

MAGMATISMO ALCALINO MESOZÓICO NA PORÇÃO CENTRO-ORIENTAL DO PARAGUAI: ASPECTOS GEOCRONOLÓGICOS

V.F. Velázquez¹, C.B. Gomes², G. Capaldi³, P. Comin-Chiaramonti⁴, M. Ernesto⁵, K. Kawashita²,
R. Petrini⁶, E.M. Piccirillo⁶

1. Curso de Pós-Graduação, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo
2. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo
3. Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia, Università di Napoli, Nápoles, Itália
4. Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica, Università di Palermo, Palermo, Itália
5. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo
6. Istituto di Mineralogia e Petrografia, Università di Trieste, Trieste, Itália

ABSTRACT

The Mesozoic alkaline magmatism in central-eastern Paraguay occurs mainly associated with the Asunción-Sapucaí rift, an extensional NW-SE structure about 200 km long and 25-45 km wide. In this area, alkaline rocks crop out as stocks, plugs, lava flows, ring complexes and dyke swarms. In general, they show K-alkaline affinity and crosscut Silurian sandstones of the Caacupé Group in the central portion of the region. In the eastern part of the outcrop area however, those rocks have Triassic sandstones of the Misiones Formation, and occasionally Carboniferous sediments of the Coronel Oviedo Formation, as their country-rocks. Coexisting Lower Cretaceous tholeiitic dykes and stratoid lava flows of the Serra Geral Formation, as well as alkaline plugs and dykes of Na-affinity, are also noticeable in the area.

K/Ar age-determinations of literature indicate that the K-alkaline magmatic activity took place mainly 120-130 Ma ago. K/Ar data are consistent with Rb/Sr reference and internal isochrones (126.5 ± 7.6 and 127.8 ± 7.2 Ma, respectively). On the basis of these ages and paleomagnetic evidence, the Paraguay K-alkaline magmatism may be considered penecontemporaneous with the tholeiitic magmatism of the Serra Geral Formation (about 130 Ma). Notably, the scarce Na-alkaline magmatism (phonolitic plugs) instead have younger age (70-60 Ma), which tend to approach that of the nephelinites and ankaratrites of the Asunción area (61-39 Ma).

Fission-track ages seem to indicate that tectonic activity, especially that affecting the Acahay-Sapucaí area, ended 75 Ma ago.

The differences among the magmatic-types are stressed by initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ isotopic ratios that reflect different parental magmas originated from isotopically time-integrated mantle source.

RESUMO

O magmatismo alcalino mesozóico da porção centro-oriental do Paraguai ocorre, principalmente, associado ao "rift" Assunção-Sapucaí, uma feição estrutural de natureza extensional, orientada para NW-SE, e estendendo-se por cerca de 200 km de comprimento e 25-45 km de largura. Nessa área, as rochas alcalinas afloram na forma de "stocks", "plugs", derrames de lava, complexos anelares e enxames de diques. Em geral, elas possuem afinidade potássica e são encontradas na parte central da região cortando, discordantemente, arenitos silurianos do Grupo Caacupé. Contudo, na porção oriental, essas rochas acham-se encaixadas em arenitos mesozóicos da Formação Misiones e, ocasionalmente, em sedimentos carboníferos da Formação Coronel Oviedo. Igualmente, estão presentes na área, representantes do magmatismo toleítico do Cretáceo Inferior da Formação Serra Geral, na forma de diques e derrames de lava, além de "plugs" e diques caracterizando uma segunda manifestação alcalina, esta de afinidade sódica.

Determinações de idade radiométrica (K/Ar) disponíveis na literatura indicam que a atividade alcalina de natureza potássica ocorreu principalmente há 120-130 Ma. Estes dados são consistentes com as informações obtidas pelo método Rb/Sr (isócronas de referência e interna, respectivamente, $126,5 \pm 7,6$ e $127,8 \pm 7,2$ Ma). Com base nessas idades e em evidências paleomagnéticas, considera-se que o magmatismo alcalino potássico tenha se dado subcontemporaneamente à atividade toleítica da Formação Serra Geral no Paraguai (ao redor de 130 Ma). Já os "plugs" fonolíticos sódicos, de ocorrência restrita na área, exibem idades mais novas (70-60 Ma), a exemplo das rochas alcalinas ricas em Na (nefelinitos e ankaratritos) encontradas nas imediações de Assunção (61-39 Ma).

Por outro lado, idades de traços de fissão são indicativas de que a atividade tectônica, afetando especialmente a área de Assunção-Sapucaí, teve seu término há 75 Ma.

As diferenças comuns aos diversos tipos litológicos da região acham-se realçadas pelos valores das razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, refletindo magmas parentais diferentes e originados a partir de fontes mantélicas enriquecidas em nuclídeos radiogênicos.

INTRODUÇÃO

Atualmente, são conhecidos numerosos centros alcalinos na Plataforma Sul-Americana. Grande parte dessas intrusões encontra-se alinhada, preferencialmente, junto à borda oriental da Bacia do Paraná, situando-se em território brasileiro ou mesmo uruguaio (Almeida, 1983). Por outro lado, muito pouco se sabe a respeito das manifestações associadas à margem ocidental, com as escassas informações disponíveis confirmando, no entanto, a existência de numerosas ocorrências nos territórios paraguaio e boliviano.

Embora o número de investigações científicas sobre as rochas do Paraguai tenha crescido nos últimos anos, o nível geral dos conhecimentos, à exceção de alguns poucos corpos, é ainda muito baixo.

O estudo geológico dessas ocorrências vem de há muito, com destaque na literatu-

ra para os trabalhos de Harrington (1950), Eckel (1959), Putzer & Van den Boom (1961) e Putzer (1962). Trabalhos posteriores, tratando da sua geologia e petrologia, foram realizados por Palmieri (1973), Palmieri & Arribas (1975), Bitschene & Lipolt (1984) e Bitschene (1987). Data deste último ano, o estudo compilativo apresentado por Livieres & Quade (1987), em que são agrupadas as 32 ocorrências de rochas alcalinas até então conhecidas no Paraguai. Valendo-se de evidências notadamente estruturais, esses autores conseguiram enquadrá-las em três províncias distintas: Alto Paraguai, Amambay e Central (Fig. 1A).

O presente trabalho focaliza as ocorrências dessa última província, recentemente investigada por Velázquez (1992), que, entre outros aspectos, desperta grande interesse face ao fato de reunir rochas for-

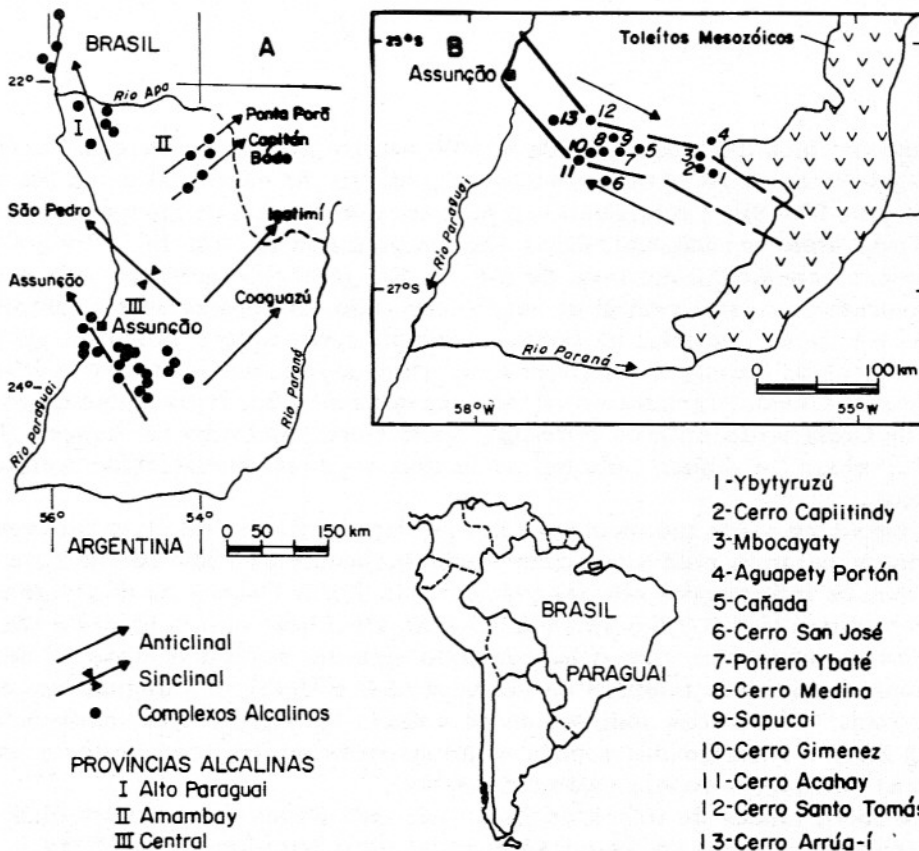


Figura 1 - Mapa de distribuição das ocorrências alcalinas do Paraguai Oriental (simplificado de Livieres & Quade, 1987) (A) e posicionamento do "rift" de Assunção (modificado de Degraff, 1985) (B).

madam em duas épocas distintas, Mesozóica e Terciária.

PROVÍNCIA ALCALINA CENTRAL

Trata-se da província com o maior número de manifestações magmáticas e, geologicamente, a mais conhecida, onde as relações entre tectonismo e magmatismo acham-se melhor definidas. O evento de idade mesozóica encontra-se, na sua maior parte, associado discordantemente às formações arenosas silurianas do Grupo Caacupé e triássicas da Formação Misiones, e ele consiste em uma suíte de rochas alcalinas, predominantemente de afinidade potássica, apresentando ampla diversidade litológica, mineralógica e textural (Gallo, 1988; De Min, 1988; Comin-Chiaramonti et al., 1990; Comin-Chiaramonti et al., 1991a, b). Os corpos exibem formas as mais variadas, sendo possível reconhecer desde pequenos diques, "stocks", "plugs", derrames de lava, até manifestações intrusivas de características anelares, e distribuem-se ao longo do "rift" de Assunção (Fig. 1B), importante feição tectônica orientada para NW-SE (Degraff, 1985; Bitschene, 1987). Em alguns complexos, caso particular de Sapucaí, os diques se constituem na sua mais expressiva feição geológica. Segundo Gomes et al. (1989) e Comin-Chiaramonti et al. (1991d), ali são conhecidos mais de 200 corpos de composição extremamente variável e gerações distintas.

Além disso, essa província conta com grande número de ocorrências de rochas ultrabásicas alcalinas terciárias de afinidade sódica (nefelinitos e ankaratritos, idade 61-39 Ma), portadoras de xenólitos olivínicos de natureza mantélica, aflorando nas imediações de Assunção, e que não serão tratadas neste trabalho, uma vez que já foram objeto de diversos estudos (Stormer et al., 1975; Comin-Chiaramonti et al., 1991c, entre outros).

GEOCRONOLOGIA

Idades K/Ar

A datação de rochas alcalinas do Paraguai Oriental tem sido tema de algumas investigações, entre as quais se destaca a de Comte & Hasui (1971), fornecendo uma primeira visão sobre a cronologia dos eventos magmáticos, e também metamórficos, afetando a região.

Posteriormente a essa etapa pioneira, foram efetuados alguns trabalhos contando com orientação geocronológica para as áreas pesquisadas. Porém, foi somente em 1975 que apareceu a primeira investigação geocronológica de detalhe, esta focalizando o complexo de Sapucaí junto à Província Central. Nessa (Palmieri & Arribas, 1975), os autores efetuaram estudos geológicos das alcalinas da área, reunindo descrições petrográficas gerais das rochas existentes e uma discussão sobre as suas idades radiométricas, determinadas pelo método K/Ar. Além disso, procuraram também correlacioná-las com rochas alcalinas similares do Brasil. Ao lado das referências anteriores, citam-se ainda a contribuição de Bitschene et al. (1986), tecendo considerações sobre a tectônica e a geocronologia de alguns corpos da Província Central, e a publicação inédita de Bitschene (1987). Este autor, em pesquisa de grande abrangência, tratou da petrografia, tectônica, estratigrafia e geocronologia da área de Ybytyruzú, além de discutir, com base em dados geoquímicos, a gênese das rochas alcalinas ali aflorantes.

Mais recentemente, coube a Velázquez et al. (1990a, b) a tarefa de reunir algumas informações adicionais sobre a geocronologia da área, dentro do programa de pesquisa que vem se ocupando do magmatismo alcalino do Paraguai Oriental, e que conta com a participação conjunta de pesquisadores de universidades do Brasil, Itália e Paraguai.

A Tabela 1 agrupa as datações K/Ar constantes da literatura, excluídas as determinações feitas a partir de concentrados de piroxênio, para nove ocorrências alcalinas mesozóicas da Província Central, cuja localização é mostrada na Figura 1B, assim como os novos dados obtidos no transcorrer deste programa de pesquisa, totalizando, assim, 28 análises. O trabalho de Sonoki & Garda (1988) contém os valores recalculados para as idades listadas em Comte & Hasui (1971) e Palmieri & Arribas (1975), uma vez empregando-se as constantes de decaimento recomendadas por Steiger & Jaeger (1978).

Analisando-se a tabela, é possível verificar que o intervalo de idades se estende de 138 a 66 Ma. Quando os dados são reunidos na forma de histograma de frequência (Fig. 2A), verifica-se que este é unimodal e tem como classe dominante o intervalo 120-130 Ma. A idade do Cerro Gimenez (66 Ma), que é um "plug" fonolítico de

Tabela 1 – Idades K/Ar para algumas ocorrências de rochas alcalinas da Província Central (litologia segundo De La Roche, 1986).

Localidade	Litologia	Material	K %	$^{40}\text{Ar Rad.}$ (10^{-6} , CSTP/g)	Ar Atm. %	Idade (Ma)	Ref.
1. Ybytyruzú*	Ter	Bi	7,68	40,84	16,9	131,9 ± 5,0	4
2. Ybytyruzú*	Ter	Rt	6,43	29,90	10,2	115,8 ± 4,2	4
3. Ybytyruzú*	Tf	Bi	7,71	39,07	11,9	125,9 ± 4,6	4
4. Ybytyruzú*	Ta	Bi	8,16	40,91	6,9	124,6 ± 4,2	4
5. Ybytiruzú*	Fte	Bi	7,17	37,20	9,2	128,8 ± 4,6	4
6. Mbocayaty	S nef.	Bi	7,87	40,65	6,8	128,2 ± 4,5	4
7. Mbocayaty	Sd nef.	Bi	6,63	34,45	25,94	129,2 ± 6,8	5
8. Mbocayaty	Sd nef.	Fa	9,17	47,97	8,86	130,0 ± 3,4	5
9. Aguapety Portón	G ess.	Bi	7,54	40,38	23,6	132,9 ± 5,5	4
10. Aguapety Portón	G ess.	Rt	2,50	13,94	15,9	138,1 ± 4,8	4
11. Potrero Ybaté	Sd nef.	Fa	5,97	30,68	9,76	127,8 ± 5,6	5
12. Sapucaí	E	Rt	7,79	41,16	17,5	131,0 ± 8,2	3
13. Sapucaí	F	Rt	5,42	29,86	3,7	136,4 ± 5,1	3
14. Sapucaí	Ba	Rt	3,42	16,34	19,5	119,6 ± 7,2	3
15. Sapucaí	E	Rt	3,82	15,35	28,3	100,0 ± 10	2
16. Sapucaí	Te	Rt	5,57	24,17	26,1	108,3 ± 10,2	3
17. Sapucaí	B alc.	Rt	4,03	16,12	29,8	98 ± 5	2
18. Sapucaí	B alc.	Rt	3,97	21,0	14,5	131,2 ± 5,1	3
19. Sapucaí	Tb	Rt	4,75	20,15	104,7	122 ± 4	6
20. Sapucaí	Fte	Rt	4,65	19,93	70,56	119 ± 4	6
21. Cerro Gimenez	F	Rt	4,44	11,58	21,18	66,0 ± 4,6	5
22. Cerro Santo Tomás	Sd nef.	Bi	8,05	40,84	7,5	126,0 ± 4,5	4
23. Cerro Santo Tomás	Sd nef.	Rt	4,63	25,57	8,2	136,8 ± 5,0	4
24. Cerro Santo Tomás	E	Rt	2,80	15,44	47,0	136,5 ± 10,2	3
25. Cerro Santo Tomás	Te	Bi	8,48	44,46	12,4	130,1 ± 4,8	4
26. Cerro Santo Tomás	Te	Bi	8,31	42,79	10,7	127,9 ± 4,8	4
27. Cerro Acahay	Tb	Rt	3,33	21,52	99,4	118 ± 4	6
28. Cerro Arrúa-f	Sd nef.	Bi	5,44	28,99	48,19	132,3 ± 8,4	5

* 1,2. Cerro Km 23; 3. Cerro Acatf; 4. Salto Boni; 5. Colonia Itatf.

Abreviações: Bi, biotita; Rt, rocha total; Fa, feldspato alcalino; B alc., basalto alcalino; Ba, basanita; E, essexito; F, fonolito; Fte, fonotefrito; G ess., gabro essexítico; S nef., sienito nefelínico; Sd nef., sienodiorito nefelínico; Ta, traquiandesito; Tb, traquibasalto; Te, tefrito; Ter, teralito; Tf, traquifonolito.

Referências: 1. Comte & Hasui (1971), Sonoki & Garda (1988); 2. Palmieri & Arribas (1975); 3. Palmieri & Arribas (1975), Sonoki & Garda (1988); 4. Bitschene (1987), Sonoki & Garda (1988); 5. Velázquez et al. (1990b), Velázquez (1992); 6. G. Capaldi, dados inéditos.

afinidade sódica, é próxima à idade máxima determinada para os “plugs” sódicos e ultra-sódicos que ocorrem nas adjacências de Assunção (fonolito do Cerro Confuso: 55-61 Ma, Bitschene, 1987). O campo de variação para as idades obtidas para os nove complexos é também fornecido naquela ilustração (Fig. 2B). A dispersão observada, com algumas manifestações mais precoces e outras de caráter mais tardio, poderia estar ligada à própria dinâmica do “rift”,

que sofreu diferentes etapas de ativação ao longo de amplo intervalo de tempo (Velázquez, 1992).

Idades Rb/Sr

Além dos dados K/Ar, constam igualmente da literatura algumas idades obtidas pelo método Rb/Sr, provindo basicamente de duas fontes distintas, Bitschene (1987) e Velázquez et al. (1990b) (Tabela 2).

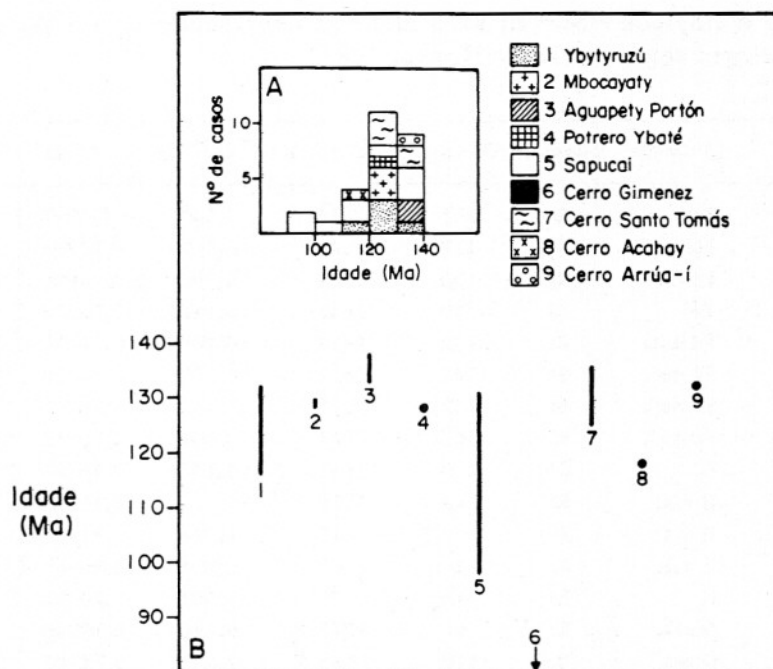


Figura 2 – Histograma de freqüência para idades K/Ar de alguns complexos alcalinos da Província Central (A) e campo de dispersão para os valores obtidos (B).

As rochas analisadas no trabalho de Velázquez et al. (1990b) correspondem a uma suíte plutônica, caracterizada, petrograficamente, pela presença de essexitos, sienodioritos e gabros essexíticos. As análises foram feitas tanto em rocha total, como em concentrados minerais, com os resultados obtidos (Tabela 2) projetados nas Figuras 3 e 4. Na primeira, tem-se uma isócrona de referência construída com doze pontos (análises em rocha total e concentrados minerais); esses dados indicam uma idade de 126,5 Ma e R_0 de 0,70721, com MSWD = 9,63. Os erros indicados na Figura 3 (7,6 Ma a 0,00009, respectivamente) foram obtidos segundo sistemática descrita em Kawashita et al. (1990) para o caso de errócronas. Já na Figura 4, mostra-se uma isócrona interna para o corpo intrusivo de Mbocayaty, petrograficamente caracterizado como um gabro alcalino-sienodiorito nefelínico. O gráfico, construído a partir de três pontos alinhados (rocha total, biotita, plagioclásio), fornece uma idade de $127,8 \pm 7,2$ Ma e R_0 de $0,70735 \pm 7$, com MSWD = 0,14.

Como pode ser notado, as duas isócronas guardam razoável concordância quanto à razão inicial. Por sua vez, a idade é inteiramente compatível com o intervalo

de tempo registrado pelo método K/Ar, como também com os valores obtidos por Bitschene (1987), de 128 ± 8 Ma, para alguns corpos da área de Sapucaí-Ibytyruzú.

Da tabela, constam, também, valores isotópicos para rochas de doze complexos alcalinos distintos da Província Central, correspondendo a um total de 28 análises. A partir das relações $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, foram calculados os correspondentes valores de R_0 normalizados para 128 Ma. Aparentemente, o padrão de R_0 exibe pequena dispersão, agrupando-se essencialmente entre 0,70639 e 0,70772 (Figs. 5A, B), à exceção dos “plugs” fonolíticos sódicos de Cerro Gimenez e Cerro Medina que apresentam valores de R_0 muito mais baixos. Calculando-se R_0 para eles na base de 66 Ma chega-se, respectivamente, aos valores de 0,70402 e 0,70458, que se aproximam daqueles obtidos para os nefelinitos terciários que afloram nas proximidades de Assunção ($R_0 = 0,70362$ - $0,70392$, para idades entre 61 e 39 Ma; Bitschene, 1987 e Comin-Chiaramonti et al., 1991c).

Se válida a correlação reunindo R_0 e idade, evidenciada por Comin-Chiaramonti et al. (1991c) para as rochas vulcânicas terciárias, ter-se-ia para o Cerro Medina uma idade em torno de 71 Ma, isto é,

Tabela 2 – Dados isotópicos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para algumas ocorrências de rochas alcalinas da Província Central (litologia segundo De La Roche, 1986).

Localidade	Litologia	Material	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	R_0	Ref.
1. Ybytyruzú*	Ter	Rt	115	1385	0,240	0,70737 \pm 3	0,70693	1
2. Ybytyruzú*	Fte	Rt	117	1049	0,322	0,70821 \pm 4	0,70762	1
3. Ybytyruzú*	Tf	Rt	130	1038	0,362	0,70800 \pm 3	0,70734	1
4. Cerro Capiitindy	Tf	Rt	79	2048	0,112	0,70775 \pm 2	0,70755	4
5. Mbocayaty	Sd nef.	Rt	172	1637	0,304	0,70773 \pm 2	0,70718	1
6. Mbocayaty	Sd nef.	Rt	162	1618	0,290	0,70786 \pm 6	0,70733	2
7. Mbocayaty	Sd nef.	Bi	132	308,5	1,239	0,70960 \pm 6	0,70735	2
8. Mbocayaty	Sd nef.	Pl	107	3361	0,092	0,70755 \pm 12	0,70738	2
9. Aguapety Portón	E	Rt	100	1963	0,147	0,70745 \pm 2	0,70718	1
10. Aguapety Portón	G ess.	Rt	98	1698	0,167	0,70758 \pm 7	0,70728	2
11. Aguapety Portón	G ess.	Bi	166,5	110	4,384	0,71437 \pm 14	0,70639	2
12. Aguapety Portón	G ess.	Rt	136	1507	0,261	0,70745 \pm 2	0,70698	3
13. Cañada	I	Rt	114	1624	0,203	0,70737 \pm 3	0,70700	3
14. Cerro San José	G ess.	Rt	91	1713,5	0,154	0,70720 \pm 6	0,70692	2
15. Cerro San José	G ess.	Bi	120	133,5	2,603	0,71185 \pm 6	0,70711	2
16. Cerro San José	E	Rt	81	1555	0,151	0,70720 \pm 3	0,70692	3
17. Potrero Ybaté	Sd nef.	Rt	100	2009,5	0,144	0,70749 \pm 6	0,70723	2
18. Cerro Medina	F	Rt	218	361	1,747	0,70622 \pm 6	0,70458	4
19. Sapucaí	Tb	Rt	86	1456	0,171	0,70712 \pm 4	0,70681	5
20. Cerro Gimenez	F	Rt	220	315	2,021	0,70592 \pm 3	0,70402	5
21. Cerro Santo Tomás	Te	Rt	100	1398	0,213	0,70756 \pm 2	0,70717	1
22. Cerro Santo Tomás	Te	Rt	94	1444	0,188	0,70806 \pm 3	0,70772	1
23. Cerro Santo Tomás	Sd nef.	Rt	86	1853,5	0,157	0,70778 \pm 6	0,70749	2
24. Cerro Santo Tomás	Sd nef.	Bi	157,5	174	2,621	0,71238 \pm 10	0,70761	2
25. Cerro Santo Tomás	Sd nef.	Rt	89	1216	0,212	0,70800 \pm 6	0,70761	3
26. Cerro Arrúa-f	Fte	Rt	103	1562	0,190	0,70712 \pm 6	0,70677	3
27. Cerro Arrúa-f	Sd nef.	Rt	81,2	1887	0,125	0,70710 \pm 8	0,70687	2
28. Cerro Arrúa-f	Sd nef.	Bi	108	307	1,018	0,70880 \pm 7	0,70695	2

*1. Cerro Km 23; 2. Colonia Itatf; 3. Cerro Acatf.

Abreviações: Rt, rocha total; Bi, biotita; Pl, plagioclásio; E, essexito; F, fonolito; Fte, fonotefrito; G ess., gabro essexítico; I, ijolito; Sd nef., sienodiorito nefelínico; Tb, traquibasalto; Te, tefrito; Ter, teralito; Tf, traquifonolito.

R_0 - razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ calculada para 128 Ma; Cerro Medina e Cerro Gimenez normalizados para 66 Ma.

Referências: 1. Bitschene (1987); 2. Velázquez et al. (1990b), Velázquez (1992); 3. Comin-Chiaramonti et al. (1991a, b); 4. Censi et al. (1991); 5. G. Capaldi (dados inéditos).

Cretáceo Superior.

Idades de traços de fissão em apatitas

Seis amostras foram analisadas por este método, sendo cinco correspondentes ao maciço de Acahay e uma ao corpo do Cerro Santo Tomás (Green et al., 1991a, b). Além disso, analisou-se também uma amostra de arenito siluriano da região de contato daquele maciço, que forneceu idade de $75,1 \pm 7,3$ Ma. Petrograficamente, as

seis amostras representam variedades intrusivas de afinidade tendendo a gábrica, além de um traquiandesito. Os resultados são fornecidos na Tabela 3 e indicam idades bem mais jovens que as obtidas pelos dois outros métodos, com a variação do intervalo de tempo se estendendo de $77,9 \pm 10,3$ a $94,5 \pm 4,5$ Ma.

Idades paleomagnéticas

Para o trabalho paleomagnético foram

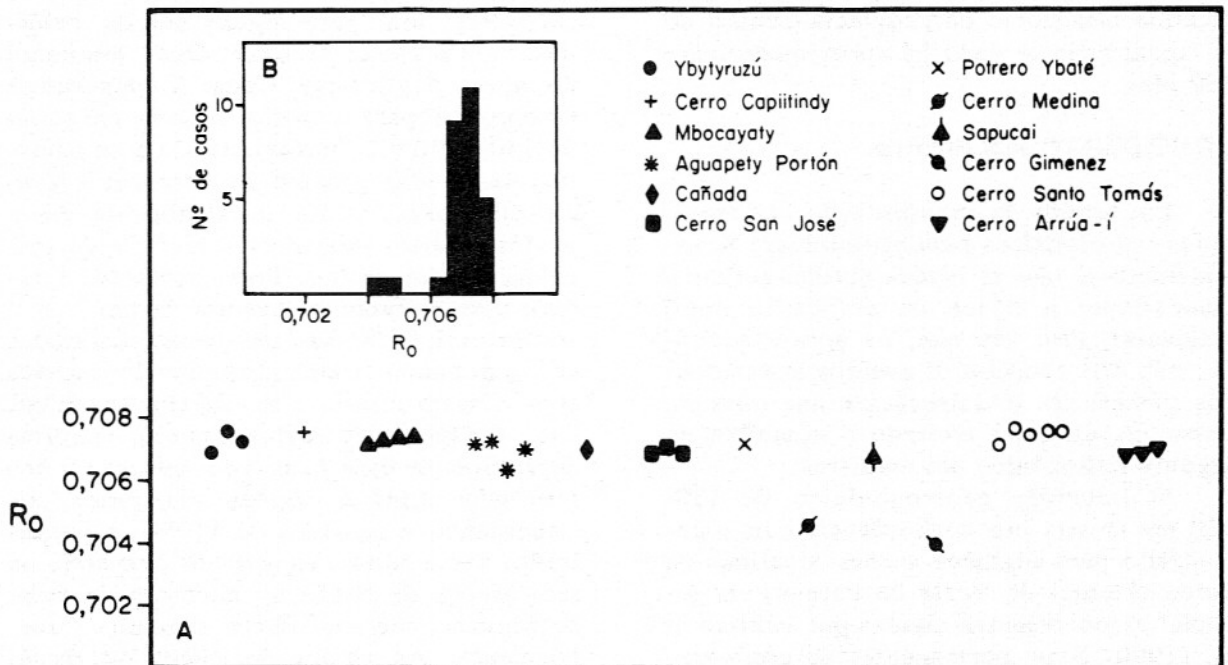
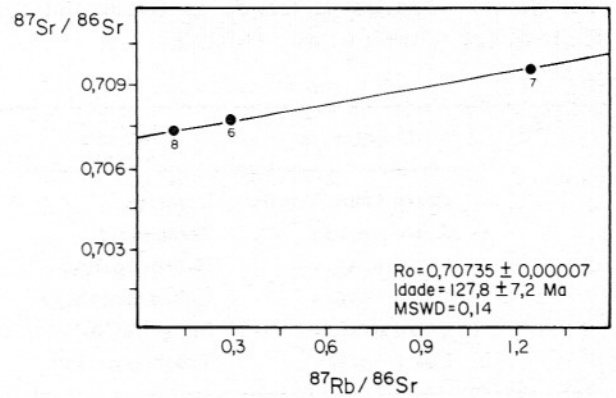
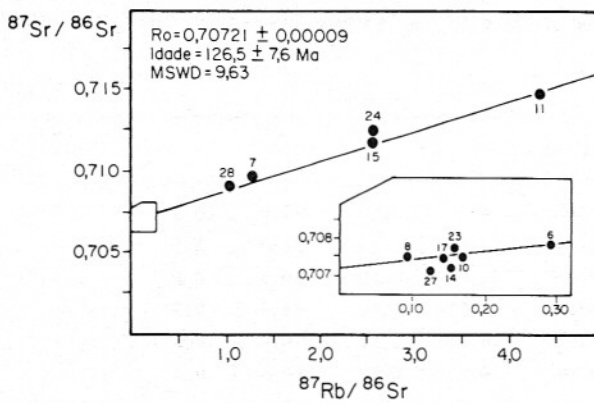


Figura 5 - Distribuição dos valores de R_o para alguns complexos alcalinos da Província Central (A) e respectivo histograma de frequência (B).

amostradas 98 ocorrências de rochas alcalinas (tefritos até fonolitos e traquibasaltos até traquifonolitos).

As direções da magnetização remanescente abrangem, pelo menos, dois intervalos de polaridade geomagnética, com predominância do tipo reverso (Ernesto et al., 1990a). Variações de magnetização remanescente encontradas nas diversas litologias sugerem que o intervalo de polaridade

reversa é anterior ao do tipo normal. Dessa forma, pode-se concluir que a maior parte da atividade magmática se deu num curto intervalo de tempo, durante o período de polaridade reversa (Ernesto et al., 1990a).

As direções de magnetização média, para cada conjunto de rochas, não diferem significativamente e, quando combinadas, fornecem um pólo paleomagnético que concorda com aqueles determinados por Er-

Tabela 3 – Idades de traços de fissão em apatitas para alguns corpos alcalinos da Província Central (cf. Green et al., 1991b).

Ocorrência	Litologia	Material	C*	Idade (Ma)
Cerro Santo Tomás	Essexito	Apatita	14,56 ± 0,16	77,9 ± 10,3
Cerro Acahay	Sienogabro	Apatita	14,42 ± 0,12	88,0 ± 5,1
Cerro Acahay	Gabro alcalino	Apatita	14,54 ± 0,10	94,5 ± 4,3
Cerro Acahay	Gabro essexítico	Apatita	14,51 ± 0,10	91,4 ± 5,3
Cerro Acahay	Sienodiorito	Apatita	14,83 ± 0,11	79,9 ± 4,6
Cerro Acahay	Traquiandesito	Apatita	14,72 ± 0,18	87,3 ± 8,1

*, comprimento médio do traço de fissão em 10^{-6} mm (μ).

nesto et al. (1990b) para a Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. A partir das idades atribuídas por esses autores aos pólos da Formação Serra Geral, o magmatismo alcalino mesozóico da Província Central do Paraguai teria se dado há aproximadamente 130 Ma.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em termos de interpretação dos resultados radiométricos pela metodologia K/Ar, considera-se que as idades obtidas refletem basicamente a época de colocação do(s) magma(s), uma vez que, na área examinada, não são conhecidos eventos metamórficos posteriores às intrusões e que possam, dessa maneira, ter alterado o conteúdo de argônio radiogênico das amostras.

O intervalo geocronológico de 120-130 Ma mostra boa concordância com o encontrado para algumas rochas alcalinas da borda oriental da Bacia do Paraná, em especial as ocorrências citadas por Ulbrich et al. (1990) como pertencentes ao cronogrupo de 133 Ma. Por outro lado, aquele intervalo assinala a maior atividade tectono-magmática do “rift” de Assunção associada a um regime predominantemente tensional.

O exame dos dados de Rb/Sr (Velázquez et al., 1990b) (Fig. 3) indica que apenas quatro deles acham-se alinhados ao conjunto concentrado perto da origem. Apesar das limitações da isócrona, a idade obtida ($126,5 \pm 7,6$ Ma) mantém, no entanto, estreita correspondência com os resultados K/Ar. Por outro lado, a isócrona interna (Fig. 4) já apresenta boa distribuição espacial, com três pontos alinhados, fornecendo, assim, uma idade de $127,8 \pm 7,2$ Ma. Como foi assinalado, os dois

conjuntos apontam para idade de formação próxima a 130 Ma.

As idades de traços de fissão em apatitas evidenciam valores bem menores (77,9-94,5 Ma) para alguns corpos alcalinos da Província Central. Duas hipóteses procuram explicá-las. Como a temperatura de bloqueio para a apatita situa-se em torno de $110 \pm 20^{\circ}\text{C}$ (Durrani, 1981) e as amostras analisadas provêm de intrusões supracrustais rasas, muito possivelmente essas idades estejam refletindo a história do resfriamento dos corpos. Por outro lado, é sabido que, durante a abertura de um “rift” continental, as bordas das zonas cizalhadas se apresentam freqüentemente levantadas com vistas a manter o equilíbrio isostático. Esse fenômeno de reajuste possui amplitude suficiente para fazer com que as rochas profundas atinjam regiões mais rasas, ultrapassando a isoterma de 110°C , e permitindo, dessa forma, às apatitas gravarem os seus traços de fissão no momento de estabelecimento do equilíbrio durante o resfriamento. As idades de traços de fissão sugerem que esse evento se deu no intervalo 75,1-94,5 Ma.

As idades paleomagnéticas (130 Ma) concordam com as idades K/Ar e Rb/Sr. Considerando que o magmatismo da Bacia do Paraná apresenta evolução no sentido do Sul para o Norte, conclui-se, de modo geral, que a atividade toleítica já se encontrava em pleno progresso quando tiveram início as manifestações alcalinas que deram origem às rochas da Província Central.

Adicionalmente, resultados isotópicos preliminares (Comin-Chiaramonti et al., 1991a, b; R. Petrini, dados inéditos) indicam para a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ das alcalinas potássicas da Província Central valor de

0,51193 \pm 3 (amostras 13, 16 e 26 da Tabela 2; R_o medido = 0,70697 \pm 10). Para o fonolito sódico de Cerro Medina ela é de 0,51247 \pm 3 (amostra 19 da Tabela 2; R_o , 66 Ma = 0,70458). Por outro lado, convém notar que os basaltos toleíticos da Formação Serra Geral da mesma região (idade 130 Ma) apresentam valores medidos para as razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e R_o , respectivamente, de 0,51253 \pm 16 e 0,70587 \pm 9 (Marques et al., 1989). Já os nefelinitos e ankaratritos terciários da área de Assunção (idade média 45 Ma) exibem, respectivamente, valores de 0,51262 a 0,51280 e 0,70362 a 0,70392 (Comin-Chiaramonti et al., 1991c).

Disso resulta que, para a porção centro-oriental do Paraguai, os dados isotópicos disponíveis (Fig. 6) apontam no sentido da existência de magmas oriundos de fontes radiogênicas diferentes, com as alcalinas potássicas indicando uma fonte mais enriquecida. Este fato, aliado à presença de anomalia negativa de Nb-Ta nessas rochas (Comin-Chiaramonti et al., 1991a, b, d), permite que se façam conjeturas sobre um hipotético processo de subducção que teria sido responsável pela introdução de com-

ponentes crustais no manto subcontinental. As anomalias relativas às concentrações elevadas de elementos incompatíveis e os altos valores de R_o encontrados nas ilhas oceânicas do hemisfério austral (anomalia de Dupal, Dupré & Allègre, 1983) poderiam ser devidas a processos difusos de subducção, que Hawkesworth et al. (1986) procuram, tentativamente, estender também ao manto continental sul-americano. Por sua vez, Piccirillo & Melfi (1988) têm procurado mostrar que as diferenças geoquímicas e isotópicas dos toleitos da Bacia do Paraná acham-se, preferencialmente, identificadas com heterogeneidades do manto litosférico. Posto que os nefelinitos cenozóicos da mesma região não exibem características do tipo Dupal, imagina-se que uma zona de subducção, pouco espessa e de ocorrência limitada, possa estar tão somente relacionada à fonte dos magmas potássicos.

Por outro lado, considerando a possibilidade da anomalia térmica associada à Bacia do Paraná no Mesozóico ter-se iniciado a grandes profundidades (p.e. 600 km: White & McKenzie, 1989) e, mais, de necessitar de longo período de tempo para alcançar o manto superior, é possível admitir-se a subida de pequenas quantidades de fluidos e/ou pequenos volumes de material fundido, enriquecidos em elementos incompatíveis em função da elevação da isoterma, levando à contaminação do manto superior (Zindler & Hart, 1986; Francis & Ludden, 1990). Partindo dessas premissas, a sucessiva ascensão da anomalia térmica teria possibilitado a fusão parcial (> 10%) do manto superior heterogêneo e a gênese dos magmas toleíticos; os magmas alcalinos potássicos mesozóicos seriam formados por baixo grau de fusão (3-7%), em zonas periféricas relativamente ao ápice da anomalia térmica, a partir de fonte de natureza peridotito a granada, enriquecida metassomáticamente em elementos incompatíveis.

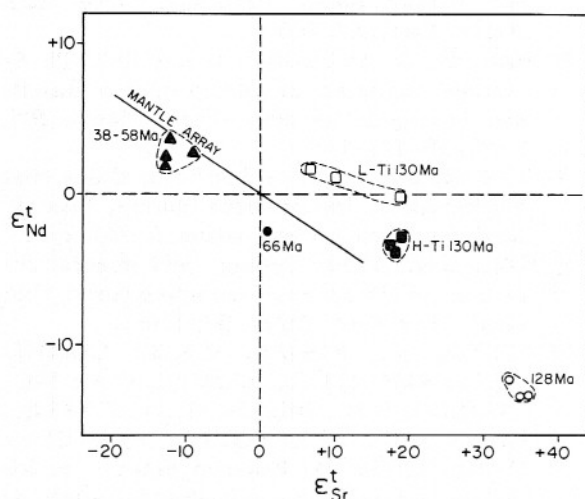


Figura 6 - Composição isotópica de Nd e Sr de amostras de diferentes litologias da porção centro-oriental do Paraguai (referências: Bitschene, 1987; Comin-Chiaramonti et al., 1991a, b, c; Cordani et al., 1988, para as rochas toleíticas, L-Ti e H-Ti, respectivamente, pobres e ricas em Ti, da Formação Serra Geral. ϵ é expresso de acordo com constantes e concentrações isotópicas referidas em Faure (1986).

AGRADECIMENTOS

Estes são devidos à FAPESP (Proc. Geologia 90/3692-7) e ao MURST (Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica, Itália) pelo apoio financeiro prestado à realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. (1983) Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Rev. Bras. Geoc.*, **13**: 139-258.
- BITSCHENE, P.R. (1987) Mesozoicher und Kanozoicher magmatismus in OstParaguay: arbeitzeznur geologie und petrologie zweier alkaliprovinzen. Ph.D. Thesis, Heidelberg University, 317p.
- BITSCHENE, P.R. & LIPPOLT, J.H. (1984) Geologie der Cordillera der Ibytyruzú in OstParaguay: ein Mesozoicher alkali-intrusiv-komplex am westrand der Parana-bekens. *Lat. Amer. Koll. Marburg, Tag., Heft.*, **9**: 33-34.
- BITSCHENE, P.R.; LIPPOLT, J.H.; EMMERMANN, R. (1986) Jungnesozoicher K-betonter magmatismus in OstParaguay (Guairá-Paraguarí provinz) und rifting-prozesse innerhalb der Sudamericka-platform. *Fortschr. Miner.* **64/1**, p. 19.
- CENSI, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; ORUÉ, D.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; VELÁZQUEZ, V.F. (1991) "Plugs" fonolíticos no gráben Assunção-Sapucaí, Paraguai Centro-Oriental. 3º Congr. Bras. Geoq./1º Congr. Geoq. PLOP, São Paulo, Brasil, Resumos, **1**: 127-129.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; CASTILLO, A.M.C.; DEMARCHI, G.; GALLO, P.; VELÁZQUEZ, J.C. (1990) Petrologia do maciço alcalino de Acahay, Paraguai Oriental. *Rev. Bras. Geoc.*, **20**: 133-152.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CAPALDI, G.; CENSI, P.; CUNDARI, A.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; ORUÉ, D.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; VELÁZQUEZ, V.F. (1991a) Geoquímica dos complexos alcalinos potássicos do Paraguai Centro-Oriental. 3º Congr. Bras. Geoq./1º Congr. Geoq. PLOP, São Paulo, Brasil, Resumos, **1**: 100-108.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CAPALDI, G.; CENSI, P.; CUNDARI, A.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; ORUÉ, D.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; VELÁZQUEZ, V.F. (1991b) Geochemistry of Mesozoic K-alkaline complexes from central-eastern Paraguay. *Congr. SIMP, Ferrara, Itália. Plinius*, **6**: 149-153.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CIVETTA, L.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; CENSI, P.; BITSCHENE, P.R.; DEMARCHI, G.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; CASTILLO, A.M.C.; VELÁZQUEZ, J.C. (1991c) Tertiary nephelinitic magmatism in Eastern Paraguay: petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with associated spinel-peridotite xenoliths. *Eur. J. Mineral.*, **3**: 507-525.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CUNDARI, A.; CENSI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; DE MIN, A.; ORUÉ, D.; VELÁZQUEZ, V.F. (1991d) Mesozoic dyke swarm in the Sapucaí-Graben (Central-eastern Paraguay). *International Symposium on Mafic Dykes, São Paulo, Brazil, Extended Abstracts*, p. 125-132.
- COMTE, D. & HASUI, Y. (1971) Geochronology of Eastern Paraguay by potassium-argon method. *Rev. Bras. Geoc.*, **1**: 33-43.
- CORDANI, U.G.; CIVETTA, L.; MANTOVANI, M.S.M.; PETRINI, R.; KAWASHITA, K.; HAWKESWORTH, C.J.; TAYLOR, P.; LONGINELLI, A.; CAVAZZINI, G.; PICCIRILLO, E.M. (1988) Isotope geochemistry of flood volcanics from the Paraná Basin (Brazil). In: E.M. Piccirillo & A.J. Melfi (Eds.), *The Mesozoic Flood Volcanism from the Paraná Basin (Brazil): Petrogenetic and Geophysical Aspects*. IAG/USP, São Paulo, p. 157-178.
- DE LA ROCHE, H. (1986) Classification et nomenclature des roches ignées: un essai de restauration de la convergence entre systématique quantitative, typologie d'usage et modélisation génétique. *Bull. Soc. géol. France*, **8**: 337-353.
- DE MIN, A. (1988) Studio petrologico e geoquímico della attività filoniana alcalina di Sapucaí (Paraguay). *Bs.D. Dissertation, University of Trieste*, 260p.
- DEGRAFF, J.M. (1985) Late Mesozoic crustal extension and rifting on the western edge of the Paraná Basin, Paraguay. *Geol. Soc. Amer. Abst.*, **17**: 560.
- DUPRÉ, B. & ALLÈGRE, C.J. (1983) Pb-Sr isotope variation in Indian Ocean basalts and mixing phenomena. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **58**: 142-146.
- DURRANI, S.A. (Ed.) (1981) *Proceedings first workshop on fission-track dating, Pisa (Italy)*. In: *Fission-track dating*, **5**: 241-252.
- ECKEL, E.B. (1959) *Geology and mineral resources of Paraguay, a reconnaissance*. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, **34**: 110p.
- ERNESTO, M.; RODAS, C.R.S.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; CASTILLO, A.M.C.; VELÁZQUEZ, J.C.; CUNDARI, A. (1990a) Paleomagnetismo de los diques asociados ao complejo alcalino de Sapukai, Paraguai Oriental. 1er. Coloquio sobre Rocas Alcalinas del Paraguay, Asunción, Paraguay. *Rev. Geol.*, **1**: 124-128.
- ERNESTO, M.; PACCA, I.G.; HODO, F.Y.; NARDY, A.J.R. (1990b) Paleomagnetism of the Mesozoic Serra Geral Formation, southern Brazil. *Phys. Earth Planet. Int.*, **64**: 153-175.
- FAURE, G. (1986) *Principles of isotope geo-*

- logy. 2nd ed., John Wiley & Sons, 589p.
- FRANCIS, D. & LUDDEN, J. (1990) The mantle source for olivine nephelinite, basanite and alkali olivine basalt at Fort Selkirk, Yukon, Canada. *J. Petrol.*, **31**: 371-400.
- GALLO, P. (1988) Studio petrografico del massiccio alcalino di Acahay (Paraguay Orientale). Bs.D. Dissertation, University of Palermo, 188p.
- GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE MIN, A.; MELFI, A.J.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; CASTILLO, A.M.C.; VELÁZQUEZ, J.C.; VELÁZQUEZ, V.F.; PICCIRILLO, E.M. (1989) Atividade filoniana associada ao complexo alcalino de Sapukai, Paraguai Oriental. *Geochim. Brasil.*, **3**: 93-114.
- GREEN, P.F.; DUDDY, I.R.; O'SULLIVAN, P.; HEGARTY, K.A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B. (1991a) Análise de traços de fissão em apatita de rochas alcalinas do Paraguai Oriental e sua implicação para a exploração de hidrocarbonetos. 3º Congr. Bras. Geoq./1º Congr. Geoq. PLOP, São Paulo, Brasil, Resumos, **2**: 627.
- GREEN, P.F.; DUDDY, I.R.; O'SULLIVAN, P.; HEGARTY, K.A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B. (1991b) Mesozoic potassic magmatism from the Asunción-Sapucaí graben (Paraguay): apatite track analysis of the Acahay suite and implications for hydrocarbon exploration. *Geochim. Brasil.* **5**, no prelo.
- HARRINGTON, H.J. (1950) Geologia del Paraguay Oriental. *Fac. Ci. Ex., Fís. Mat., Contr. Cient., Ser. E., Geologia*, **1**: 1-88.
- HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M.S.M.; TAYLOR, P.N.; PALACZ, Z. (1986) Evidence from the Paraná of South Brazil for a continental contribution to Dupal basalts. *Nature*, **322**: 356-359.
- KAWASHITA, K.; SONOKI, I.K.; SAITO, K.; SONOKI, H.M. (1990) Regressões lineares em geocronologia: isócronas, errócronas e pseudoisócronas. *Bol. IG-USP, Sér. Cient.*, **21**: 53-72.
- LIVIERES, R.A. & QUADE, H. (1987) Distribución regional y asentamiento tectónico de los complejos alcalinos del Paraguay. *Zbl. Geol. Paläont., Teil I, Heft 7/8*: 791-805.
- 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**: 33-50.
- PALMIERI, J.H. (1973) El complejo alcalino potásico de Sapukai (Paraguay Oriental). Ph.D. Thesis, University of Salamanca, 298p.
- PALMIERI, J.H. & ARRIBAS, A. (1975) El complejo alcalino potásico de Sapukai (Paraguay Oriental). *Congr. Ibero-Amer. Geol. Econ., Buenos Aires, Anais*, **2**: 267-300.
- PICCIRILLO, E.M. & MELFI, A.J. (Eds.) (1988) The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects. IAG-USP, 600p.
- PUTZER, H. (1962) Die geologie von Paraguay. *Beitr. Reg. Geol. Erder.*, **2**: 182p.
- PUTZER, H. & VAN DEN BOOM, G. (1961) Über einige vorkommen von alkaligesteinen in Paraguay. *Geol. Jb.*, **79**: 423-444.
- SONOKI, I.K. & GARDA, G.M. (1988) Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. *Bol. IG-USP, Sér. Cient.*, **19**: 63-85.
- STEIGER, R.H. & JAEGER, E. (1978) Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geochronology. *Contribution to the geologic time scale. Studies in geology*, **6**: 67-72.
- STORMER, J.C.; GOMES, C.B.; TORQUATO, J.F.R. (1975) Spinel lherzolite nodules in basanites lavas from Asunción, Paraguay. *Rev. Bras. Geoc.*, **5**: 176-185.
- ULBRICH, H.H.G.J.; GARDA, G.M.; ULBRICH, M.N.C. (1990) Avaliação das idades K/Ar dos maciços alcalinos do Brasil Sul-oriental e Paraguai Oriental. *Bol. IG-USP, Publ. Esp.*, **9**: 87-91.
- VELÁZQUEZ, V.F. (1992) Província alcalina central, Paraguai Oriental: aspectos petrográficos, tectônicos e geocronológicos. *Dissertação de Mestrado, IG-USP*, 119p.
- VELÁZQUEZ, V.F.; DE MIN, A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; VELÁZQUEZ, J.C. (1990a) Vulcanismo mesozóico no Paraguai centro-oriental (área Ypacaraí-Sapucaí). 1er. Coloquio sobre Rocas Alcalinas del Paraguay, Asunción, Paraguay. *Univ. Nac. Asunción, Fac. Ci. Exact. Nat., Resumo*.
- VELÁZQUEZ, V.F.; KAWASHITA, K.; GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; (1990b) Província Alcalina Central del Paraguay: datos geocronológicos preliminares. 1er. Coloquio sobre Rocas Alcalinas del Paraguay, Asunción, Paraguay. *Rev. Geol.*, **1**: 117.
- WHITE, R. & MCKENZIE, D. (1989) Magmatism of rift zones: the generation of continental margins and flood basalts. *J. Geophys. Res.*, **94**: 7685-7729.
- ZINDLER, A. & HART, S.R. (1986) Chemical geodynamics. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **14**: 493-571.