

ASSOCIAÇÕES ALCALINAS NO BRASIL: REVISÃO DAS OCORRÊNCIAS MESOZÓICAS

L.Morbidelli¹, L.Beccaluva², P.Brotzu³, C.B.Gomes⁴,
G.Macciotta⁵, E.Ruberti⁴, G.Traversa⁶

Esta revisão trata de aspectos petrológicos e geoquímicos de diversos complexos alcalinos do Brasil continental, restringindo-se, no entanto, principalmente às ocorrências de idade mesozóica. A maior parte dos dados aqui reunidos provém de trabalhos que vêm sendo conduzidos, desde 1984, por uma equipe de pesquisadores brasileiros e italianos, e tendo como objetivos básicos: a compreensão da natureza dos magmas primários das rochas alcalinas, sua gênese e tipo de evolução, assim como o modo de formação dos líquidos carbonatíticos.

A Figura 1 mostra a localização das principais ocorrências alcalinas Mesozóicas brasileiras presentemente conhecidas. Todas elas, com ou sem carbonatitos, como também as do Paraguai Oriental, dispõem-se nas bordas da Bacia do Paraná. Do ponto de vista estrutural, elas agrupam-se em pequenas constelações correspondendo a várias províncias: Arco do Bom Jardim de Goiás, Arco do Alto Paranaíba, Poços de Caldas, Arco de Ponta Grossa, "Uplift" Ipanema, Litoral São Paulo-Rio de Janeiro, Santa Catarina e Arco do Rio Grande.

A Figura 2 apresenta a idade K/Ar (máxima e mínima, com exclusão de alguns dados claramente anômalos) determinada em rochas de vários complexos. A análise dos dados permite observar que a atividade alcalina ocorreu, com algumas exceções (Itanhaém, Juquiá, Jacupiranga e Ipanema no Estado de São Paulo; Anitápolis em Santa Catarina), após a colocação das rochas que formam o platô do Paraná (140-120 Ma.), sendo, portanto, posterior à abertura do Oceano Atlântico, que teve início há 127 Ma. (Piccirillo et al., 1988). Esses complexos mais antigos, e contemporâneos à manifestação de caráter toleítico da Bacia do Paraná, são todos portadores de material carbonatítico.

A tipologia presente nos complexos até agora investigados com maiores detalhes é mostrada na Figura 3. Desta, foram excluídas rochas encaixantes e produtos de fenitização. Junto às rochas que representam líquidos encontram-se também litotipos derivados de processos cumulativos.

¹Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma "La Sapienza", Roma, Itália.

²Istituto di Mineralogia, Università di Ferrara, Ferrara, Itália.

³Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Napoli, Nápoles, Itália.

⁴Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

⁵Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Cagliari, Cagliari, Itália.

⁶Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Perugia, Perugia, Itália.

Em alguns complexos as tipologias são relativamente monótonas, caso de Passa Quatro e Piratini.

Os dados disponíveis, em parte já objeto de publicação, possibilitaram:

- a) caracterizar geoquímica e isotopicamente ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) as rochas aflorantes;
- b) definir a linha de evolução dos líquidos magmáticos;
- c) identificar a natureza dos "líquidos" mais primitivos para a maior parte das ocorrências, mesmo quando as rochas correspondentes não afloram (Piratini e alcalinas terciárias de Fortaleza);
- d) reconstruir o modo de formação dos líquidos carbonatíticos.

Os dados de geoquímica isotópica (Fig. 4) são indicativos de uma origem subcrustal para os líquidos primitivos de vários complexos. Apontam também para a existência de processos de contaminação crustal, que se manifestam de forma evidente em alguns fonólitos peralcalinos do distrito de Lages. A distribuição acumulativa desses resultados mostra um histograma de caráter unimodal, com a classe dominante compreendida no intervalo 0,705-0,706.

A distribuição dos elementos maiores e traços, normalizada para o manto primitivo, de algumas rochas representativas dos vários complexos é dada na Figura 5.

O grupo de rochas menos evoluídas (Fig. 5A), como também o das gabróicas e essexíticas (Fig. 5B), demonstra tendência geral de enriquecimento dos elementos mais incompatíveis (Rb, Ba, K, Nb) em relação àqueles com menor grau de incompatibilidade (Zr, Sm, Ti, Tb, Y). Essas tendências não se mostram assim tão evidentes junto aos demais grupos de rochas.

Ainda para as rochas menos evoluídas (Fig. 5A), nota-se a presença de anomalia positiva de Ba e Sm, ao lado de negativa para K e Zr, para todos os complexos. Por outro lado, o ankaratrito de Jacupiranga e o gabro alcalino de Tunas exibem comportamento ligeiramente diferente das demais rochas do grupo. No âmbito das rochas gabróicas e essexíticas (Fig. 5B) observam-se tendências globais muito diferentes, seja em função dos complexos, como também dos litotipos. Assim, os essexitos de Tunas e de Morro Redondo apresentam, por exemplo, anomalia positiva de Ba, contrariamente aos de Juquiá e Fortaleza, que se comportam como o gabro-diorito de Jacupiranga. Este último contém inclusive as mais elevadas anomalias negativas de Nb, Sr, P e Ti, sendo mesmo a única variedade petrográfica a mostrar notável anomalia positiva de Y.

As rochas de caráter sienítico (Fig. 5C) podem ser enquadradas em dois grupos, com a distinção ditada pelo seu comportamento diferente em relação às anomalias de Ba e Sr. Assim, somente os nefelina sienitos de Passa Quatro e de Fortaleza, bem como o sienito alcalino de Tunas, exibem anomalia negativa para esses dois elementos.

Os litotipos da série ijolítica (ijolitos, melteigitos e urtitos) (Fig. 5D) são caracterizados por uma anomalia negativa de Ba, Nb, Sr e Y. Como exceções citam-se o melteigito e o ijolito de Juquiá.

Entre as rochas tefríticas e fonolíticas (Fig. 5E), os fonólitos de Passa Quatro e o fonólito tefrítico de Lages são os únicos litotipos que apresentam anomalias negativas de Ba, Sr, P e Ti. As duas últimas são, entretanto, comuns a todas as outras rochas, à exceção das amostras do distrito de Fortaleza.

Os fonólitos peralcalinos (Fig. 5F) repetem, a grosso modo, a tendência geral das rochas precedentes, mostrando constante anomalia negativa de P e Ti, além de Sr (à exceção de Piratini, Lages e Juquiá) e Ba (excluídos Juquiá e Lages).

Os dados relativos às Terras Raras (Fig. 6) põem em evidência o constante enriquecimento dos elementos leves relativamente aos pesados. Os valores normalizados para os

condritos são sempre inferiores a 1000 para o La e superiores a 5 para o Lu.

Quanto às rochas menos evoluídas (Fig. 6A), o gabro alcalino de Tunas tende a apresentar a mais baixa razão $(La/Lu)_{NC}$, enquanto que o olivina melilitito de Lages é a variedade que exibe o mais alto teor em Terras Raras. Fato digno de nota consiste, ainda que pequena, na anomalia negativa de Gd no gabro alcalino e no ankaratrito de Jacupiranga.

Nas rochas gabróicas e essexíticas (Fig. 6B), as tendências gerais e os valores das concentrações dos elementos são muito similares aos das variedades menos evoluídas. O essexito de Morro Redondo tende a mostrar a razão $(La/Lu)_{NC}$ mais alta. Já o sienodiorito de Jacupiranga é a única rocha a exibir anomalia negativa de Gd mais pronunciada que a registrada para o ankaratrito e gabro alcalino. Por outro lado, o essexito de Fortaleza evidencia uma anomalia negativa de Eu.

As rochas sieníticas (Fig. 6C) formam um grupo bastante homogêneo, com razão $(La/Lu)_{NC}$ bastante similar. A destacar os valores ligeiramente mais altos para o sienito de Morro Redondo, que mostram também uma pronunciada anomalia negativa de Ce. Com relação ao Eu, ressaltam-se as anomalias positivas dos nefelina sienitos de Jacupiranga e dos sienitos alcalinos de Morro Redondo, ao lado da evidente anomalia negativa do sienito alcalino de Tunas. A exemplo das demais litologias de Jacupiranga discutidas atrás, as rochas sieníticas desse distrito também exibem anomalia negativa de Gd.

Para as rochas da série ijolítica (Fig. 6D), tem-se que o melteigito de Juquilá exibe os valores mais elevados de La, Ce e Nd de todas as variedades alcalinas silicáticas das ocorrências em questão. Essa rocha, juntamente com o urtito do mesmo complexo, são as únicas a não apresentarem anomalia negativa de Gd.

As rochas tefríticas e fonolíticas (Fig. 6E) possuem valores absolutos similares aos de outros grupos. Não exibem variações notáveis, à exceção da tendência, na forma de U, da curva do tefrito fonolítico de Lages e do valor mais baixo em terras raras leves do tefrito de Fortaleza.

Alguns fonolitos peralcalinos (Fig. 6F) apresentam anomalia negativa de Eu. A amostra de Jacupiranga mostra notável anomalia negativa de Gd à semelhança do melteigito do mesmo complexo.

Em quase todos os complexos estudados é possível observar uma evolução das tipologias dos magmas controlada por fenômenos de reequilíbrio cristal/líquido, expresso por meio de processos de cristalização fracionada.

COMPLEXOS NÃO-CARBONATÍICOS

Em Tunas (Gomes et al., 1987), as rochas menos diferenciadas acham-se representadas por gabros alcalinos, que evoluem até sienitos alcalinos através da seguinte sucessão: gabro alcalino → sienogabro → sienodiorito → sienito → sienito alcalino.

Em Piratini, a evolução de fonolito tefrítico produziu fonolitos peralcalinos. Considerações petrológicas permitiram sugerir uma derivação do fonolito tefrítico a partir de magma basanítico (Barbieri et al., 1987).

No distrito de Fortaleza (Macciotta et al., 1990), a evolução é assim esquematizada: basanito (suposto) → tefrito → tefrito fonolítico → fonolito peralcalino (índice agpático = 1,11) → fonolito peralcalino (índice agpático = 1,16). Os processos de contaminação crustal, ainda que presentes, parecem não ter desempenhado papel de relevo.

COMPLEXOS CARBONATÍFICOS

Em Juquiá (Beccaluva et al., 1991), a linha de tendência evolutiva dos líquidos acha-se assim definida: basanita→essexito→nefelina sienito fêmico (índice de diferenciação $\cong 70$)→nefelina sienito ($\cong 80$)→nefelina sienito muito evoluído ($\cong 90$); esta última fração representa apenas 0,9% em peso do líquido basanítico inicial.

Nesse distrito, o magma carbonatítico parece ter-se formado por um processo de imiscibilidade a partir de líquido silicático relativamente evoluído (nefelina sienito fêmico), representando 5,5% em peso do líquido basanítico inicial. O nefelina sienito fêmico deu origem a um nefelina sienito (3,9% em peso do basanita) através de um processo complexo envolvendo atividade cumulática (clinopiroxênio, biotita, magnetita, nefelina, titanita e apatita) e fenômenos de imiscibilidade com formação de líquido carbonatítico que corresponde a menos de 0,5% em peso do magma basanítico inicial. O desenvolvimento desse processo é demonstrado pela presença de carbonato primário, cuja quantidade aumenta com o grau de evolução dos nefelina sienitos. Esse mineral está presente seja na forma de cristais intersticiais, seja como pequenos glóbulos, que podem conter também feldspato alcalino e nefelina. Os glóbulos são mais comuns nas rochas sieníticas mais diferenciadas e encontram-se constantemente circundados por bordas biotíticas, em função do aumento local da atividade de fluidos.

Em Jacupiranga, a situação se apresenta mais complexa (Alessandrini, 1990), uma vez que é possível distinguir duas linhas evolutivas de líquido:

Linha A = gabro alcalino→sienodiorito→nefelina sienito

Linha B = olivina nefelinito (ankaratrito)→fonolito→fonolito peralcalino

A passagem do gabro alcalino para sienodiorito (linha A) está ligada à extração de quantidade notável de rochas cumuláticas (mais que 80% em peso do magma gábrico), com predominância de olivina e clinopiroxênio, além de proporções menores de plagioclásio, magnetita, ilmenita, apatita e biotita, confirmando, dessa forma, a presença, no distrito, de rochas jacupiranguíticas e duníticas. Os dados relativos ao balanço de massa indicam que o magma nefelina sienítico final representa somente 2,0% em peso do líquido gábrico inicial.

Cumulus de piroxênio e, em menor quantidade, de olivina são necessários para a passagem de ankaratrito a fonolito (linha B), cuja formação é acompanhada pela remoção de outras fases, entre as quais figuram biotita e, mais raramente, magnetita, feldspato potássico e apatita. Ainda em relação à linha B, a evolução do fonolito para o campo peralcalino coincide com a formação do líquido carbonatítico, cuja gênese é aqui também relacionada a processos de imiscibilidade da fração carbonática no líquido silicático, concomitantemente com a extração, do líquido fonolítico, de feldspato potássico, clinopiroxênio e, em menor quantidade, de biotita, magnetita, apatita e titanita.

Um quadro sinóptico do processo de evolução, no tocante aos magmas primários, em vários complexos, à exclusão de Morro Redondo e Passa Quatro onde inexistem séries evolutivas bem definidas, é mostrado na Figura 7. É evidente que Jacupiranga e Lages representam dois distritos particulares. Enquanto no primeiro, conforme visto, existem duas séries evolutivas (basanítica e olivina nefelínica), em Lages, as séries que poderiam ter início com o olivina nefelinito e olivina mellilito não exibem rochas correlatas. Ali o único magma que poderia ser tomado como o mais primitivo do ramo filogênico é o basanítico.

Em relação ao distrito alcalino de Jacupiranga, foram investigadas minuciosamente as bandas de reação presentes no contato entre os carbonatitos e o jacupiranguito (Morbiddelli et al.,

1986). Essas faixas, de espessura comumente centimétrica, podem ser assim esquematizadas:

Carbonatito	3*	2	1	Jacupiranguito
	Faixa O olivínica, com flogopita e calcita	Faixa P flogopítica, com veios de carbonato	Faixa A anfibólica	

* números indicando a sequência de formação das faixas

Os processos de anfibolização e flogopitização representam a fenitização do jacupiranguito por meio de fluidos carbonatíticos, acrescido da injeção, nas áreas já fenitizadas, de magma carbonatítico (veios dentro da faixa P). O estudo evidenciou, ainda, que o carbonatito envolvendo os blocos de jacupiranguitos tem quantidades mais baixas de elementos alcalinos (Na, K, Rb) relativamente ao magma original. Isto parece confirmar a suspeita de que os magmas carbonatíticos não têm possibilidade de manter os álcalis iniciais durante a sua cristalização, talvez em razão da sua extrema carência em sílica e alumina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALESSANDRINI, G. (1990) Tesi di Laurea, Istituto di Mineralogia e Petrografia, Università di Ferrara, Itália.
- BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; LOSS, E.L.; MACCIOTTA, G.; MORBIDELLI, L.; SCHEIBE, L.F.; TAMURA, R.M.; TRAVERSA, G. (1987) *Geochim. Brasil.*, 1:109-138.
- BECCALUVA, L.; BORN, H.; BROTZU, P.; COLTORTI, M.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; MACCIOTTA, G.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIENA, F.; TRAVERSA, G. (1991) *J. Petrol.* (submetido).
- BROTZU, P.; BECCALUVA, L.; CONTE, A.; FONSECA, M.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; LEONG, R.; MACCIOTTA, G.; MANSUR, R.L.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIGOLO, J.B.; TRAVERSA, G.; VALENÇA, J.G. (1989) *Geochim. Brasil.*, 3:63-80.
- BROTZU, P.; BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; MACCIOTTA, G.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIGOLO, J.B.; TRAVERSA, G. (1991) *J. South Amer. Earth Sci.* (submetido).
- GOMES, C.B.; BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; MACCIOTTA, G.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SCHEIBE, L.F.; TAMURA, R.M.; TRAVERSA, G. (1987) *Geochim. Brasil.*, 1:201-234.

- MACCIOTTA, G.; ALMEIDA, A.; BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; COLTORTI, M.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; SIENA, F.; TRAVERSA, G. (1990) *Eur.J.Mineral.*, 2:687-709.
- MORBIDELLI, L.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; MACCIOTTA, G.; RUBERTI, E.; SCHEIBE, L.F.; TRAVERSA, G. (1986) *Per.Mineral.*, 55:261-295.
- PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; MARQUES, L.S.; NAROY, A.J.R.; PACCA, I.G.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. (1988) J.D. MacDougall (ed.) *Continental Flood Basalts*, Kluwer Academic Publishers, p.195-238.

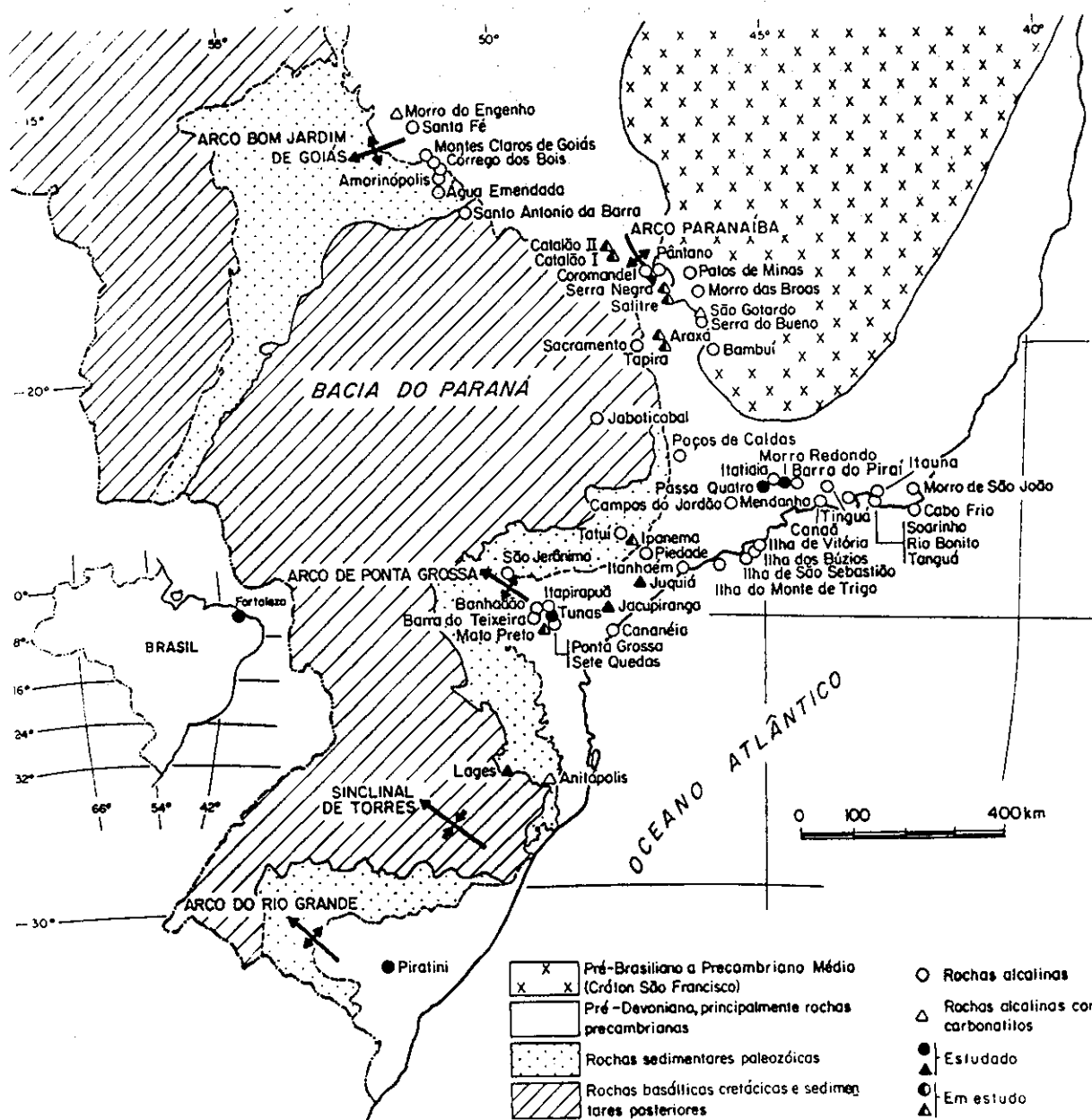


Figura 1 - Mapa de distribuição das ocorrências alcalinas do Brasil Meridional.

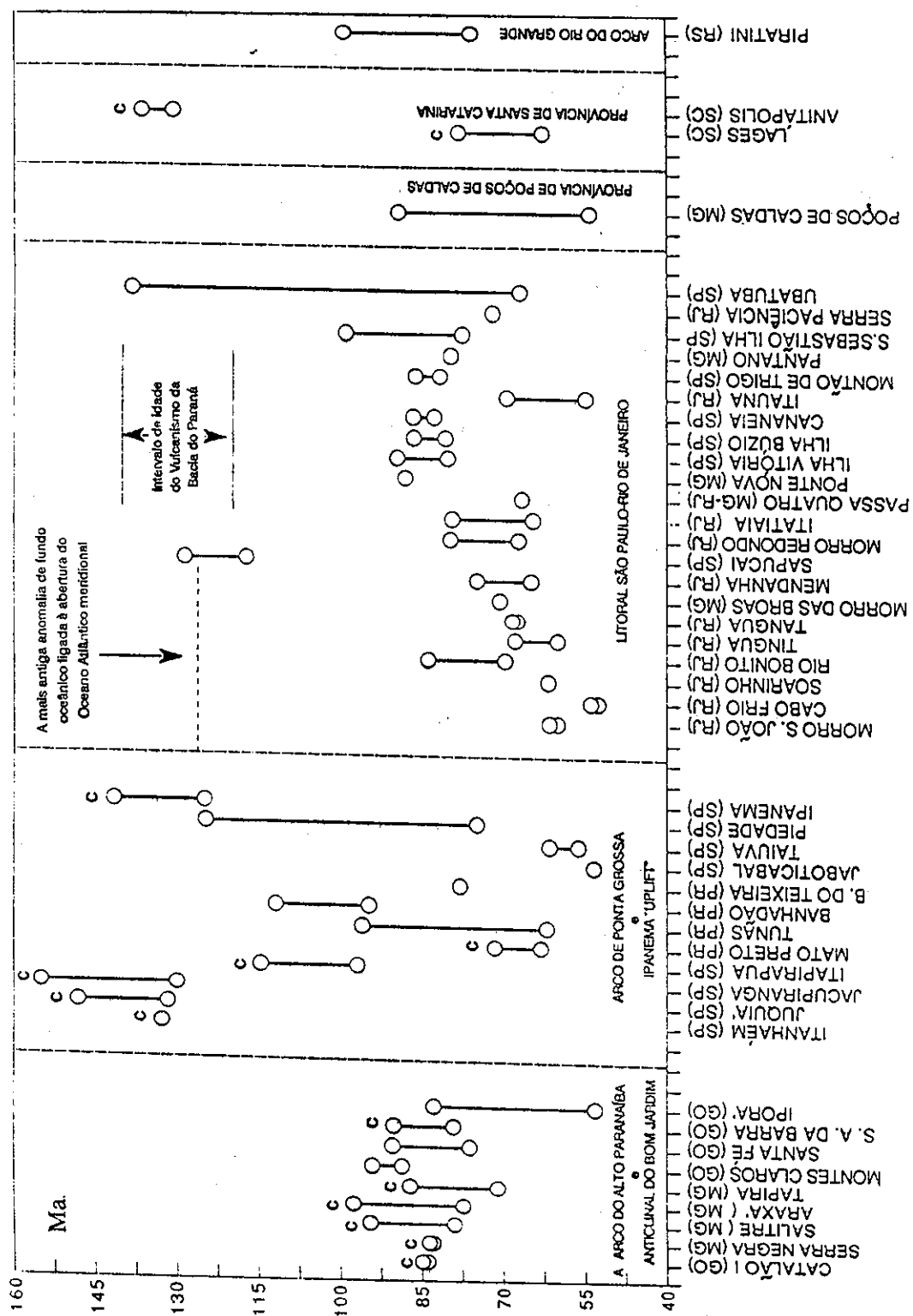


Figura 2 - Idades K/Ar para complexos alcalinos de várias províncias

	FORTALEZA	JACUPIRANGA	JUQUIÁ	LAGES	MORRO REDONDO	PASSA QUATRO	PIRATINI	TUNAS
CLINOPIROXENITO (CP)		•						
OLIVINA CLINOPIROXENITO (OL-CR)	•		•					
OLIVINA NEFELINITO (OL-NE)				•				
ANKARATRITO (ANK)		•						
OLIVINA MELILITITO (OL-MEL)				•				
BASANITO (BSN)			•	•				•
GABRO ALCALINO (ALK-GB)		•						•
SIENOGABRO (SY-GB)								•
ESSEXITO (EX)	•		•		•			
GABRODIORITO (GB-DI)		•						
SIENODORITO (SY-DI)		•	•					•
SIENITO (SY)		•			•			•
SIENITO ALCALINO (ALK-SY)					•			•
NEFELINA SIENITO (Ne-SY)	•	•	•	•	•	•		
TEFRITO (TPH)	•							
FONOLITO TEFRÍTICO (TPH-PH)				•	•		•	
TEFRITO FONOLÍTICO (PH-TPH)	•							
FONOLITO (PH)						•	•	
FONOLITO PERALCALINO (P-PH)	•	•	•	•			•	
FONOLITO TRAQUÍTICO (T-PH)				•				
MELTEIGITO (ME)		•	•					
IJOLITO (IJ)		•	•					
URTITO (UR)		•	•					

Figura 3 - Litologia presente em alguns complexos.

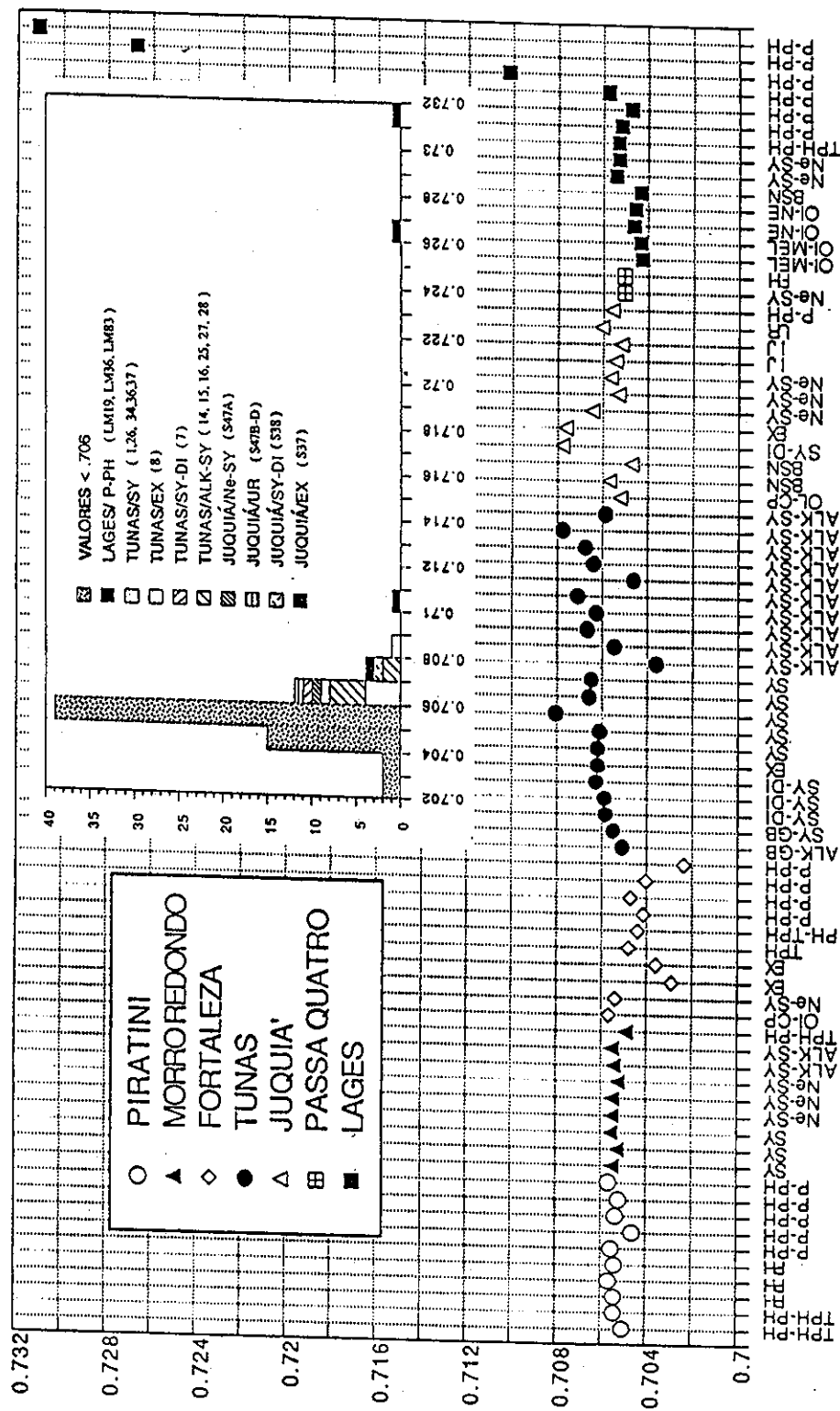


Figura 4 - Valores da razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para alguns complexos. Internamente, histograma de frequência.

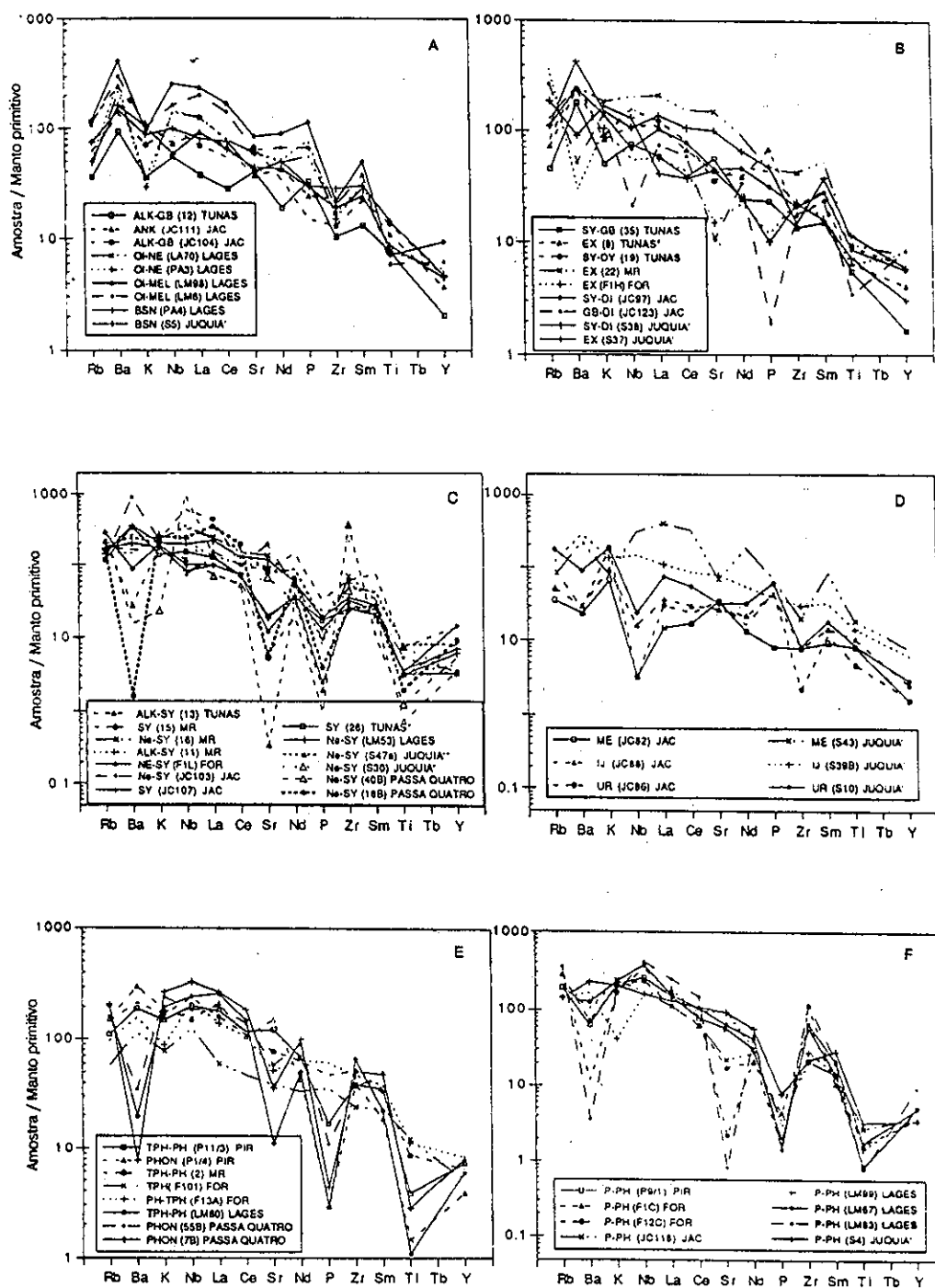


Figura 5 - Gráfico de variação de elementos maiores e traços, normalizados para o manto primitivo, para associações litológicas (A, rochas menos evoluídas; B, rochas gabróicas e essexíticas; C, rochas sieníticas; D, rochas da série ijolítica; E, rochas tefríticas e fonolíticas; F, fonolitos peralcalinos) de diversos complexos.

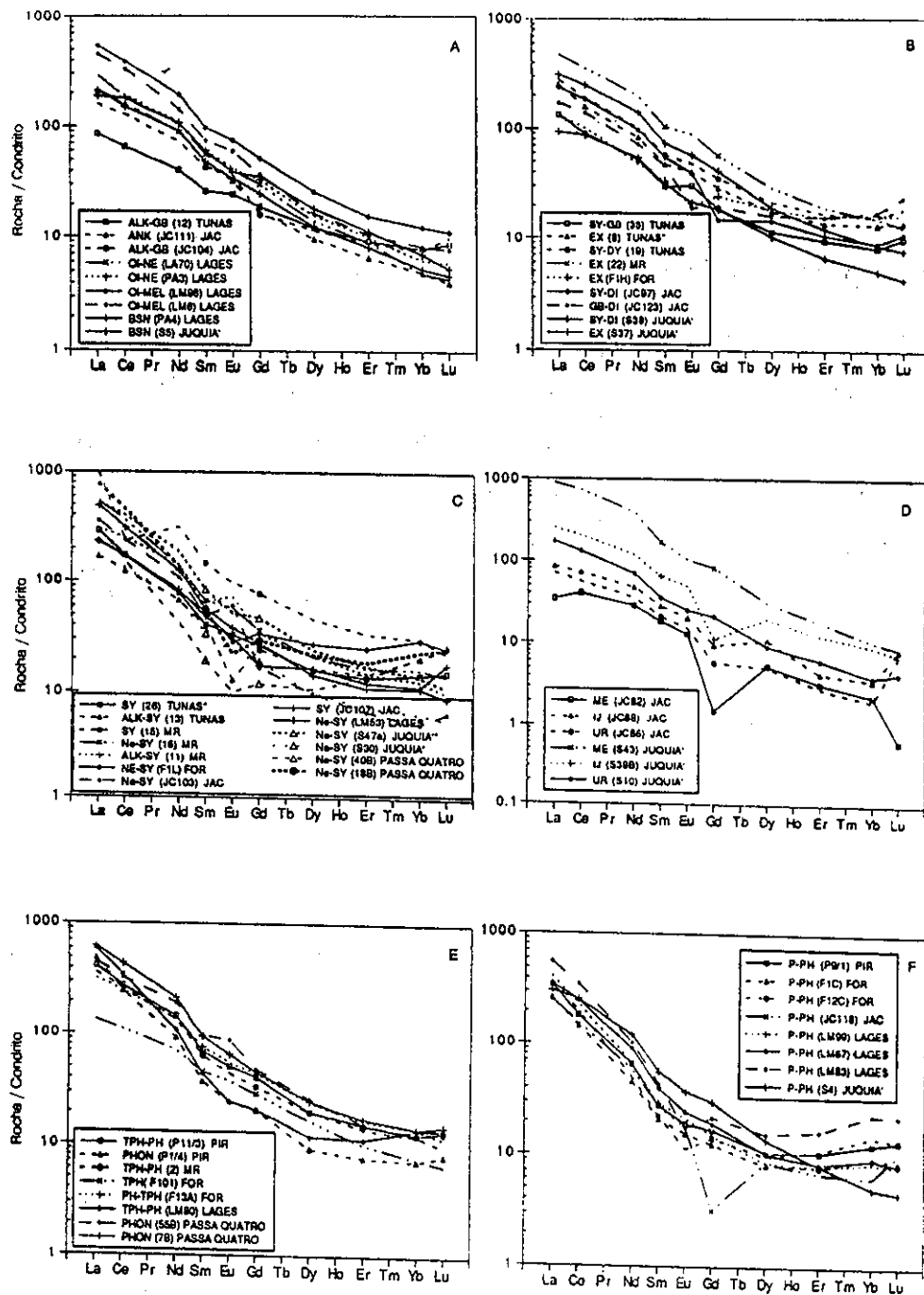


Figura 6 - Gráfico de distribuição dos elementos Terras Raras, normalizados para condrito, para associações litológicas (A, rochas menos evoluídas; B, rochas gabróicas e essexíticas; C, rochas sieníticas; D, rochas da série ijolítica; E, rochas tefríticas e fonolíticas; F, fonolitos peralcalinos) de diversos complexos.

MAGMAS PRIMITIVOS	DISTRITOS			
Gabro Alcalino	TUNAS	JACUPIRANGA		
Basanito	FORTALEZA	JUQUIÁ	LAGES	PIRATINI
Olivina Nefelinito	JACUPIRANGA	L A G E S		
Olivina Melilitito	L A G E S			
	MAGMA PRIMITIVO INFERIDO			
	ROCHAS DERIVADAS PRESENTES			
	ROCHAS DERIVADAS AUSENTES			

Figura 7 - Quadro sinóptico retratando o processo evolutivo em alguns distritos alcalinos.