Bacia do Paraná. **Rev. Geoc. Petrobrás**, 8(1), 69-82.

MILANI, E. J. et al, 1994. Bacia do Paraná, Rio de Janeiro: Petrobrás, **Bol. de Geociências**, v.8, n.1, 69-82.

MINIOLLI, B; POÇANO, W.L., OLIVEIRA, S.M.B., 1971. Extensão Geográfica do Vulcanismo Basáltico do Brasil Meridional. *Anais Acad. Brás. Ciênc.*, 43, 433-437.

MÜLLER, R. D.; ROYER, J. Y.; LAWVER, L. A. 1993. Revised plate motions relative to the hotspot from combines Atlantic and Indian Ocean hotspot track. *Geology*, 21: 275-278.

NARDY, A.J.R., 1988. Petrologia e paleomagnetismo das rochas vulcânicas da região centro-sul do Estado do Paraná: Formação Serra Geral. Dissertação de Mestrado. UNESP - Rio Claro.

NARDY, A.J.R., 1995. Geologia e Petrologia do Vulcanismo Mesozóico da Região Central da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado. UNESP - Rio Claro.

NARDY, A.J.R.; ENZWEILLER, J.; BAHIA FO, O.; OLIVEIRA, M.A.F.; PENEREIRO, M.A.V. 1997. Determinação de elementos maiores e menores em rochas silicáticas por espectrometria de fluorescência de raios-X: resultados

preliminares. Anais do VI Cong. Bras. Geoquim. (SBGq), Salvador, BA, 346-348.

NORTHFLEET, A. A., MEDEIROS, R. A. MULHMANN, A. 1969. Reavaliação dos Dados Geológicos da Bacia do Paraná. Bol. Técnico Petrobrás, 12, 3, 291-346.

OLIVEIRA, E. P. & MONTES, M. L. 1984. Os enxames de diques máficos do Brasil. XXXIII Congr. Brás. Geol., 4: 4137-4154.

PACCA, I. G. & ERNESTO, M. 1982. Utilização da variação paleossecular e de reversões do campo magnético para medidas de tempo decorrido entre eventos magmáticos sucessivos. XXXII Congr. Brás. Geol. Anais, 4: 1621-1628.

PEATE, D. W.; MANTOVANI, M. S. M.; HAWKESWORTH, C., 1988. Geochemical Stratigraphy of the Paraná Continental Flood Basalts – Borehole Evidence. **Rev. Bras. Geoc.**, 18(2), 212-221.

PEATE, D. W.; MANTOVANI, M. S. M.; HAWKESWORTH, C., 1992. Chemical Stratigraphy of the Paraná Lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bull. of Volcanology** ,55,119-139.

PEATE, D. W., 1997. The Paraná-Etendeka Province. In: Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism, 217-245.

PEARCE, J. A., 1975. Basalt Geochemistry used to Investigate Past Tectonic Environments on Cyprus. **Tectonophysics**, 25, 41-67.

PETRI, S. & FÚLFARO, V.J., 1983. Geologia do Brasil. Edit. T. A . Queiroz-EDUSP, 631.

PETRINI, R., CIVETTA, L., PICCIRILLO, E.M., BELLINI, G., COMINCHIARAMONTI, P., MARQUES L.S., MELFI, A.J. 1987. Mantle Heterogeneity

and Crustal Contamination in the Genesis of Low-Ti Continental Flood Basalts from the Paraná Plateau (Brazil). SR-Nd Isotope and Geochemical Evidence. *J. of Petrol.*, 28, 701-726.

PICCIRILLO, E.M. MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P., BELLINI, G., ERNESTO, M., MARQUES, L.S., NARDY, A.J.R., PACCA, I.G., ROISENBERG, A, STOLFA, D., 1987a. Continental Flood Volcanism from the Paraná Basin (Brazil). In.: *Continental Flood Basalts*, - J. D. MACDOUGALL ED., KLUWER ACAD. PRESS, DORDRECHT, HETHERLANDS, 195-238.

PICCIRILLO, E.M. RAPOSO, M.I.B., MELFI, A.J., COMIN-CHIARAMONTI, P., BELLINI, G., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K., 1987b. Bimodal, Fissural Volcanic Suites from the Paraná Basin (Brazil). K-Ar Age, Sr. Isotopes and Geochemistry. *Geochim. Brasil.*, 1,1, 53-69.

PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; MARQUES, L.S.; NARDY, A.J.R.; PACCA, I.G.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D., 1988. J.D. Macdougall (ed) *Continental Flood Basalts*, 195-238.

PICCIRILLO, E.M.; CIVETTA, L.; PETRINI, R.; LONGINELLI, A.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S. & MELFI, A.J. 1989. Regional variations within the Paraná flood basalts (southern Brazil): evidence for subcontinental mantle heterogeneity and crustal contamination. *Chemical Geology*, 75, 103-122.

RENNE, P. R., 1997. Geochronology of the Paraná-Etendeka Igneous Province. *SOUTH-AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 20-23

RENNE, P. R.; ERNESTO, M.; PACCA, I. G.; COE R, S.; GLEN J. M.; PRÉVOT, M.; PERRIN M., 1992. The Age of Paraná Flood Volcanism, Rifting of Gondwanaland and the Jurassic-Cretaceous boundary. **Science**, 258, 975-979.

RENNE, P. R.; DECKART, K.; ERNESTO, M.; FÉRAUD, G.; PICCIRILLO, E. M. 1996. Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil) and implications to Paraná flood volcanism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 144: 199-211.

RUEGG, N. R., 1969. Aspectos geoquímicos, mineralógicos e petrográficos de rochas basálticas da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado. Fac. Fil. Cienc. Letr., USP, São Paulo.

RUEGG N.R., 1975. Natureza serial do magmatismo basáltico da Bacia do Paraná. **Naturalia** , 1, 141-152.

RUEGG, N. R. & AMARAL, G. 1976. Variação regional da composição química das rochas basálticas da Bacia do Paraná. *Bol. IG – USP*, 7: 131-147.

SANFORD, R.M. & LANGE, F.W. 1960. Basin study approach for oil evaluation of Paraná miogeosyncline of south Brazil. *Bol. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 44, 1316-1370.

SARTORI, P.L.P., 1984. As principais Ocorrências de Rochas Vulcânicas Ácidas da Formação Serra Geral no Planalto do Paraná. ANAIS XXXIII CONG. BRAS. GEOL., (SBG), 4539-4547, Rio de Janeiro (RJ).

SARTORI, P.L.P., MACIEL F., C.M., MENEGOTTO, E. 1975. Contribuição ao Estudo das Rochas Vulcânicas da Bacia do Paraná na Região de Santa Maria, (RS). *Rev. Bras. Geoc.*, 5, 141-159.

SARTORI, P. L. P. & MACIEL, C. L. 1983. Petrografia das rochas ácidas da Formação Serra Geral na região do rio Paranapanema, SP. *Ciência e Natura*, 5: 19-23.

SARTORI, P.L.P., BORTOLLOTO, O., KAWASHITA, K. 1982. Os Principais Tipos de Rochas Vulcânicas da Bacia do Paraná no Planalto de Santa Catarina. *Ciência e Natura*, 4, 71-84.

SCHNEIDER, A. W. 1964. Contribuição à petrografia dos derrames basálticos da Bacia do Paraná. Publ. Avulsa, nº 1, Inst. Eng. Univ. do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

SCHNEIDER, A. W. 1970. Vulcanismo Basáltico da Bacia do Paraná; Perí Foz do Iguaçu – Serra da Esperança. XXIV Cong. Bras. Geol., 211-217, Brasília, D.F.

SCHNEIDER R. L., MUHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R.A. DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. Anais do XXVIII Congr. Brás. Geol. (SBG), 1, 41-65.

SOARES, P. C. & LANDIM, P. M. B. 1976. Comparison between the tectonic evolution of the intracratonic and marginal basins in South Brazil. An. Acad. Bras. Cienc., 48 (suplemento): 313-324.

SOARES. P. C. & LANDIM, P.M.B. & FÚLFARO, V. J., 1974. Avaliação preliminar da evolução geotectônica das Bacias Intracratônicas Brasileiras. Anais do XXVIII Cong. Bras. Geol. (SBG), 4, Porto Alegre, 61-83.

SOARES. P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; SOBREIRO NETO, A. F. 1980. Ensaio de Caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo. Grupo Bauru. Rev. Bras. Geoc., 10 (3): 177-185.

STEWART, K.; TURNER, S.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C. J.; KIRSTEIN, L.; MANTOVANI, M. S. M. 1996. 3-D ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology in the Paraná flood basalt province. Earth Planet. Sci. Lett., 143: 95-110.

SUÁREZ, J. M., 1973. Contribuição à Geologia do Extremo Oeste do Estado de São Paulo e R. de Janeiro. Bol. Geografia, 2. 34(248): 119-155

SUGUIO, K. & FULFARO, V. J. 1974. Diques clásticos e outras feições de contato entre arenitos e basaltos da Fm. Serra Geral. In: Cong. Bras. Geologia, 28, Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre, SBG. v.2, 107-117

SUGUIO, K.; FULFARO, V. J.; AMARAL, G.; GUIDORZI, L. A. 1977. Comportamentos estratigráficos e estruturais da Fm. Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (S. J. Rio Preto) e 9 (Araçatuba) do Estado de São Paulo. Atas do I Simp. Geol. Regional: 231-247. São Paulo

SUN, S. & MCDONOUGH, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunder, A. D. & Norry, A. (eds): Magmatism in ocean basins. Geol. Soc. Special Publication 42: 313-345.

HURTER, S. J.; POLLACK, H. N. 1994. Effect of the Cretaceous Serra Geral Igneous event on the temperatures and heat flow of the Paraná Basin, Southern Brazil. Basin Research, 6, 239-244.

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

WERNICK, E. & EBERT, H. 1967. Novas Observações sobre Rochas Basálticas nos Arredores de Rio Claro. Congresso Bras. Geologia, 21. Curitiba 1967, Anais SBG. 206-213

WERNICK, E. & LANDIM, P. M. B. 1966. Nota sobre Diabásio amigdaloidal em Rio Claro. Bol. Soc. Bras. Geologia, 15 (2): 60-66.

WHITE, I.C. 1908. Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra. Imp. Nac., 617pp, Rio de Janeiro, RJ.

YODER, H.S.; TILLEY, C.E., 1962. Origin of Basalt Magmas: An Experimental Study of Natural and Synthetic Rocks Systems. *J. Petrol.*, 3, 342-352.

ZANETIM, B. 1984. Proposed new chemical classification of volcanic rocks. Episodes, 7: 19-20.