

O MAGMATISMO ALCALINO POTÁSSICO PIRACAIA, SP (SE BRASIL): ASPECTOS COMPOSICIONAIS E EVOLUTIVOS

EBERHARD WERNICK¹; ANTONIO CARLOS ARTUR¹; PAUL KARL HÖRMANN²; KLAUS WEBER-DIEFENBACH³ & FERNANDO CÉSAR FAHL¹

ABSTRACT THE ALKALINE POTASSIC PIRACAIA MAGMATISM, SP (SE BRAZIL): COMPOSITION AND EVOLUTIONAL ASPECTS The Late Precambrian Piracaia massif (State of São Paulo, SE Brazil) comprises a rock-association of (quartz) diorites, (quartz) monzodiorites, (quartz) monzonites, (quartz) monzosyenites, (quartz) alkali-feldspar syenites and alkali-feldspar granites which result from the evolution of an alkaline transitional with (normative but not modal nepheline) high-K magma chemical features of alkaline, shoshonitic, *withinplate* and A magmatism, produced by of partial melting of an enriched sub-continental lithospheric mantle. During its initial evolution, under high-pressure conditions, the basic magma crosses the planes of critical silica-undersaturation and silica-saturation. Simultaneously the magma reaches compositions compatible with the system Kp-Ne-Q and then its further evolution follows two paths: one part of the magma trends to syenitic compositions, cooling on/near the Or-Ab thermal barrier whereas another evolves along the thermal valley of the Or-Ab-Q subsystem producing quartz syenites and granites. Regarding the REE, the Piracaia massif comprises three main rock types: primitive, without Eu-anomalies; evolved, with negative Eu-anomalies; and complex rocks, with positive Eu-anomalies, which result from the accumulation of variable amounts of fractionated minerals, mainly plagioclase. These rocks are also enriched in Y, Nb, Ga, etc.. Some of the magmatic pulses which built up the Piracaia massif are characterized by high Gd values.

Keywords: Piracaia massif, high-K magmatism, alkaline magmatism, geochemistry, magmatic evolution.

RESUMO O maciço Piracaia (SP), integrado por (quartzo) dioritos, (quartzo) monzodioritos, (quartzo) monzonitos, (quartzo) monzosienitos, (quartzo) álcali-sienitos e álcali-granitos é o resultado da evolução de um magma alcalino transicional (com nefelina na norma mas ausente na moda) de alto potássio com feições geoquímicas típicas para as séries alcalina e shoshonítica, e para magmatismos tipo *intraplaca* e A. O magmatismo resulta da fusão de um protólito do manto litosférico continental enriquecido em elementos incompatíveis. A evolução do magma, sob condições de alta pressão e enquanto básico, se faz pelo cruzamento do plano crítico de sílica-substituição e do plano de sílica-saturação. Simultaneamente são alcançadas composições compatíveis com o sistema Kp-Ne-Q e, então, o magma evolui por duas vias: uma parte tende para composições traquíticas, consolidando nas imediações do divisor térmico Or-Ab e outra parte evolui ao longo do vale térmico do subsistema Or-Ab-Q originando quartzo sienitos e granitos. Em termos dos ETR, coexistem no maciço Piracaia principalmente três tipos de rochas: primitivas, sem anomalias de Eu; evoluídas, com anomalias negativas de Eu; e complexas, com anomalias positivas de Eu, que resultam do acúmulo dos minerais fracionados, principalmente plagioclásios. Estas rochas são também enriquecidas em Y, Nb, Ga, etc.. Alguns pulsos do magmatismo Piracaia são caracterizados por elevados teores de Gd.

Palavras-chaves: Maciço Piracaia, magmatismo alto-K, magmatismo alcalino, geoquímica, evolução magmática.

INTRODUÇÃO O maciço Piracaia (SP) é a maior manifestação do magmatismo homônimo no complexo granitóide plurisserial Socorro (SP/MG) (Fig. 1), que compreende também granitóides de origem crustal (magmatismo Nazaré Paulista) e de natureza cálcio-alcalina (magmatismo Socorro I e Socorro II) (Artur *et al.* 1991a, 1993). O maciço, compreendendo (quartzo) monzodioritos, (quartzo) monzonitos, quartzo álcali-sienitos e álcali-granitos, foi estudado inicialmente por Cavalcanti & Kaefer (1974) e Campos Neto & Artur (1983) e parte dos dados de uma abordagem mais detalhada, executada por Janasi (1986), são apresentados por Janasi & Ulbrich (1987) e complementados por Artur *et al.* (1993, 1994a). Existem controvérsias sobre a natureza serial do magmatismo Piracaia, considerado ora como alcalino potássico (Janasi 1986), ora como alcalino transicional potássico com afinidades shoshoníticas (Artur *et al.* 1993), alcalino potássico shoshonítico (Artur *et al.* 1994a), alcalino transicional potássico (Artur *et al.* 1994b) ou simplesmente com afinidade shoshonítica (Gomes & Platevoet 1994).

Dada a escassez do magmatismo shoshonítico no Estado de São Paulo, sua importância como indicador geotectônico e a presença de corpos com afinidade shoshonítica num contexto geológico semelhante no Estado do Espírito Santo (Wiedemann *et al.* 1986), o presente trabalho tem como objetivo uma precisa caracterização geoquímica do maciço

Piracaia baseada em elementos maiores, menores, traços e de terras raras, bem como discutir a sua evolução magmática.

GEOLOGIA DO MACIÇO PIRACAIA O maciço Piracaia (Fig. 2) situado nos arredores da cidade homônima, extremo ENE do Estado de São Paulo, constitui um corpo com forma de "gota" alongada orientado segundo N30E. Medindo cerca de 14,5 km de extensão, largura máxima de 3,5 km e área de exposição da ordem de 28 km², é uma das maiores manifestações do magmatismo Piracaia (Artur *et al.* 1991a, b, 1994a, b) que ocorre desde o nordeste do Estado de São Paulo até o Estado do Espírito Santo (Wiedemann *et al.* 1986, Bayer *et al.* 1987). O maciço acha-se embutido quer nos granitos cálcio-alcalinos do Complexo Granitóide Socorro quer nos metassedimentos de médio grau metamórfico, mais ou menos migmatizados, do Complexo Itapira, fonte do magmatismo anatómico crustal Nazaré Paulista.

As relações temporais entre os magmatismos Socorro I, Socorro II, Piracaia e Nazaré Paulista, em termos das fases tectônicas de cavalgamento e de transcorrência que afetaram o embasamento cristalino da região nordeste do Estado de São Paulo, foram estudadas por Artur *et al.* (1991a) e seu estudo químico comparativo é devido a Artur *et al.* (1993). Segundo Artur *et al.* (1991a) o magmatismo Piracaia desenvolveu-se durante o evento de transcorrência que, ao nível regional, afetou os corpos do magmatismo Socorro I, sendo

* Departamento de Petrologia e Metalogenia - DPM - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Caixa Postal 178 - FAX (019)524-9644, CEP 13.506-900 - Rio Claro - São Paulo - Brasil

** Mineralogisch-Petrographisches Institut und Museum, Christian - Albrechts Universität, Olshausenstrasse 40, D-24098 - Kiel, Alemanha

*** Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, Ludwig - Maximilians - Universität, Luisenstrasse 37, D-80333 - München 2, Alemanha

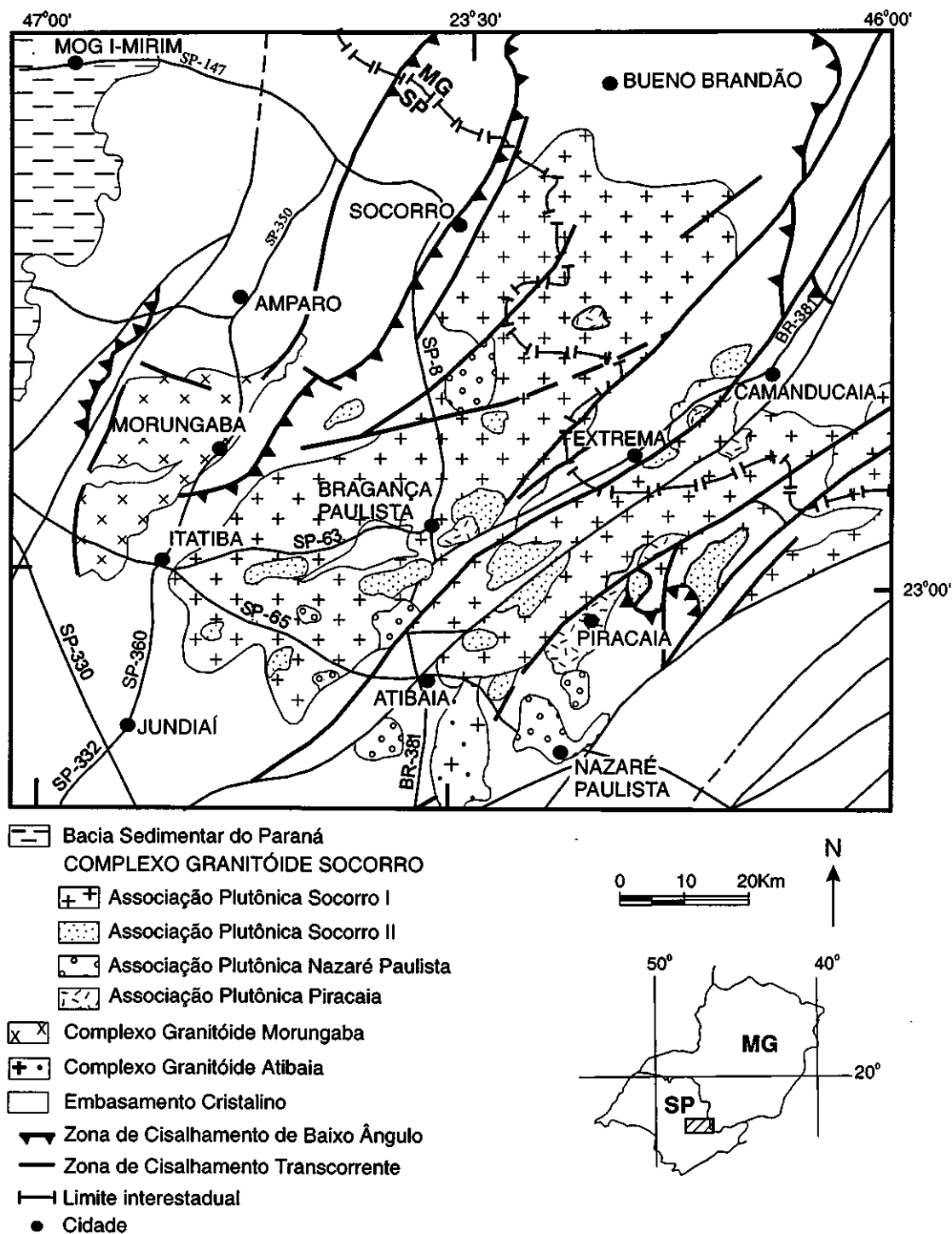


Figura 1 - Estruturação e associações plutônicas do complexo granitóide Socorro, estados de São Paulo e Minas Gerais (segundo Artur et al 1993)

Figure 1 - Magmatic architecture and plutonic associations of the Socorro granitoid complex, States of São Paulo and Minas Gerais, after Artur et al (1993)

isócrona a posterior em relação ao magmatismo Socorro II, cuja idade varia entre 550 e 500 Ma (Wernick et al 1981, Vlach & Cordani 1986, Artur 1988). A isócrona Rb/Sr de referência de 580 ± 13 Ma, obtida por Janasi & Ulbrich (1987) para o maciço Piracaia (incluindo rochas anteriores e posteriores à fase de transcorrência), coaduna-se com este intervalo temporal.

Estudos geológicos, petrográficos, mineralógicos e químicos são devidos principalmente a Cavalcante & Kaefler

(1974), Campos Neto & Artur (1983), Janasi (1986), Janasi & Ulbrich (1987) e Artur et al (1991a, b, 1993, 1994a, b). Janasi (1986) reconheceu cerca de trinta fácies petrográficas que foram reunidas por Janasi & Ulbrich (1987) em seis fácies mapeáveis na escala 1:25.000. Entre as rochas dominam dioritos, quartzo dioritos, monzodioritos, quartzo monzodioritos, monzonitos e quartzo monzonitos, ao lado de álcali-sienitos, quartzo álcali-sienitos e álcali-granitos. Em alguns casos, as rochas mais evoluídas constituem um com-

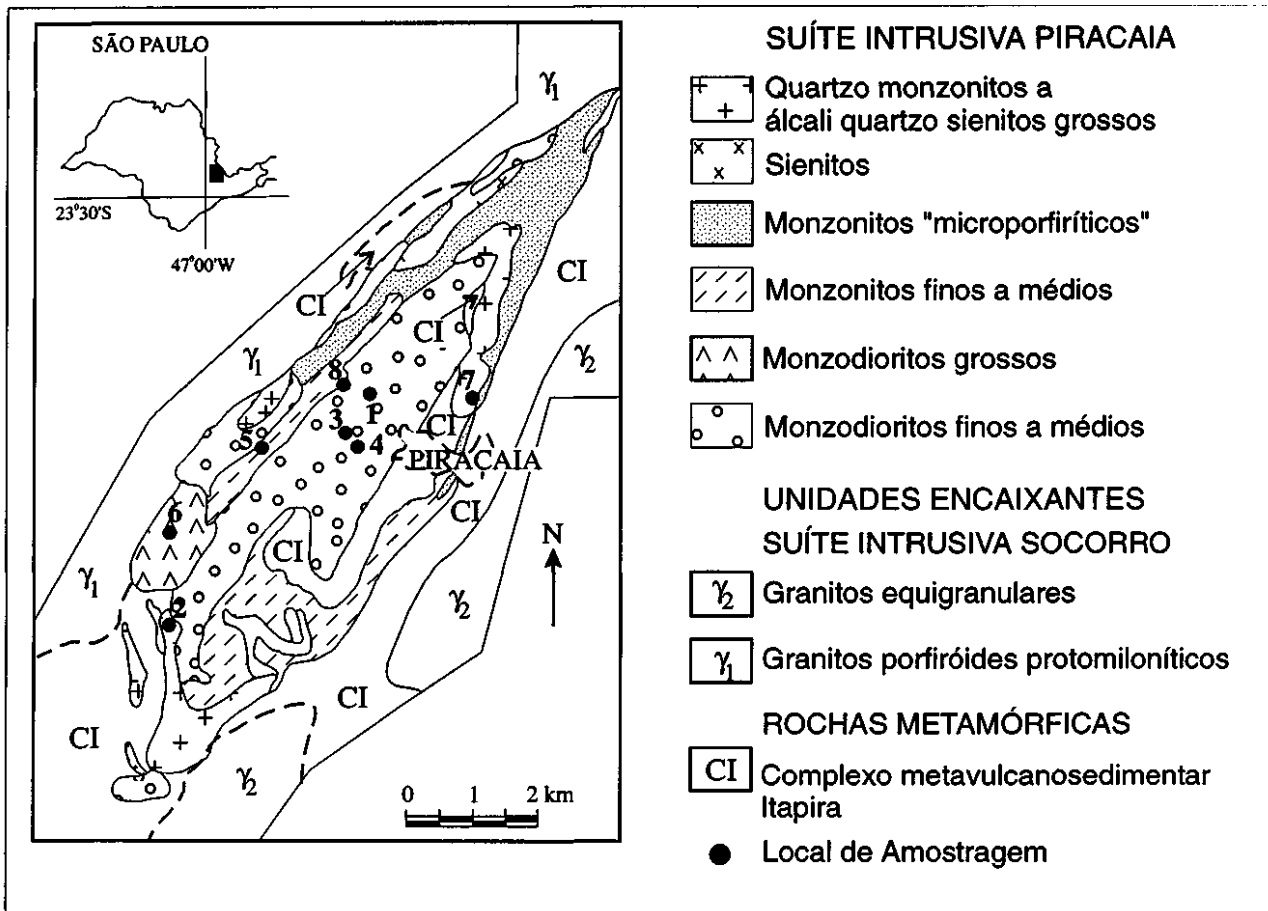


Figura 2 - Estruturação magmática do maciço Piracaia, SP, segundo Janasi (1986), modificado. • Localização das amostras da tabela 1: 1 = Pir-1A, Pir-8A, Pir-9A; 2 = Pir-11A; 3 = Pir-14A; 4 = Pir-16A; 5 = Pir-18A, Pir-19A; 6 = Pir-20A; 7 = Pir-21A; 8 = Pir-26A, Pir-27A.

Figure 2 - Magmatic architecture of the Piracaia massif, SP, modified from Janasi (1986). • Localization of samples of table 1: 1 = Pir-1A, Pir-8A, Pir-9A; 2 = Pir-11A; 3 = Pir-14A; 4 = Pir-16A; 5 = Pir-18A, Pir-19A; 6 = Pir-20A; 7 = Pir-21A; 8 = Pir-26A, Pir-27A.

plexo sistema de veios anastomosados resultante de sua injeção em rochas mais máficas e, em parte, ainda com elevada plasticidade. Característica é a grande variabilidade litológica em pequenas áreas de exposição e a colocação do magma em rochas encaixantes rúpteis e semi-rúpteis. Marcante é o efeito da deformação regional superimposta e vinculada principalmente à fase de transcorrência, responsável tanto pelo formato alongado do maciço quanto pela geração de uma foliação tectônica mais ou menos intensa e presente em quase todas as rochas. Esta intensa deformação cisalhante, acompanhada de recristalização de quartzo e de feldspatos, quer do maciço quer das rochas magmáticas encaixantes, imprime às rochas feições mais ou menos patentes de ortognaisses.

ASPECTOS PETROGRÁFICOS As rochas das diferentes fácies petrográficas do maciço Piracaia incluem termos texturais equigranulares (muito finos, finos, médios e grossos), inequigranulares e porfiríticos e seu índice decoloração modal, que varia entre mais de 30 até menos de 10, acompanha, a grosso modo, tanto o teor de plagioclásio nas rochas quanto à basicidade dos mesmos em termos do teor de An.

A mineralogia das rochas compreende quantidades variáveis de plagioclásio, feldspato alcalino (microclínio, ortoclásio e albita), clinopiroxênios cálcicos, hornblenda (incluindo Fe-hastingsita) e biotita, ao lado de acessórios dados por opacos, titanita, allanita, apatita, zircão e outros. Ortopiroxênio (Fe-hiperstênio) restringe-se a algumas rochas mon-

zônicas. Albita aparece como fase mineral isolada nas fácies altamente diferenciadas representadas pelos álcali-quartzos sienitos e álcali-granitos.

As composições modais das rochas do maciço Piracaia determinam, no diagrama QAP da IUGS (Lê Maitre 1989), uma curva de variação contínua paralelamente e muito próxima o lado AP, compatível, segundo Janasi (1986), com a série alcalina de Lameyre & Bowden (1982).

A biotita, que localmente pode ocorrer sob forma de fenocristais, mostra nítido incremento na razão Fe/(Fe+Mg) em relação aos termos mais básicos. Esta mesma tendência, embora menos evidente que na biotita, é exibida pelo clinopiroxênio cálcico, geralmente do tipo augítico, quase sempre caracterizado por lamelas de exsolução de pigeonita. Destaca-se, entretanto, que em alguns dioritos e monzonitos tanto os cristais maiores de biotita quanto os de clinopiroxênio mostram crescentes razões Mg/(Mg+Fe) do centro para a borda e cuja biotita da matriz se faz acompanhar por uma diminuição nas proporções de Ti e Ba, fenômeno este atribuído por Janasi (1986) a um reequilíbrio das fases minerais em estado pós-cristalino por ação de metamorfismo superimposto.

O ortopiroxênio é bastante restrito e sua ocorrência está limitada a alguns monzonitos. Os dois tipos de piroxênio exibem tendências semelhantes, com núcleos enriquecidos em Fe e Al e empobrecidos em Mg, caso do ortopiroxênio, e em Ca, no clinopiroxênio (Janasi 1986).

Os anfibólios estão representados por hornblenda, bem como pela actinolita e commingtonita secundárias (Janasi 1986). A hornblenda é frequentemente heterogênea, apresentando variações químicas que envolvem principalmente as proporções de Mg, Fe e Al, tanto entre a borda e o centro quanto entre domínios distintos dentro de um mesmo cristal. Janasi (1986) considera a hornblenda como de origem secundária, resultante da ação metamórfica sobre clinopiroxênio e, em alguns casos, pela transformação de outro anfibólio precoce.

Os feldspatos são as fases minerais principais das rochas do maciço Piracaia, sendo que o quartzo situa-se entre ausente e cerca de 2% na maioria das fácies, com certo enriquecimento apenas nos termos altamente diferenciados e nos colocações tardias.

Os megacristais de plagioclásio, bem como os cristais maiores das rochas inequi- e equigranulares de granulação média e grossa, mostram-se invariavelmente zonados. Nos monzodioritos e monzonitos menos diferenciados o núcleo é de andesina cálcica ou, excepcionalmente, de labradorita sódica (até An_{60}) e as bordas variam entre andesina sódica e oligoclásio. Nas rochas mais diferenciadas a composição do plagioclásio é bastante sódica (oligoclásio) e, em alguns casos, a albita se faz presente. Fenocristais de plagioclásio com bordas corroídas, presentes em monzodioritos e monzonitos isentos de quartzo, levaram Janasi (1986) a considerar a existência de processos de cristalização magmática em desequilíbrio no referido maciço. Ainda, segundo Janasi & Ulbrich (1987), os plagioclásios, juntamente com as biotitas,

representam as fases minerais iniciais da cristalização magmática. Desta maneira os elevados teores de fenocristais de plagioclásio presentes em algumas rochas mais básicas indicariam para as mesmas uma natureza cumulática.

TIPOLOGIA DE ZIRCÃO Estudos de tipologia de zircão do maciço Piracaia são devidos a Artur *et al.* (1994a) e envolvem o exame de populações de zircão de onze amostras incluindo dioritos, monzonitos, monzodioritos e quartzo sienitos. Os resultados situam as rochas do maciço transicionalmente entre a série cálcio-alcálica de alto potássio (série 4c) e a série subalcalina potássica (série 5) na classificação de Pupin (1980) e indicam temperaturas médias de fim de cristalização deste mineral entre 800 e 850°C.

DADOS GEOQUÍMICOS O presente trabalho baseia-se em 56 análises químicas, sendo 4 extraídas de Campos Neto *et al.* (1983), 10 de Janasi (1986), 30 de Artur *et al.* (1993) e de 12 análises inéditas realizadas no Mineralogisch-Petrographisches Institut und Museum da Christian-Albrechts Universität, Kiel, Alemanha, e representadas na Tabela I. Elementos maiores e menores foram determinados via FRX e os elementos terras raras via ICP.

TRATAMENTO DOS DADOS GEOQUÍMICOS
Diagramas de Harker Nas figuras 3 e 4 constam, respectivamente, os diagramas de Harker para os elementos químicos maiores (Al_2O_3 , MgO, CaO, $Fe_2O_3^t$, K_2O , Na_2O , FeO e Fe_2O_3), menores (TiO_2 , MnO e P_2O_5) e traços (Rb, Ba,

Tabela 1 - Análises químicas (% em peso para óxidos e em ppm para elementos de terras raras) de rochas do maciço Piracaia, SP
Table 1 - Chemical analyses (oxydes, in weight %; rare earth elements, in ppm) for rocks from Piracaia the massif, SP

Amostra	pir-1A	pir-8A	pir-9A	pir-11A	pir-14A	pir-16A	pir-18A	pir-19A	pir-20A	pir-21A	pir-26A	pir-27A
SiO ₂	52,20	52,51	52,33	59,71	52,49	53,06	54,95	57,60	47,89	67,34	57,12	59,86
TiO ₂	2,34	2,51	2,20	0,77	1,96	1,97	1,93	1,56	3,18	0,37	1,22	1,02
Al ₂ O ₃	17,79	17,80	17,79	18,68	17,93	17,64	18,39	18,19	17,52	16,26	18,34	17,70
Fe ₂ O ₃	3,33	3,77	3,85	1,94	3,37	3,27	3,41	2,59	3,73	1,22	1,34	3,09
FeO	4,89	4,69	4,53	2,71	4,59	5,05	2,81	2,81	5,88	1,09	4,47	2,25
MnO	0,16	0,15	0,17	0,11	0,15	0,17	0,12	0,12	0,16	0,08	0,13	0,16
MgO	3,00	2,90	2,77	0,93	2,51	2,49	2,03	1,44	3,91	0,24	1,28	0,71
CaO	4,57	4,13	4,67	2,39	5,55	4,15	4,36	3,27	8,14	1,04	3,59	2,09
Na ₂ O	4,27	3,33	3,32	4,29	3,80	3,96	4,21	4,28	3,31	3,83	4,23	4,52
K ₂ O	4,19	5,28	5,34	6,69	4,90	4,95	4,69	5,78	3,09	6,49	5,73	6,40
P ₂ O ₅	1,20	1,04	1,01	0,28	0,97	1,14	0,58	0,47	1,47	0,04	0,41	0,20
LOI	1,34	1,22	1,38	1,31	1,50	1,20	1,38	1,37	0,93	1,00	1,37	1,35
Total	99,28	99,33	99,36	99,81	99,72	99,05	98,86	99,48	99,21	99,00	99,23	99,35
La	75,5	75,6	51,5	127	49,8	84,5	45,4	46,3	59,8	173	67	89
Ce	163	173	117	250	117	173	93,1	95,6	131	283	141	185
Nd	72,3	82,5	57,4	91,1	63,5	77,5	39,8	44,3	63	83,3	61	77,6
Sm	11,1	13,4	9,22	13,2	10,9	11,8	7,37	7,37	11	8,31	9,18	11,2
Eu	3,37	3,46	2,61	3,53	2,84	3,28	3,14	3,49	2,96	1,16	2,22	2,26
Gd	8,56	29,6	13,6	10	6,95	24	6,16	5,97	7,67	4,62	6,79	7,5
Tb	-	1,31	1,04	-	-	1,31	-	-	-	-	-	-
Dy	6,32	6,84	5,85	8,23	4,96	6,93	4,33	4,59	5,82	3,76	5,95	5,43
Ho	1,1	1,25	1,03	11,52	0,9	1,32	0,74	0,81	1	0,74	1,18	1,05
Er	2,94	3,38	2,96	4	2,32	3,08	1,77	2,22	2,82	2,06	3,12	3,04
Yb	2,67	3	2,46	3,54	1,94	2,53	1,57	1,81	2,18	2	2,74	3,2
Lu	0,42	0,49	0,4	0,56	0,31	0,38	0,24	0,34	0,37	0,35	0,46	0,56

Sr, Zr, Ni, Nb, Y e Ga). Em relação às mencionadas figuras cabe destacar:

- a suíte magmática Piracaia (SMP) é quimicamente expandida, com teores de SiO_2 variando entre 48 e 68% em peso;
- os dados de Al_2O_3 definem uma curva convexa com apogeu entre 55 e 60% de SiO_2 (Fig. 3A). O mesmo ocorre em relação ao Na_2O cujos valores mais elevados correspondem a rochas com 60 e 65% de SiO_2 (Fig. 3F);
- existe correlação negativa entre SiO_2 e CaO , MgO , Fe_2O_3 , FeO , Fe_2O_3^t , TiO_2 , MnO , P_2O_5 e Sr, ressaltando-se a existência de dois ramos neste último diagrama (Figs. 3 e 4);
- ocorre correlação positiva entre SiO_2 e K_2O , Rb e Zr. Principalmente o comportamento do K_2O e Zr (Figs. 3E e 4D) é característico para rochas alcalinas potássicas.

Correlação entre Litoquímica e Mineralogia

A correlação entre a composição química e a mineralogia das rochas da suíte Piracaia é expressa pelos diagramas molares ACF (Fig. 5A) de Chappell & White (1992) e AB (Fig. 5B) de Debon *et al.* (1988). No primeiro diagrama os dados situam-se no campo das rochas portadoras de biotita + hornblenda e, no segundo, no campo das rochas com biotita + anfíbólio \pm clinopiroxênio \pm ortopiroxênio, fato que se coaduna com a mineralogia das rochas e seu caráter essencialmente metaluminoso (Fig. 6A) e revela a qualidade das análises químicas aqui utilizadas.

Caracterização Serial A caracterização serial do magmatismo Piracaia baseia-se essencialmente nos diagramas AFM (Fig. 6B), SiO_2 vs. $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ (Fig. 6C), SiO_2 vs. K_2O (Fig. 6D), K_2O vs. Na_2O (Fig. 6E), R_1 vs. R_2 (Fig. 7A), e no índice de Alcalinidade de Peacock (Fig. 6F). Em relação às mencionadas figuras cabe destacar:

- no diagrama AFM os dados alinham-se sobre a tendência evolutiva média das rochas alcalinas, mais rica em FeO_t que a tendência evolutiva da série shoshonítica;
- no diagrama SiO_2 vs. $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ os dados situam-se no campo das rochas alcalinas;
- no diagrama SiO_2 vs. K_2O os dados situam-se no campo das rochas shoshoníticas;
- o diagrama K_2O vs. Na_2O confirma o caráter alto potássio do magmatismo Piracaia no qual esta relação é quase sempre superior a 1;
- no diagrama R_1 vs. R_2 os dados seguem a curva evolutiva da série shoshonítica de Pagel & Leterrier (1980) caracterizada pela coexistência de rochas insaturadas mais básicas situadas à esquerda, mas próximas, do plano crítico de sílica-subsaturação (representado neste diagrama pela bisetriz R_1R_2) e rochas mais evoluídas, saturadas e supersaturadas com disposição aproximadamente paralela ao eixo R_1 ;
- o diagrama $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}):\text{SiO}_2:\text{CaO}$ define um índice de Alcalinidade de Peacock próximo de 48 que caracteriza a suíte Piracaia como alcalina.

Este conjunto de feições enquadram o magmatismo Piracaia na maioria das feições geoquímicas da série shoshonítica como definidas por Joplin (1968), Tauson (1983) e Pearce (1982). Entretanto, seguindo os critérios de Morrison (1980) os valores de Ti, Zr, Nb e Y seriam mais indicativos para a série alcalina potássica. Este autor também descarta a presença de rochas básicas insaturadas na série shoshonítica.

Temperatura e Ambiente Geotectônico Dados de tipologia de zircão da suíte Piracaia (Artur *et al.* 1994a) indicam índices de Temperatura (IT) entre 600 e 700 para a cristalização final deste mineral acessório e que correspondem à temperaturas entre 800 e 850°C (Pupin 1980). Estes dados caracterizam o magmatismo Piracaia como de alta

temperatura, feição típica do magmatismo intraplaca. Este posicionamento geotectônico é confirmado pelos diagramas $10000^* \text{Ga}/\text{Al}$ vs. $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$, $[(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}]$, $\text{K}_2\text{O}/\text{MgO}$, Zr, Nb e Y (Fig. 8) e $(\text{Y}+\text{Nb})$ vs. Rb (Fig. 9 A), que classificam o magmatismo, respectivamente, como do tipo A (Whalen *et al.* 1987) ou *intraplaca* (Pearce *et al.* 1984). Ambas as classificações caracterizam magmatismos ricos em elementos HFS e indicam, dado o enriquecimento destes elementos nos minerais acessórios, tanto gênese por fusão parcial sob altas temperaturas quanto fracionamento mineral a partir de magma basáltico alcalino. Cabe ressaltar, aqui, as limitações das interpretações das figuras 8 e 9A, dada sua aplicação em rochas granitóides representadas no maciço Piracaia apenas pelos quartzo-sienitos e álcali-granitos. Entretanto, partindo-se do outro extremo, também o diagrama Ta/Yb vs. Ce/Y (Fig. 9B), desenvolvido para rochas basálticas, caracteriza o magmatismo Piracaia como intraplaca alcalino. Tal fato é corroborado tanto pelos altos teores de TiO_2 , quase sempre superiores a 1% (Fig. 3), quanto pelo diagrama TiO_2 vs. Zr (Fig. 7B) no qual os dados seguem a tendência evolutiva de magmatismos intraplaca alcalinos de Pearce (1982).

Fracionamento Magmático A caracterização da suíte Piracaia como geoquimicamente expandida (Fig. 7A), a coexistência de rochas normativas insaturadas a supersaturadas e as correlações nos diagramas de Harker (Figs. 3 a 4), sugerem a existência de fracionamento magmático envolvendo minerais acessórios, sílicos e máficos, processo facilitado pela elevada temperatura inicial do magma. Por outro lado, a dispersão de alguns óxidos nos diagramas de Harker (Figs. 3 a 4) e a clara existência de dois ramos em outros, caso do Sr, Nb, Y e Ga (Figs. 4C, 4F, 4G e 4H), são feições indicativas de processos cumuláticos envolvendo principalmente feldspatos, ao lado de minerais acessórios e máficos, já sugeridos por Janasi (1986) em bases petrográficas, modais e texturais.

A figura 7C reúne sinopticamente muitos aspectos químicos da evolução global do magma Piracaia caracterizada por progressivo enriquecimento absoluto ou relativo em Si, K, Fe e Na, empobrecimento em Mg e Ca e pequenas variações no AL A figura 7A mostra que esta variação ocorre em duas etapas distintas. Numa primeira, o magma desloca-se a grosso modo paralelamente à bisetriz R_1R_2 , indicando simultânea e acentuada diminuição nos índices R_1 $[4\text{Si}-\text{II}(\text{Na}+\text{K})-2(\text{Fe}+\text{Ti})]$ e R_i $(6\text{Ca}+2\text{Mg}+\text{Al})$ enquanto na segunda, quando o magma cruza o plano de sílica-insaturação, ocorre significativo aumento no índice R_1 acompanhado de pequena diminuição no índice R_2 . Tal fato indica, na fase inicial da evolução magmática, o fracionamento simultâneo de plagioclásio, minerais acessórios e máficos. O diagrama SiO_2 vs. $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$ da figura 10A revela que a evolução do magma Piracaia ocorre sob crescentes condições de oxidação resultante de um enriquecimento gradual no teor de água e que encontra reflexo na presença, em algumas partes do complexo, de numerosos pegmatitos quer irregulares e com contatos difusos quer retilíneos e com contatos nítidos, parte dos mesmos enriquecidos em Gd (Fig. 12D). O gradual aumento da participação da fase fluida na evolução magmática é retratado por rochas com crescentes relações Rb/K (Fig. 10B).

Fracionamento de Fases Minerai A evolução magmática global do magma Piracaia, caracterizado no item precedente, resulta do isolamento/acúmulo de minerais acessórios, máficos e sílicos cujo comportamento pode ser analisado através de numerosos diagramas.

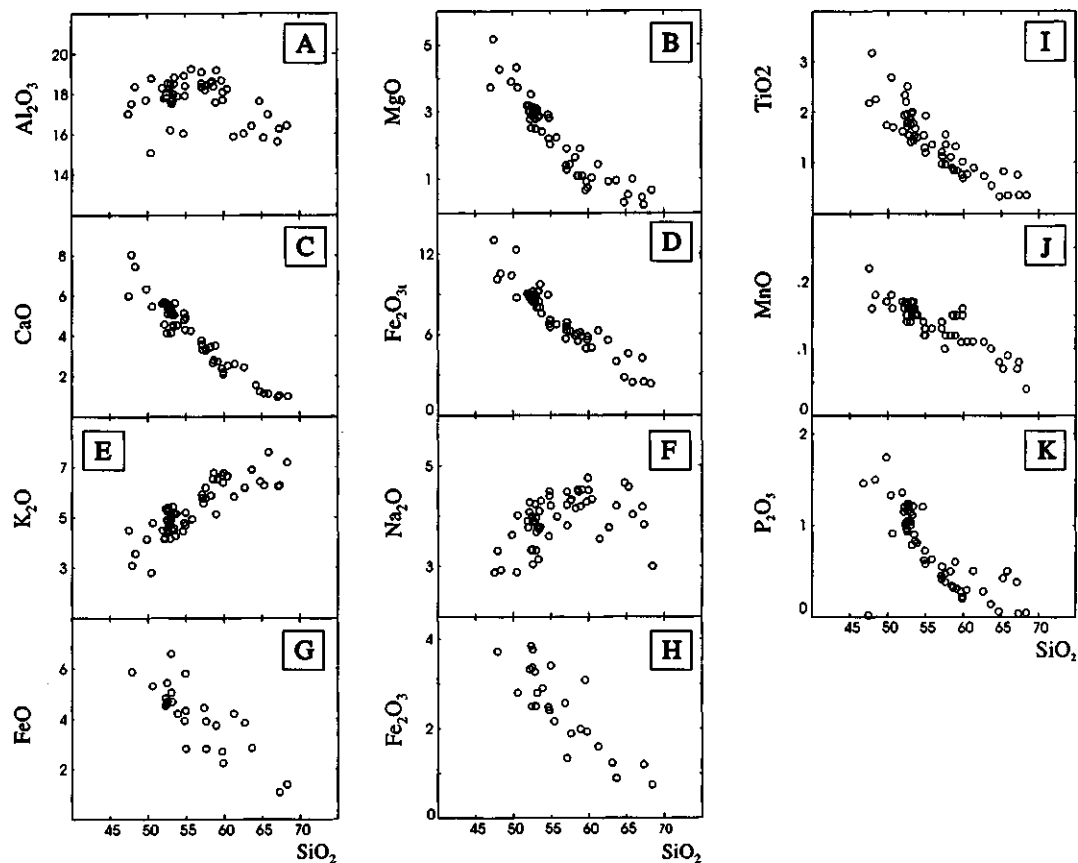


Figura 3 - Diagramas Harker: elementos maiores e menores.

Figure 3 - Harker diagrams: major and minor elements.

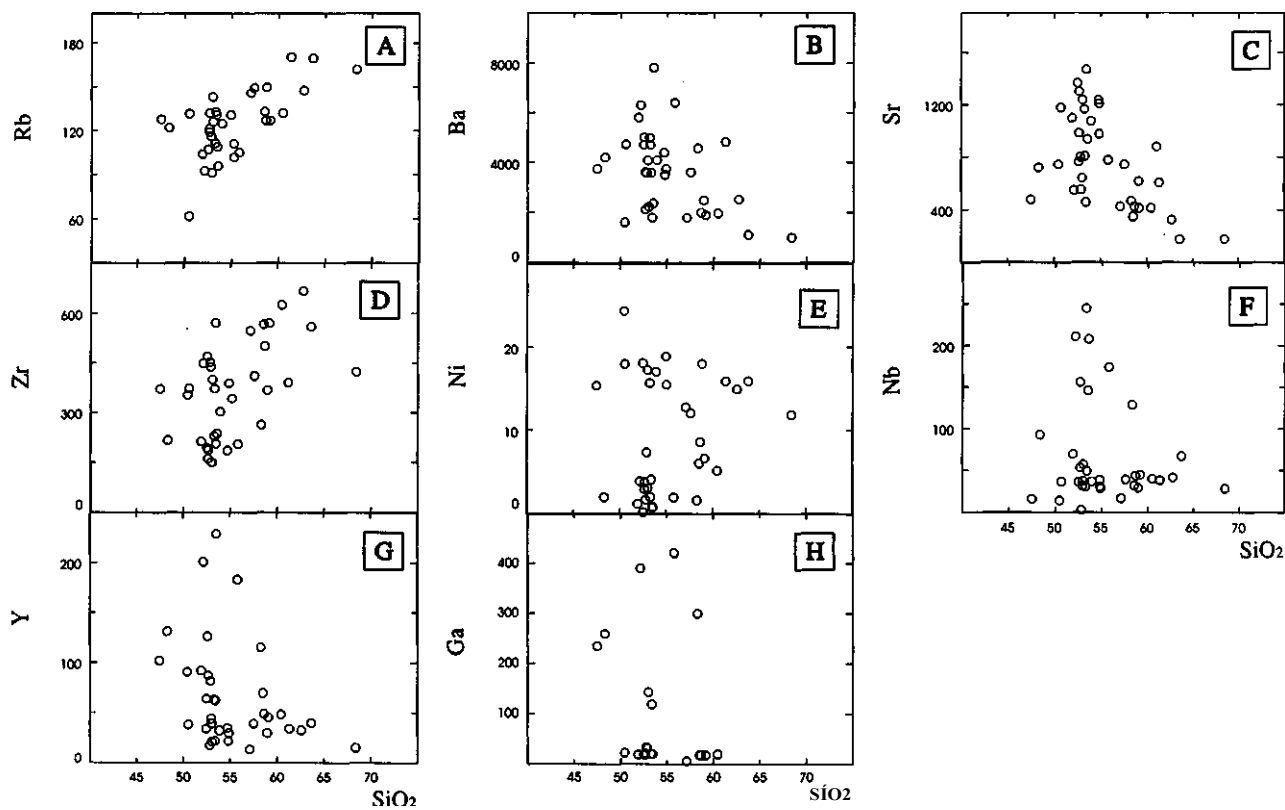


Figura 4 - Diagramas Harker: elementos traços.

Figure 4 - Harker diagrams: trace elements.

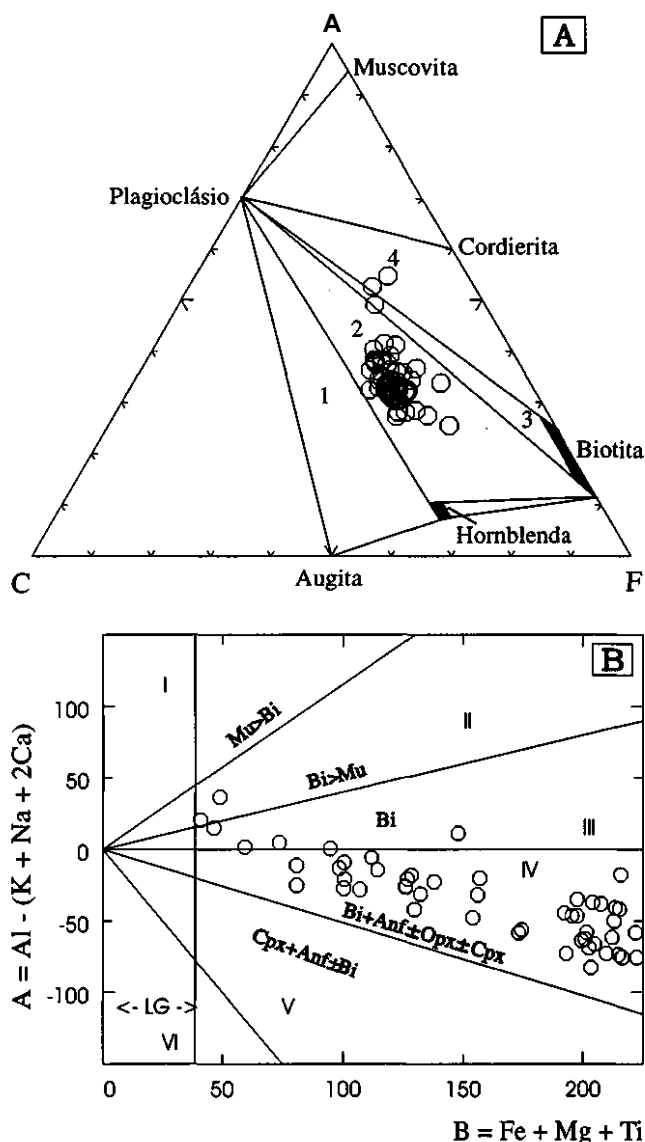


Figura 5 - Composição mineralógica da suíte Piracaia determinada em diagramas catiônicos. A - Diagrama catiônico ACF segundo Chappell & White (1992), modificando, mostrando os diferentes campos para os granitos com augita e hornblenda (campo 1) e biotita (campo 2), granitos somente com biotita (campo 3) e granitos com cordierita, granada, muscovita, etc. (campo 4); B - Diagrama alumina saturação A:B (campos composicionais segundo Debon et al., 1988).
 Figure 5 - Mineralogical composition of the Piracaia suite determined by cationic diagrams: A - ACF cationic diagram according to Chappell & White (1992), showing the different fields for granites with augite and hornblende (field 1) and biotite (field 2), granites with biotite (field 3) and granites with cordierite, garnet, muscovite, etc. (field 4); B - A:B alumina-saturation diagram (compositional fields according to Debon et al., 1988).

Os diagramas SiO₂ vs. P₂O₅, Zr e Y das figuras 3K e 4D e 4G, sugerem um fracionamento precoce de apatita e allanita, mas não de zircão.

O comportamento dos feldspatos é visualizado no diagrama K₂O:Na₂O:CaO da figura 10C revelando que a diminuição progressiva do teor de An no plagioclásio é acompanhado por crescentes teores de feldspato potássico nas rochas, aspectos que se coadunam com os dados modais. Variadas relações entre Rb, Sr, Ba, CaO e K₂O estão representados nas figuras 10D e 11. O diagrama Rb:Ba:Sr da figura

10D caracteriza os elevados teores relativos de Ba do magmatismo Piracaia, feição típica do magmatismo basáltico alcalino, e a figura 11 ressalta a correlação positiva entre Sr e CaO, Rb e K₂O e entre Sr e Ba, bem como a correlação negativa entre o teor de Ba e o total de álcalis. A correlação positiva entre Sr e CaO (Fig. 11 A), este concentrado principalmente no plagioclásio, é importante para a confirmação da existência de rochas cumuláticas essencialmente pela concentração de plagioclásio e acessórios como sugerido pelas figuras 4C, 4F, 4G e 4H. Particularmente o Ga que se concentra no plagioclásio é indicativo do processo cumulático (Fig. 4H). A formação de rochas cumuláticas ricas em plagioclásio é também bem retratada pelos padrões de ETR da figura 12 que incluem rochas sem anomalias de Eu (Fig. 12A), rochas com anomalias negativas de Eu devido ao fracionamento de plagioclásio (Fig. 12B) e rochas cumuláticas ricas em plagioclásio com anomalias positivas em Eu (Fig. 12C).

O fracionamento dos minerais fênicos encontra sua expressão no índice de coloração modal e normativo e nos diagramas SiO₂ vs. FeO, Fe₂O₃, MgO, TiO₂ e MnO das figura 3, e o aumento da relação entre Fe e Mg observado do centro para as bordas nos minerais máficos zonados (Janasi 1986) encontra sua equivalência geoquímica ao nível da evolução magmática nas figuras 6B, 7C e 10 A, entre outras.

A influência dos diferentes minerais máficos e do plagioclásio na evolução do magma Piracaia está mostrada na figura 13, que combina dados químicos de rochas com os dados químicos de minerais (orto- e clinopiroxênios, anfibólios e micas) de Janasi (1986). A figura sugere que a evolução magmática é controlada principalmente pelo fracionamento de anfibólio, (± piroxênio) e plagioclásio, sendo negligível a da biotita.

Aspectos Genéticos A caracterização do magmatismo Piracaia como alcalino, alto K, tipo *intraplaca*, A e de alta temperatura, remete a sua gênese à fusão parcial substancial de um protólito situado num manto litosférico subcontinental enriquecido em elementos incompatíveis (Fig. 16). Baseado na proposta de Brown et al. (1984) do rastreamento de fontes genéticas pela relação entre elementos LIL e HFS, a figura 14 mostra as relações Rb vs. Y, Rb vs. Nb, Rb/Zr vs. Y, Rb/Zr vs. Nb, SiO₂ vs. Rb/Y e SiO₂ vs. Rb/Nb da suíte Piracaia, indicativas de uma gênese a partir de um manto fértil.

Da fusão do manto litosférico enriquecido resulta um magma básico alcalino transicional (com nefelina na norma mas ausente na moda) alto-K, cuja formação ocorreu sob condições de alta pressão (Fig. 15B) aproximadamente na interface crosta/manto. A evolução segue seu início aproximadamente o plano crítico de sílica-insaturação Ol-Cpx-Plag do tetraedro basáltico (Figs. 7A e 15B). Este plano pode ser lançado no diagrama TAS (Fig. 15 A) baseado na composição média dos hawaitos, mugearitos e benmoreítos, que aproximadamente sobre ele se situam. Para rochas mais ácidas, o plano crítico tem continuidade através do divisor térmico Or-Ab do sistema Ne-Kp-Q e sobre o qual se situa a composição média dos traquitos. A figura 15A confirma que o magma Piracaia evolui inicialmente paralelamente ao longo do plano crítico mantendo geoquimicamente características insaturadas para cruzá-lo em seguida, assim como o plano de sílica-saturação Opx-Cpx-Plag (Fig. 15B). Simultaneamente são atingidas composições compatíveis com o sistema Kp-Ne-Q, no qual o magma evolui por duas vias: uma parte tende para rochas traquíticas, consolidando-se sobre o divisor térmico Or-Ab e outra evolui ao longo do vale térmico do subsistema Or-Ab-Q, originando quartzo sienitos e granitos. Esta última evolução é controlada pelo fracionamento de hornblenda (Cawthorn & Ohara 1976, Giret et al. 1980) caracterizada na figura 13. Não foram até agora encontrados

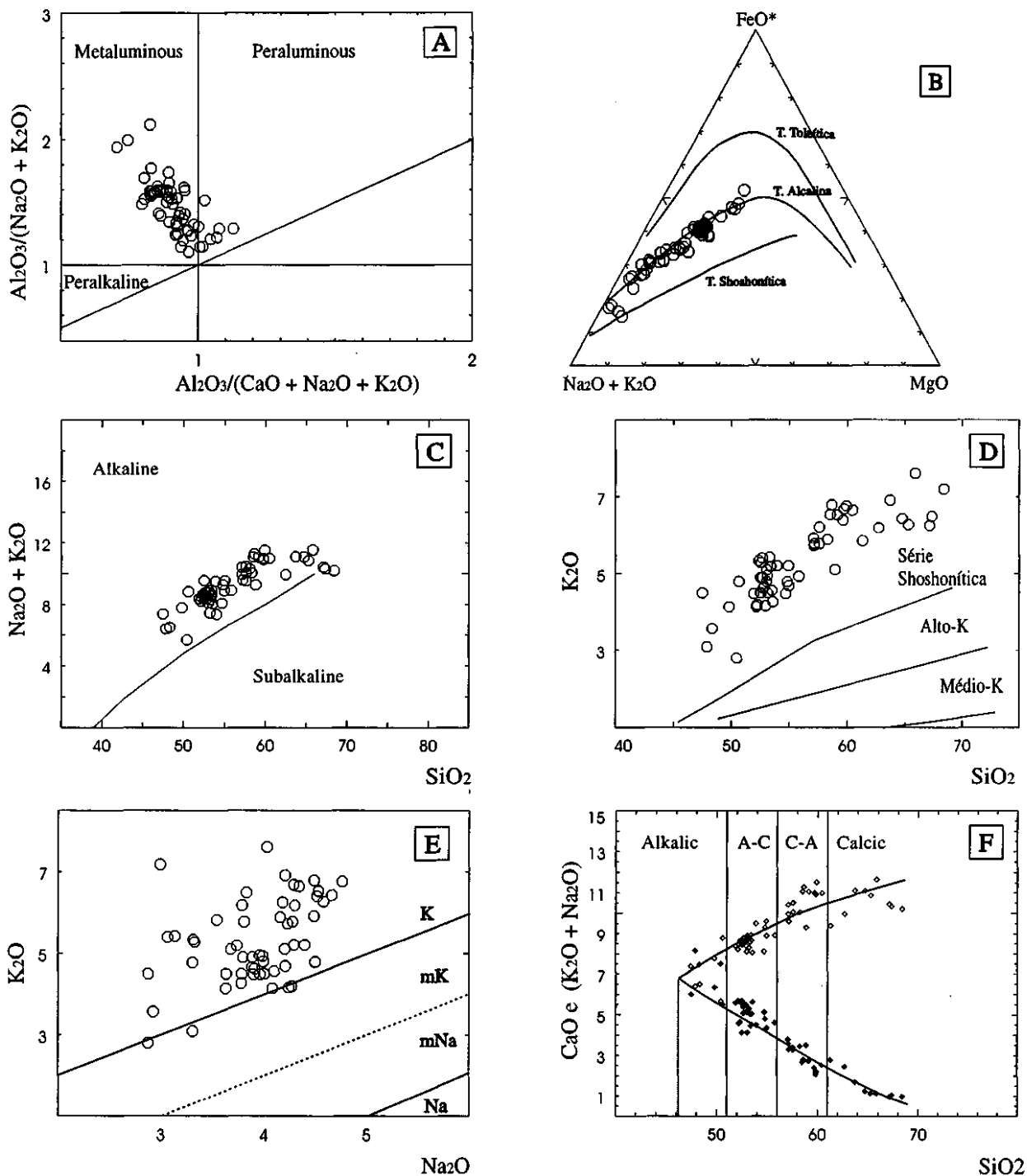


Figura 6 - Caracterização serial da suíte Piracaia: **A**- Diagrama de Shand; a linha diagonal (limite inferior para rochas granitóides) é de Maniar & Piccoli (1989); **B**- Diagrama AFM com tendências evolutivas segundo Wimmenauer (1985); **C**- Diagrama TAS com limite segundo Irvine & Baragar (1971); **D**- Diagrama SiO_2 vs K_2O com campos composicionais segundo Piccirillo & Taylor (1976); **E**- Diagrama Na_2O vs K_2O com limites composicionais (**K** = fortemente potássico; **mK** = potássico normal; **mNa** = sódico normal; **Na** = fortemente sódico) segundo Le Maitre (1989); **F**- índice de alcalinidade de Peacock. Figure 6 - Serial characterization of the Piracaia suite: **A**- Shand's diagram; the diagonal line (lower limit for granitoid rocks) is from Maniar & Piccoli (1989); **B**- AFM diagram; trends are from Wimmenauer (1985); **C**- TAS diagram; limit after Irvine & Baragar (1971); **D**- SiO_2 vs. K_2O diagram; internal divisions after Piccirillo & Taylor (1976); **E**- Na_2O vs. K_2O diagram; internal divisions (**K** = potassic; **mK** = mildly potássico; **mNa** = mildly sodic; **Na** = sodic) after Le Maitre (1989); **F**- Peacock alkalinity index.

no maciço Piracaia rochas que indicassem também uma evolução segundo o vale térmico do subsistema Ab-Or-Kp-Ne e que resultasse em nefelina sienitos.

Janasi *et al.* (1993), comparando os dioritos alto K do maciço Piracaia e do batóito Morungaba (SP) com sienitos

alto K dos maciços Capituba e Serra Branca (MG), concluíram, baseado em dados químicos precários, que as duas litologias indicariam de magmas mantélicos distintos, não primários, ricos em elementos LIL. Os sienitos resultariam da cristalização de magmas altamente oxidados, com relação

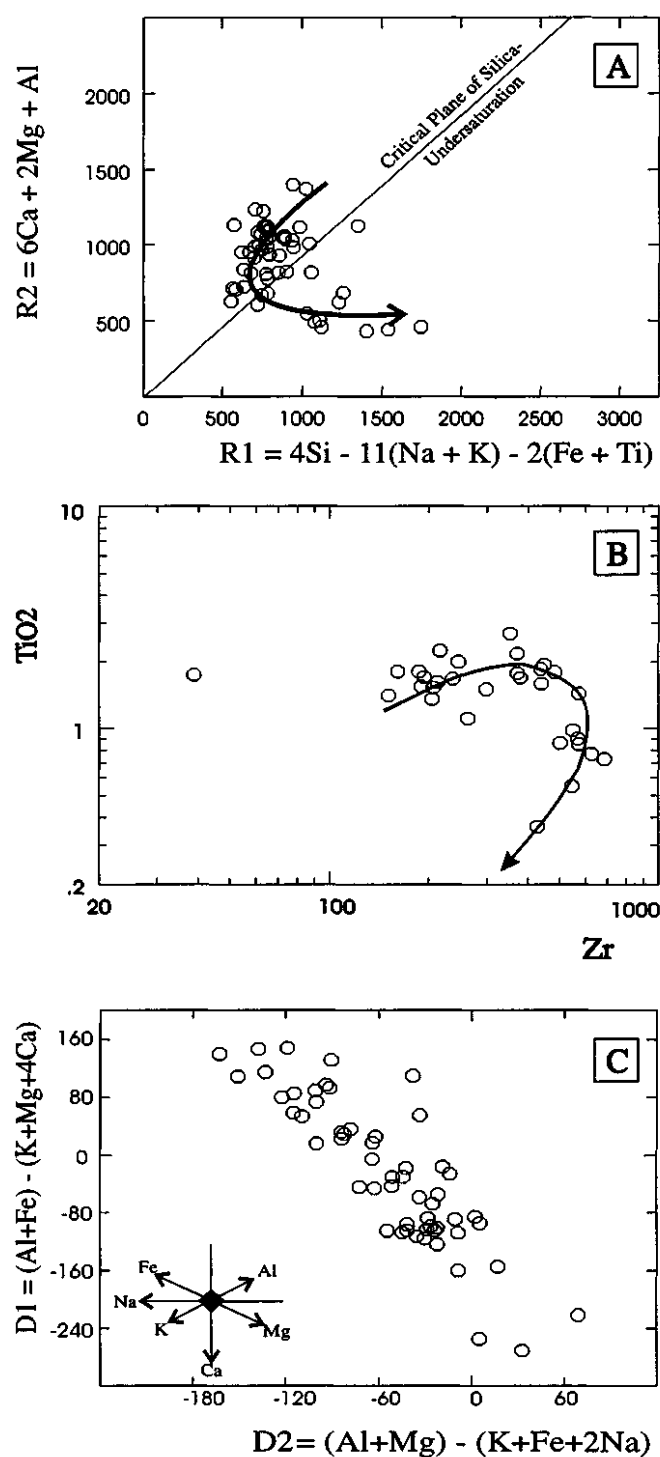


Figura 7 - Principais características químicas da suíte Piracaia: **A**- Diagrama R1 vs. R2. A flecha mostra a evolução da série shoshonítica segundo Pagel & Leterrier (1980); **B**- Diagrama Zr vs. TiO₂. A flecha mostra a tendência evolutiva de suítes básicas a ácidas orogênicas segundo Pearce (1982); **C**- Diagrama catiônico D₁ vs. D₂ segundo La Roche et al. (1980).

Figure 7 - Main chemical characteristics of the Piracaia suite: **A**- R₁ vs. R₂ diagram after Pagel & Leterrier (1980). The arrow represents the evolution of the shoshonitic series; **B**- Zr vs. TiO₂ diagram with evolutionary trend after Pearce (1982); **C**- The cationic D₁ vs. D₂ diagram after LaRoche et al. (1980).

elemental LIL/HFS muito elevada, e pobres numa componente "basáltica". Já os dioritos resultariam da cristalização de magmas *with some shoshonitic affinities* algo menos oxidados, com menor relação elemental LIL/HFS e mais ricos numa componente "basáltica". O magma pobre na componente "basáltica" (que origina os sienitos) resultaria da fusão de um manto continental litosférico (mais precisamente do *mechanical boundary layer*), no qual ocorreriam horizontes metamórficos (possivelmente uma rede de veios de flogopita clinopiroxenitos) gerados pela percolação de *small fraction melts* ascendentes de um manto convectante e/ou por fluidos/fusões liberadas por uma placa subductante.

Para os magmas ricos na componente "basáltica" (que originam os dioritos), Janasi *et al.* (1993) expõem três das hipóteses mais frequentes da literatura, mas afirmam que os dados por eles trabalhados não permitem uma opção por determinado modelo genético. Estas hipóteses incluem: 1- a geração da componente "basáltica" na astenosfera a partir do manto convectante e sua mistura durante a ascensão, com magmas litosféricos pobres na componente "basáltica"; 2- a intensiva fusão do manto litosférico sob condições particulares nos moldes dos modelos genéticos propostos para a geração de *flood basalts* intracontinentais ricos em Ti e K; e, 3- o modelo, também litosférico, do *vein-plus-wall-rock-melting* de Foley (1992), segundo o qual ocorre uma mistura entre magmas ricos na componente "basáltica", derivados a partir de encaixantes peridotíticas (quimicamente modificadas por uma interação veios/rochas encaixantes), e magmas pobres na componente "basáltica", resultantes da fusão da rede de veios de possíveis flogopita piroxenitos que cortam os peridotitos.

O exame dos postulados de Janasi *et al.* (1993) baseado no estudo comparativo entre os magmatismos Piracaia e Pedra Branca, calcados em dados inéditos, será objeto de publicação futura (Wernick, em preparação). De qualquer maneira, a associação no espaço e no tempo entre o magmatismo Piracaia e o intensivo magmatismo cálcio-alcálico Socorro I e Socorro II, (Artur *et al.* 1993), sugere que a geração do manto litosférico continental metamórfico tenha ocorrido essencialmente mediante fluidos/fusões liberadas de uma placa subductante. Por outro lado, as conclusões de Janasi *et al.* (1993) e as aqui apresentadas indicam, teoricamente, a existência de dois tipos de sienitos alto K: um, resultante da cristalização de magmas litosféricos pobres no componente "basáltico", como sugerida por Janasi *et al.* (1993) para os sienitos Capituba e Pedra Branca e, outros, resultantes do fracionamento do magma Piracaia como aqui demonstrado. Um estudo geoquímico comparativo entre os sienitos Piracaia e Pedra Branca, calcados em dados inéditos, será objeto de publicação futura (Wernick, em preparação).

CONCLUSÕES

1. A suíte Piracaia, integrada por (quartzo) monzodioritos, (quartzo) monzonitos, (quartzo) álcali-sienitos e álcali-granitos representa um magmatismo alcalino transicional (nefelina na norma mas ausente na moda), com feições geoquímicas típicas da série alcalina alto potássio e de magmatismos tipo *intraplacas e A*.

2.0 magma Piracaia resulta da fusão parcial substancial de um protólito do manto litosférico subcontinental enriquecido em elementos incompatíveis.

3. A evolução do magma Piracaia, enquanto básico, se caracteriza pelo cruzamento do plano crítico de sílica-insaturação e do plano de sílica-saturação. Uma vez, por fracionamento, atingida uma composição compatível com o sistema Kp-Né-Q, a evolução se faz por duas vias: parte das rochas tende para rochas traquíticas, consolidando próximo ao divisor térmico Or-Ab, e parte evolui ao longo do vale termal do subsistema Or-Ab-Q, originando quartzo álcali-sienitos e álcali-granitos. Pelo menos parte do fracionamento ocorreu

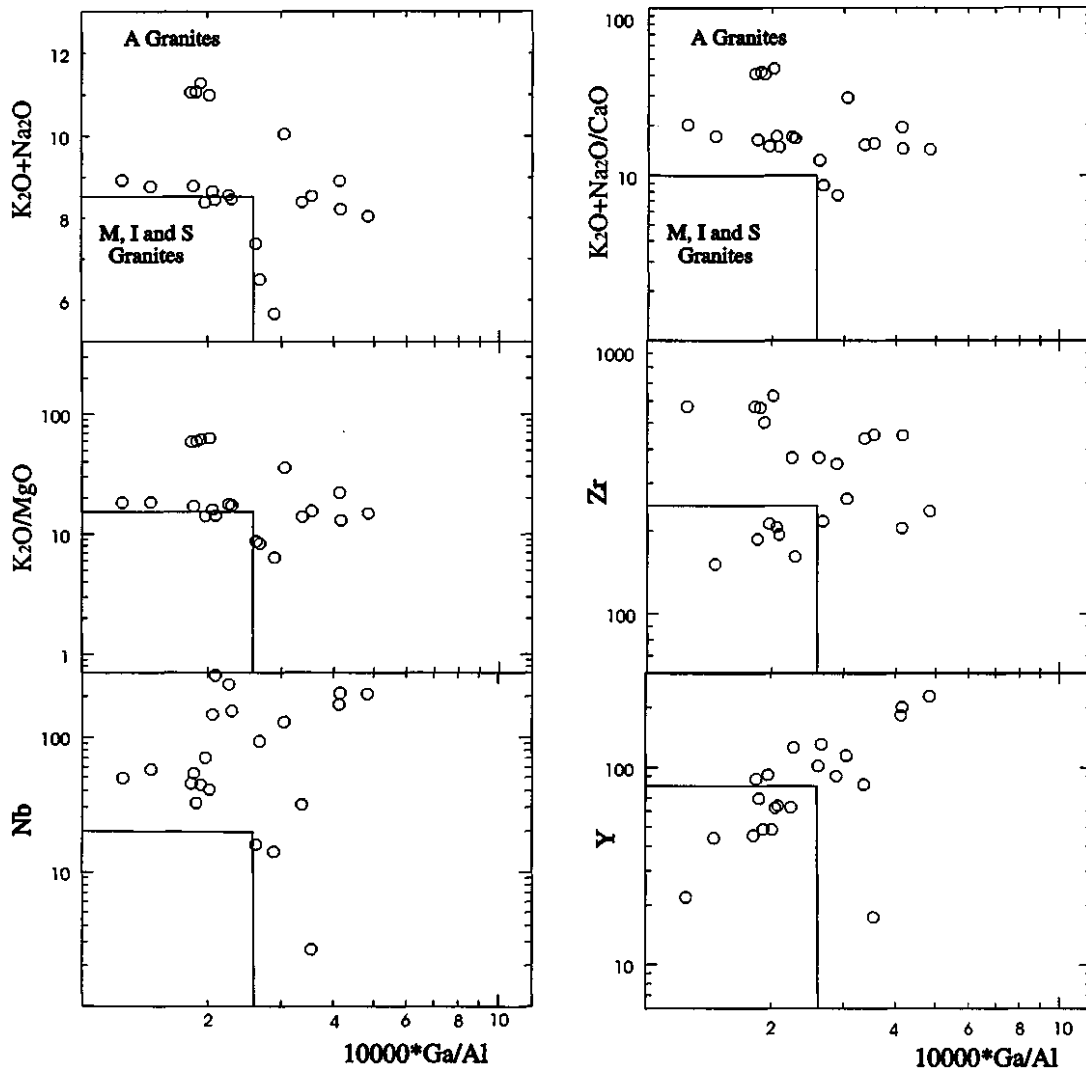


Figura 8 - Diagramas discriminantes para granitos A, M, I e S, segundo Whalen et al (1987).

Figure 8 - Discriminations diagrams for A, M, I and S granites after Whalen et al. (1987).

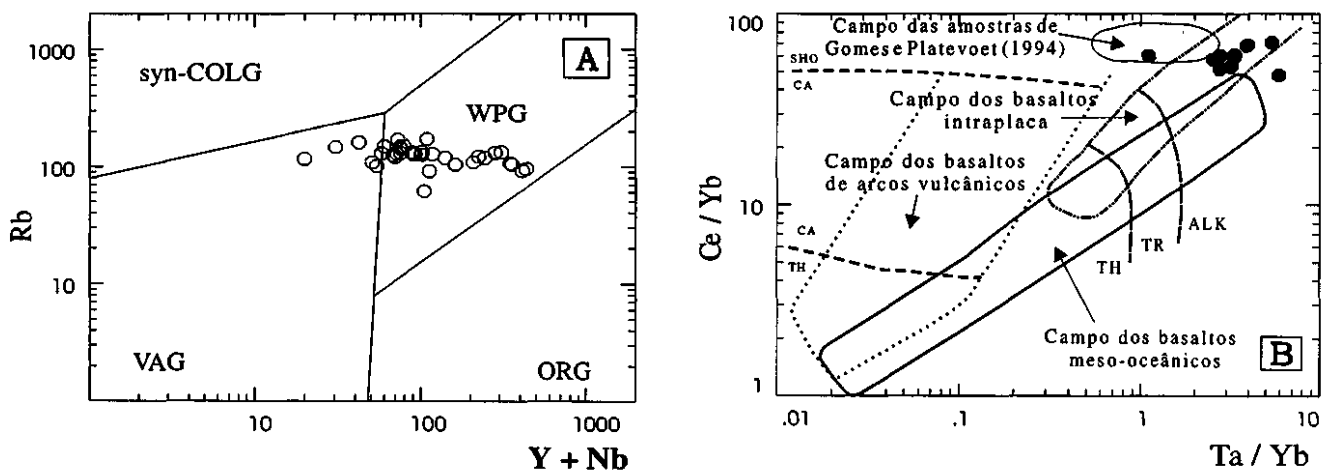


Figura 9 - Aspectos tectono-magmáticos da suíte Piracaia: **A**- Diagrama $(Y + Nb)$ vs. Rb de Pearce et al. (1984). Abreviações referem-se a granitos meso-oceânicos (ORG), granitos de arcos vulcânicos (VAG), granitos intraplacas (WPG) e granitos colisionais (syn- COLG); **B**- Diagrama Ta/Yb vs. Ce/Yb com tendências evolutivas (SHO = shoshonítico, CA = cálcio-alkalino, TH = toleítico, ALK = alcalino e TR = transicional) segundo Pearce (1982).

Figure 9 - Tectono-magmatic features of the Piracaia suite: **A**- $(Y+Nb)$: Rb discrimination diagram of Pearce et al. (1984). Abbreviations denote ocean ridge granites (ORG), volcanic arc granites (VAG), within plate granites (WPG) and collision granites (syn- COLG); **B**- Ta/Yb vs. Ce/Yb diagram with evolutionary trends (SHO = shoshonitic, CA = calc-alkaline. TH = tholeiitic, ALK = alkaline, and TR = transitional) after Pearce (1982).

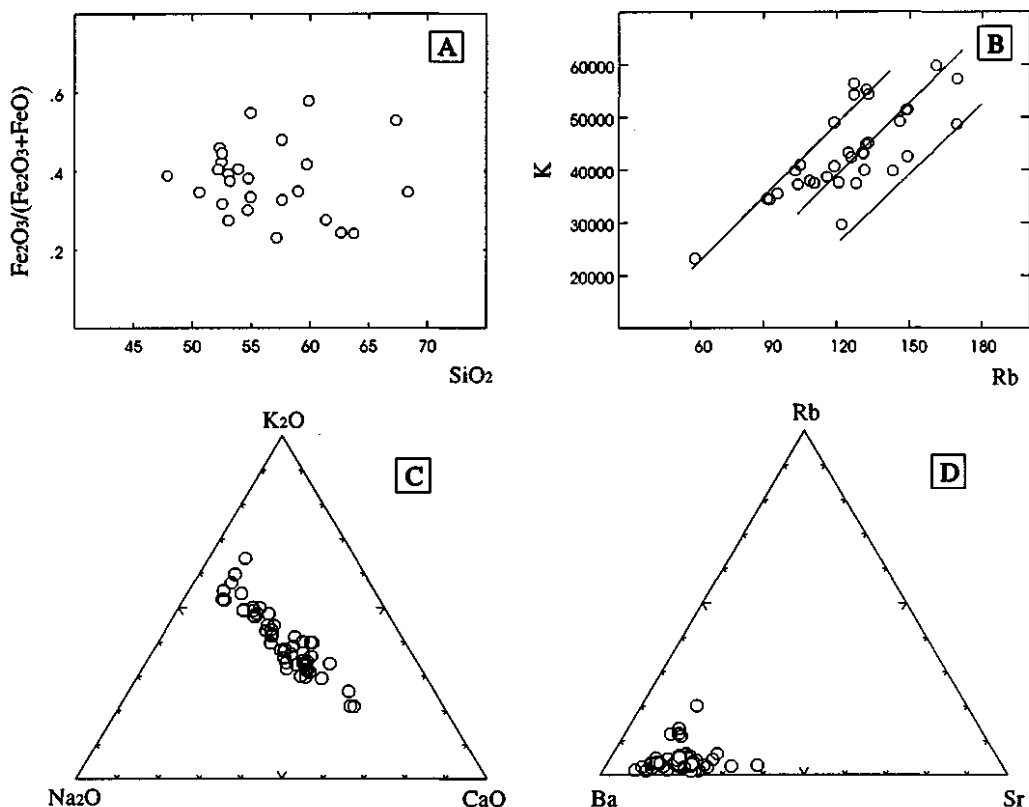


Figura 10 - Relações químicas da suíte Piracaia: A- Diagrama SiO₂ vs. Fe₂O₃/(Fe₂O₃ +FeO); B- Diagrama Rb vs. K; C- Diagrama K₂O:Na₂O:CaO segundo Barker & Arth (1976); D- Diagrama Rb:Ba:Sr.
 Figure 10 - Chemical relationships for the Piracaia suite: A- Diagrama SiO₂ vs. Fe₂O₃/(Fe₂O₃ +FeO) diagram; B- Rb vi. K diagram; C- K₂O:Na₂O:CaO diagram after Barker & Arth (1976); D- Rb:Ba:Sr diagram.

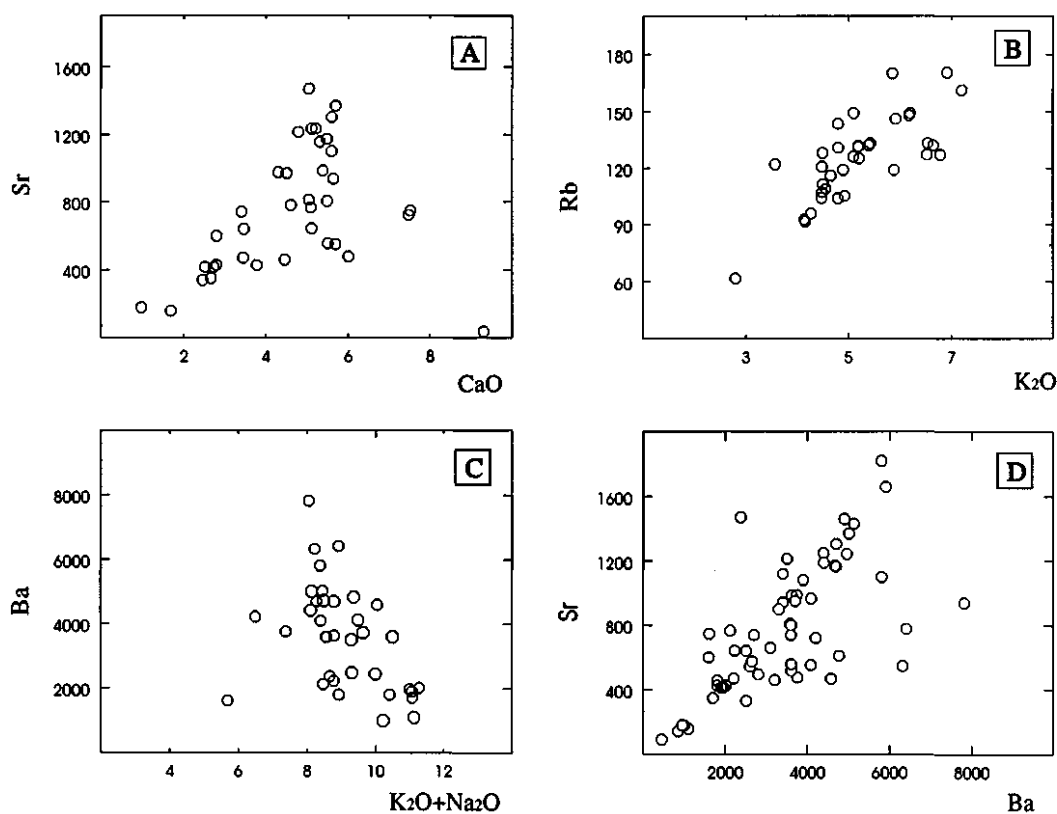


Figura 11 - Diagramas Sr vs. CaO; Rb vs. K₂O; Ba vs. (K₂O +Na₂O) e Sr vs. Ba.
 Figure 11 - Sr vs. CaO; Rb vs. K₂O; Ba vs. (K₂O +Na₂O) e Sr vs. Ba diagrams.

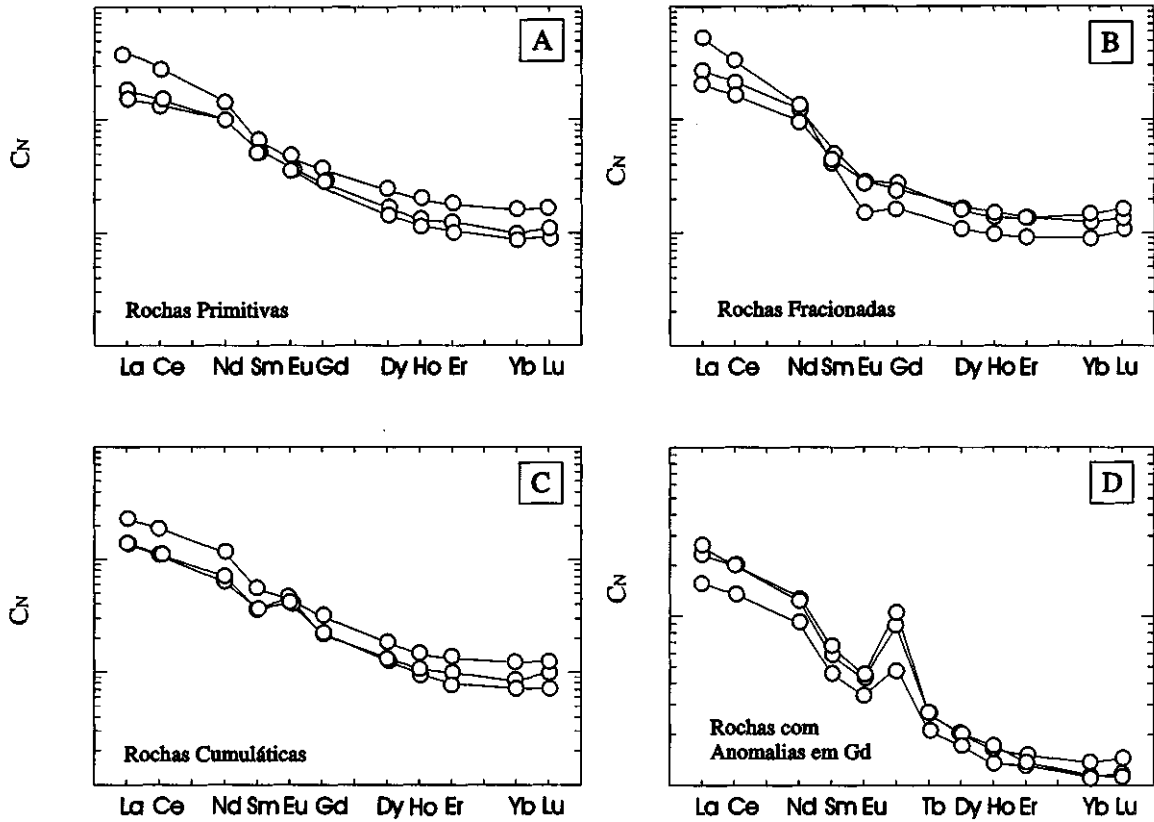


Figura 12 - Padrões de elementos terras raras normalizados por condrito. Dados da tabela 1.
 Figure 12 - Chondrite normalized rare-earth element pattern. Data from table 1.

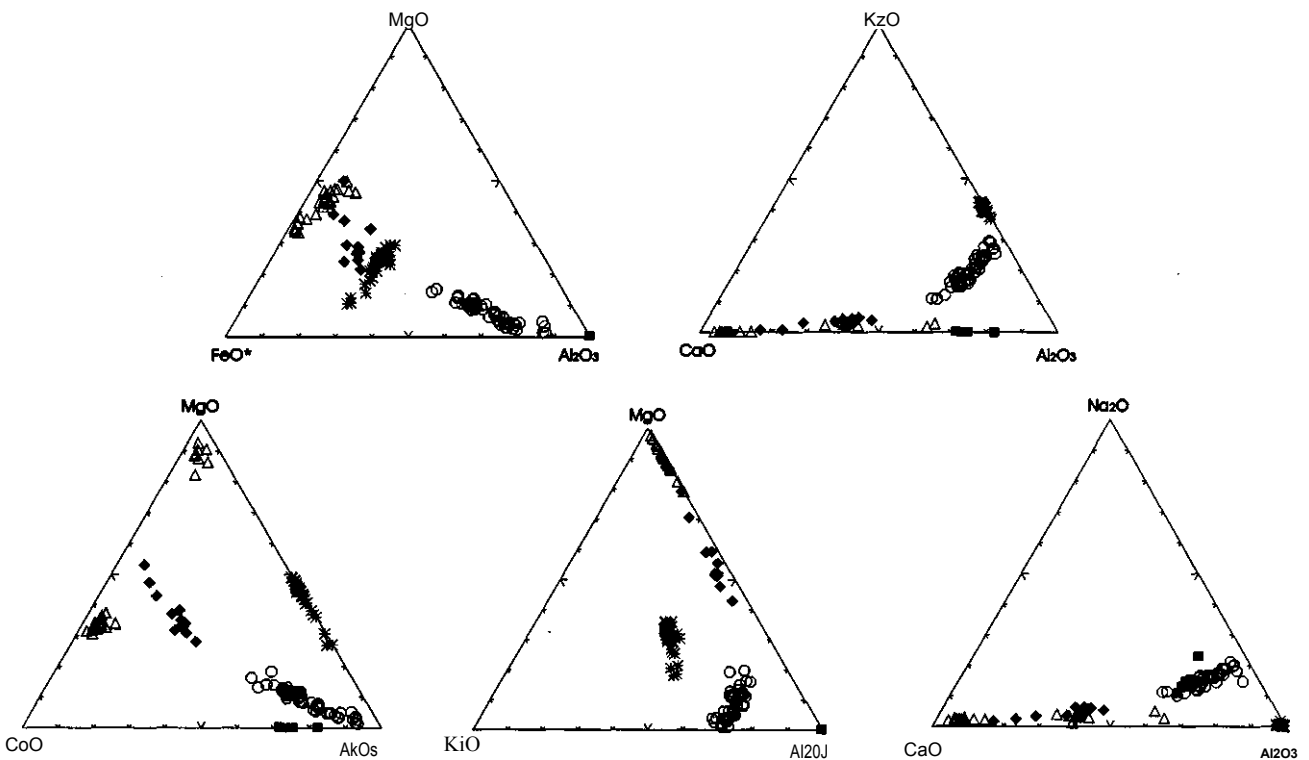


Figura 13 - Diagramas $MgO:FeO:Al_2O_3$, $MgO:CaO:Al_2O_3$, $MgO:K_2O:Al_2O_3$, $K_2O:CaO:Al_2O_3$ e $Na_2O:CaO:Al_2O_3$ para minerais e rochas. Símbolos: \circ Rochas; Minerais Δ Aproxênio; \blacklozenge anfíbólio; $*$ mica; \blacksquare plagioclásio. Dados minerais de Janasi (1986).

Figure 13 - $MgO:FeO:Al_2O_3$, $MgO:CaO:Al_2O_3$, $MgO:K_2O:Al_2O_3$, $K_2O:CaO:Al_2O_3$ and $Na_2O:CaO:Al_2O_3$ diagrams. Symbols: \circ Rocks; Minerais - Δ pyroxene; \blacklozenge amphibole; $*$ mica; \blacksquare plagioclase. Data from Janasi (1986).

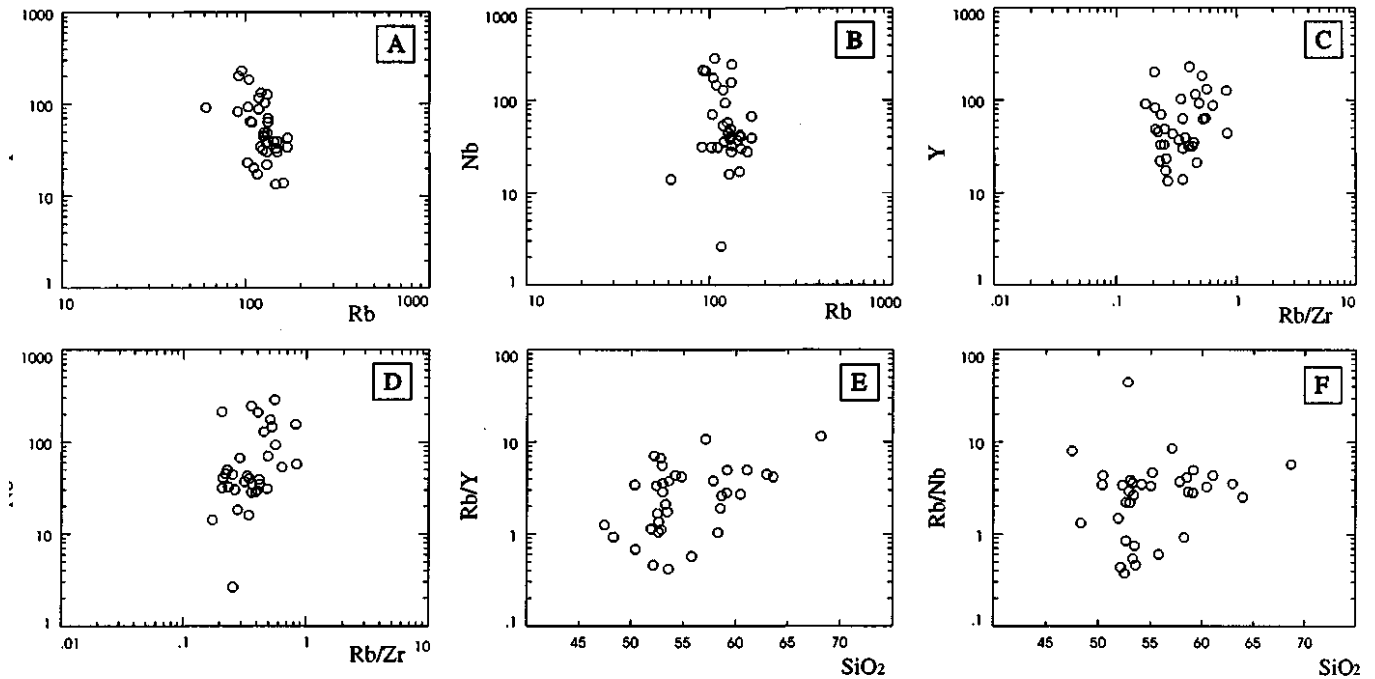


Figura 14 - Diagramas Y vs. Rb; Nb vs. Rb; Y vs. Rb/Zr; Nb vs. Rb/Zr; Rb/Y vs. SiO₂ e Rb/Nb vs. SiO₂.
 Figure 14 - Y vs. Rb; Nb vs. Rb; Y vs. Rb/Zr; Nb vs. Rb/Zr; Rb/Y vs. SiO₂ e Rb/Nb vs. SiO₂ diagrams.

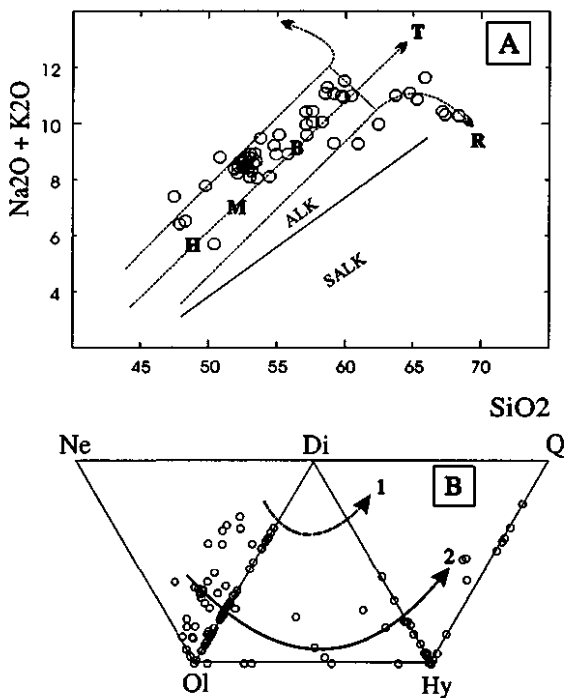


Figura 15 - A- Diagrama Alcalis vs. SiO₂ O plano crítico de sílica-subsaturação é dado pela linha hawaítos (H) - mugiarítos (M) - benmoreítos (B) - traquitos (T); valores médios extraídos de Hall (1987); B- Diagrama normativo Ol - Hy - Di - Q - Ne. Curvas 1 e 2, segundo Thompson et al (1983), retratam a evolução magmática sob baixa (1 atm.) e alta (crosta profunda) pressões, respectivamente.
 Figure 15 - A- Alkalies vs. SiO₂ diagrams. The critical silica-undersaturation plane is represented by the hawaite (H) - mugiarite (M) - benmoreite (B) - trachytes (T); mean values from Hall (1987); B- Ol - Hy - Di - Q - Ne normative diagram. Curves 1 and 2, according Thompson et al. (1983), show magmatic evolution under low (1 atm.) and high (lower crust) pressures, respectively.

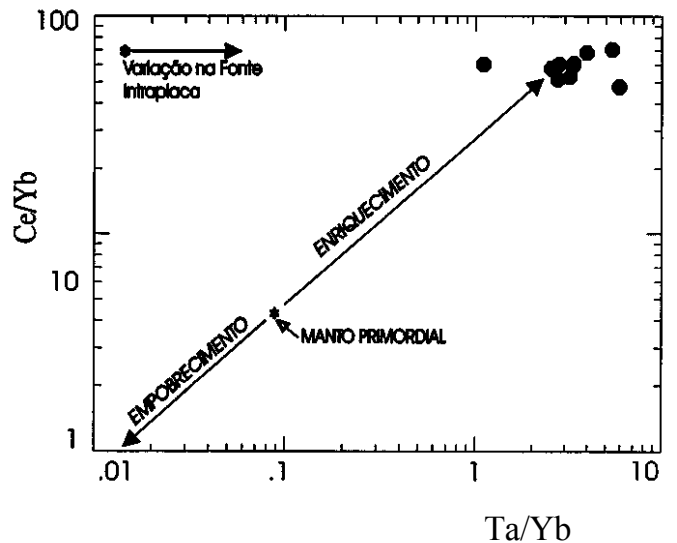


Figura 16 - Diagrama petrogenético Ta/Yb vs. Ce/Yb. Tendências evolutivas segundo Pearce (1982).
 Figure 16 - Ta/Yb vs. Ce/Yb petrogenetic diagram. Evolutional trends according Pearce (1982)

sob elevadas pressões equivalentes às da crosta inferior/base da crosta.

4. A evolução magmática, envolvendo o fracionamento de minerais acessórios, máficos e plagioclásio, processa-se em duas etapas distintas: uma anterior e outra posterior ao cruzamento do plano crítico de sílica subsaturação (Fig. 7A). Entre os minerais máficos ressalta a importância do fracionamento do anfibólio (Fig. 13) e entre os minerais síalicos, o plagioclásio (Figs. 4, 10C e 12). Deste processo resultam rochas cumuláticas ricas em feldspato e enriquecidas em Sr, Nb, Y, Eu e Ga (Figs. 4C, 4F, 4G, 4H, 4A, 11D e 12D).

5. Alguns pulsos magmáticos que compõem o maciço Piracaia apresentam anomalias significativas de Gd, o que abre a perspectiva da ocorrência de gadolinita (Y,Ce,Gd)

$\text{Fe}^{2+}\text{BeSi}_2\text{O}_{10}$, em alguns pegmatitos. O observado enriquecimento residual de Ce e Y se coadunam com esta suposição.

6. Até agora, os sienitos alto-K dos maciços Capituba (MG) e Pedra Branca (MG) eram considerados como frutos de um magma litoférico subcontinental com características distintas dos geradores dos dioritos alto-K do maciço Piracaia (SP) e do batólito Morungaba (SP) (Janasi *et al* 1993). O presente trabalho mostra que sienitos alto-K também podem

resultar do fracionamento do magma alcalino transicional alto-K Piracaia.

Agradecimentos Os autores E. Wernick, A.C. Artur e F.C. Fahl agradecem ao CNPq (Processos 500.459/90-8-SU e 300.319/81-9) e à FAPESP (Processo 93/0785-2) pelo apoio dado para a realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARTUR, A.C. 1988. *Evolução policíclica da infra-estrutura da porção Sul do Estado de Minas Gerais e regiões adjacentes do Estado de São Paulo*. (Tese de Doutorado, IG/USP). (Inédito).
- ARTUR, A.C.; EBERT, H.D.; WERNICK, E. 1991a. Magmatismo e tectônica no Complexo Socorro (SP/MG). In: SIMP. GEOL. do SUDESTE, 2. São Paulo, 1991. *Atas...* São Paulo, SBG/NSP-RJ. p. 105-112.
- ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; HÖRMANN, P.K.; WEBER-DIEFENBACH, K. 1993. Associações plutônicas do Complexo Granitóide Socorro (Estados de São Paulo e Minas Gerais, SE Brasil). *Rev. Bras. Geoc.*, **23**(3):265-273.
- ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; SOUZA, S.C.A. de; WEBER-DIEFENBACH, K. 1994a. Tipologia de zircão e quimismo do complexo monzonítico-monozodiorítico Piracaia, SP. *GEOCIÊNCIAS*, **13**(2):167-173.
- ARTUR, A.C.; EBERT, H.D.; ANGELI, N.; RUEDA, J.R.J.; MANIAKAS, S. 1991 b. Mapeamento geológico em 1:50.000 da Quadricula Extrema. Convênio SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (PRÉ-MINÉRIO)/IGCE-UNESP. v.1, 152 p. (Relatório Final).
- ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; WEBER-DIEFENBACH, K.; HÖRMANN, P.K.; FAHL, F.C. 1994b. Caracterização geoquímica e evolução do magmatismo Piracaia, SP. In: CONGR. BRAS. GEOL., 38. Balneário de Camboriú, 1994. *Anais...* Balneário de Camboriú, SBG. v.1, p. 119-120.
- BARKER, F. & ARTH, J.C. 1976. Geration of trondhjemitic-tonalitic liquidis and Archean bimodal trondhjemitic-basalt suites. *Geology*, **4**:596-600.
- BAYER, P.; SHIMIDT-THOMÉ, R.; WEBER-DIEFENBACH, K.; HORN, H.A. 1987. Complex concentric granitoid intrusions in the coastal mobile belt, Espírito Santo, Brazil: the Santa Angélica Pluton - an example. *Geologische Rundschau*, **76**(2): 357-371.
- BROWN, G.C. 1982. Calc-alkaline intrusive rocks: their diversity, evolution, and relation to volcanic ares. In: THORPE, R.S. ed. *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*: Chichester, Wiley & Sons. p. 437-461.
- BROWN, G.C.; THORPE, R.S.; WEBB, P.C. 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting ares and comments on magma sources. *J. Geol. Soc. London*, **141**:413-426.
- CAMPOS NETO, M.C. & ARTUR, A.C. 1983. A suíte quartzo monzonítica a diorítica de Piracaia, SP. In: SIMP. REG. GEOL., 4. São Paulo, 1983. *Atas...* São Paulo, SBG/NSP. p. 47-60.
- CAMPOS NETO, M. da C.; BASEI, M.A.S.; ARTUR, A.C.; SILVA, M.E.; MACHADO, R.; DIAS NETO, C.M.; FRAGOSO-CESAR, A.R.; SOUZA, A.P. 1983. Geologia das Folhas Piracaia e Igaratá. In: JORNADA DA CARTA GEOLOGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1:50000, 1. Pró-Minério/Inst. Pesquisas Tecnológicas, p. 55-79.
- CAVALCANTE, J.C. & KAEFER, L.Q. 1974. Complexo Piracaia - estudos preliminares. In: CONGR. BRAS. GEOL., 28. Porto Alegre, 1974. *Anais...* Porto Alegre, SBG. v. 5, p. 101-106.
- CAWTHORN, R.G. & O'HARA, M.J. 1976. Amphibole fractionation in calc-alkaline magma genesis. *A. Jour. Sci.*, **276**:301-329.
- CHAPPELL, B.W. & WHITE, A.J.R. 1992. I-type and S-type granites in the Lachland Fold Belt. *Trans. Roy. Soc. Edimburg: Earth Sci.*, **83**:1-26.
- DEBON, F.; LÉFORT, P.; SABATE, P. 1988. Uma classificação química-mineralógica das rochas plutônicas comuns, e suas associações, métodos e aplicações. *Rev. Bras. Geoc.*, **18**(2):122-133.
- FOLEY, S.F. 1992. Vein-plus-wall-rock melting mechanisms in the lithosphere and the origin of potassic alkaline magmas. *Lithos*, **28**:435-453.
- GIRET, A.; BOWIN, B.; LEGER, J.M. 1980. Amphibole compositional trends in oversaturated and undersaturated alkaline plutonic ring complexes. *Can. Mineral.*, **18**:481-495.
- GOMES, E.P. & PLATEVOET, B. 1994. O complexo ácido-básico de Piracaia - SP - representação de um magmatismo de afinidade shoshonítica do Ciclo Brasileiro. In: CONGR. BRAS. GEOL., 38. Balneário de Camboriú, 1994. *Anais...* Balneário de Camboriú, SBG. v. 3, p. 32-34.
- HALL, A. 1987. *Igneous petrology*. New York, John Wiley & Sons Inc. 537 p.
- HARKER, A. 1909. *The natural history of Igneous rocks*. New York, Macmillian Publish. Co., Inc. 384 p.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R. 1971. A guide to the chemical classification of the common igneous rocks. *Can. J. Earth Sci.*, **8**:523-546.
- JANASI, V. de A. 1986. *Geologia e petrologia do maciço monzodiorítico-monzonítico de Piracaia*. São Paulo. 281p. (Dissertação de Mestrado, IG/USP). (Inédito).
- JANASI, V.A. & ULBRICH, H.G.J. 1987. Petrogenesis of the monzodioritic Piracaia Massif, State of São Paulo, southern Brasil: field and petrographic aspects. *Rev. Bras. Geoc.*, **17**(4):524-534.
- JANASI, V.A.; VLACH, S.R.F.; ULBRICH, H.G.J. 1993. Enriched mantle contributions to the Itu Granitoid Belt, southeastern Brazil: evidence from K-rich diorites and syenites. *An. Acad. Bras. CL*, **65**(Supl. 1):107-118.
- JOPLIN, G.A. 1968. The shoshonite association: a review. *J. Geol. Soc. Australia*, **15**:275-294.
- LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. 1982. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *J. Volc. Geoth. Res.*, **14**:169-186.
- LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using RIR2-diagram and major-element analyses its relation ship with current nomenclature. *Chem. Geol.*, **29**:183-210.
- LÊ MAITRE, R.W. (Ed.) 1989. *A classification of igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the IUGS Subcommission on Systematic of Igneous Rocks*. Oxford, Blackwell. 193 p.
- MANIAR, P.D. & PICCOLI, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **101**:635-643.
- MORRISON, G.W. 1980. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos*, **13**:97-108.
- PAGEL, M. & LETERRIER, J. 1980. The subalkaline potassic magmatism of the Ballons Massif (Southern Vosges, France): shoshonitic affinity. *Lithos*, **13**:1-10.
- PEARCE, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: THORPE, R.S. ed. *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*: Chichester, Wiley & Sons. p. 525-548.
- PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W.; TINDLE, A.C. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation, of granitic rocks. *J. Petrol.*, **25**:956-983.
- PICCERILLO, A. & TAYLOR, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contr. Mineral. Petrol.*, **58**:63-81.
- PUPIN, J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contr. Mineral. Petrol.*, **73**:207-220.
- TAUSON, L.V. 1983. Geochemistry and metallogeny of the latitic series. *Inter. Geol. Rev.*, **25**:125-135.
- THOMPSON, R.N.; MORRISON, M.A.; DICKIN, A.P.; HENDRY, G.L. 1983. Continental flood basalts Arachnids rule OK? In: Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J. (eds). *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich, Cheshire, 158-185.
- VLACH, S.R.F. & CORDANI, U.G. 1986. A sistemática Rb/Sr em rochas granitóides: considerações interpretativas, limitações e exemplos brasileiros. *Rev. Bras. Geoc.*, **16**(1):38-53.
- WERNICK, E.; ARTUR, A.C.; FIORI, A.P. 1981. Reavaliação de dados geocronológicos da região nordeste do Estado de São Paulo e unidades equivalentes dos Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. In: SIMP. REG. GEOL., 3. Curitiba, 1981. *Atas...* Curitiba, SBG/NSP. v. 1, p. 47-60.
- WHALEN, J.B.; CURRIE, K.L.; CHAPPELL, B.W. 1987. A-type granites; Geochemical characteristics, discriminations, and petrogenesis. *Contr. Mineral. Petrol.*, **95**:407-419.
- WIFFIDEMANN, C.; BAYER, P.; HORN, H.; LAMMERER, B.; LUDKA, I.P.; SCHIMIDT-THOMÉ, R.; WEBER-DIEFENBACH, K. 1986. Maciços intrusivos do sul do Espírito Santo e seu contexto regional. *Rev. Bras. Geol.*, **16**(1):24-37.
- WIMMENAUER, W. 1985. *Petrographie der, magmatischen und metamorphen gesteuse*. Stuttgart, Ferchuaud Enke Verlag. 382 p.

Manuscrito A881

Recebido em 15 de novembro de 1996

Revisão dos autores em 15 de abril de 1997

Revisão aceita em 15 de junho de 1997