



Vulcanismo na região argentina de "extra" back-arc continental da América do Sul: evidências geoquímicas de componentes de pluma mantélica e contribuição de fluidos da placa de Nazca

T.L.R. Jalowitzki¹, R.V. Conceição¹, M. Schilling², E. Koester³ & G. Bozetti⁴

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Instituto de Geociências, Laboratório de Geologia Isotópica, Av. Bento Gonçalves 9500, prédio 43129, Porto Alegre, RS, Brasil. tiago.jalowitzki@ufrgs.br, rommulo.conceicao@ufrgs.br

2 Facultad de Ciencias Físicas e Matemáticas, Departamento de Geología, Universidad del Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile. mschilli@cec.uchile.cl

3 Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia e Economia, Rua Alberto Rosa, 154, Pelotas, RS, Brasil. edineikoester@yahoo.com.br

4 Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Instituto de Geociências, Laboratório de Altas Pressões e Materiais Avançados, Av. Bento Gonçalves 9500, prédio 43133, Porto Alegre, RS, Brasil. guibogetti@yahoo.com.br

Abstract There are several important occurrences of alkali basalt in the back-arc region of Patagonia which carry xenoliths derived from the mantle lithosphere. Several authors have strengthened the possibility of these basalts being or not related to the actual tectonic of the Andes. In this work, major and trace chemical element, and Sr isotopic analyses were performed on some of the alkali basalt sampled from (36°13'19.5") to (44°52'19.6") in Patagonia, with the goal to interpret their chemical affiliation. We conclude that the majority of these basalts have OIB characteristics, which suggest the existence of a hot plume in that region. However some samples especially from the North, show back-arc characteristics with a tendency to tholeiites, while other samples show some contribution from the subducted slab. These results emphasize the complexity of that area and the importance of studies using other tools.

Palavras-chave: basaltos alcalinos, Patagônia.

INTRODUÇÃO E GEOLOGIA DA ÁREA A região oeste da América do Sul é caracterizada por um complexo sistema de placas tectônicas, pois a placa continental Sul Americana interage diretamente com as placas oceânicas de Nazca, Antártica e Scotia. O magmatismo e o tectonismo, gerados pelos processos de subducção dessas placas oceânicas sob a placa Sul Americana, formaram a Cordilheira do Andes, que, por sua vez, foi classificada em quatro zonas vulcânicas controladas pela geometria das placas subductadas (Ramos, 1999), a saber: Zona Vulcânica Norte (ZVN), Zona Vulcânica Central.

(ZVC), Zona Vulcânica Sul (ZVS) e Zona Vulcânica Austral (ZVA) A região da Patagônia pode ser dividida no setor norte e sul a partir da latitude 46°S, separada pela dorsal do Chile e pelo atual ponto tríplice entre as placas de Nazca, América do Sul e Antártica.

Os principais platôs do setor sul da região de *back-arc* da Patagônia formam as Mesetas de la Muerte (7-4Ma), Belgrano, do Lago de Buenos Aires (4,4 Ma), Central e outras mesetas menores localizadas na região. Alguns desses platôs podem ter seu magmatismo relacionado com a presença das janelas

astenosféricas (Ramos & Kay 1992, Gorrington *et al.* 1997), que requerem a fusão de um manto astenosférico relativamente homogêneo, com características de OIB; fusão parcial das placas de Nazca e Antártica subductadas e a estocagem de fluidos derivados da placa na base da litosfera continental; contribuição da crosta superior e de componentes enriquecidos do manto litosférico.

No setor norte, o magmatismo de *back-arc* está relacionado com a subducção da placa de Nazca sob a placa Sul-Americana, representado pelo platô vulcânico Meseta de Somuncura (25-26 Ma) e pelas seqüências pós-platô Buta Ranquil (3,2-0,3 Ma), Pino Hachado (1,3-2,4 Ma) e Sierras de San Bernardo (22-21 Ma). Tanto a seqüência de platô como a de pós-platô registram assinaturas geoquímicas e isotópicas tipo OIB (Stern *et al.*, 1990). A origem desses platôs é atribuída a *transients hotspots* por Kay *et al.* (1992), enquanto que Ignácio *et al.* (1995) atribui a geração do magmatismo a plumas de ascensão astenosférica (*asthenospheric corner flow*) em decorrência de combinação de *roll back* da placa subductada e da topografia da placa de Nazca, com convexidade voltada para cima nessa região e propõe três estágios de evolução para a Meseta de Somuncura. Os três

estágios marcam o início de *decoupling*, ascensão adiabática de astenosfera quente com afinidade OIB; estágio avançado de *decoupling*, alto grau de descompressão da astenosfera OIB ascendente; e a fonte OIB torna-se depletada por causa da extração de magma.

Os principais processos tectono-magmáticos atuantes na evolução da Patagônia, segundo Gorrington Kay (2000), são os eventos de: (a) subducção próxima e contínua desde o início do Cretáceo e subducção episódica desde a metade do Paleozóico; (b) erupção de grandes volumes de magmas riolíticos no período Jurássico durante os primeiros estágios de abertura do *rift* da América do Sul (Kay *et al.* 1989, Pankhurst & Rampela 1995), formando depósitos com mais de 1000 m de espessura com as rochas mais ácidas na porção superior da pilha vulcânica (Ramos 1992); (c) extensivo magmatismo de platô Eoceno e Neoceno na região de *back-arc* (Ramos & Kay 1992, Gorrington *et al.* 1997, Gorrington & Kay 2000; 2001).

A área de pesquisa está situada no extremo sul da ZVC e se estende até a porção mediana da ZVS. A região de coleta das amostras, do norte para sul, é composta pelos pontos mostrados na Tabela 1.

Local	Ponto	Latitude	Longitude
Cerros de La Laguna	PM-1	36°13'19,5"S	68°26'01,0"W
Água Poca	PM-2	37°01'S	68°07'W
Huanul	PM-3	37°18'03,2"S	68°33'02,2"W
Cerro del Mojon	PM-4	41°06'18,7"S	70°13'09,4"W
Jacobacci	PM-5	41°31'S	69°57'W
Aznare	PM-6	41°01'S	67°34'W
Estancia Alvarez	PM-7	40°46'S	68°46'W
Praguaniyeu	PM-8	41°20'09,4"S	67°54'08,1"W
	PM-9	41°20'29,2"S	67°53'27,5"W
Passo de Índios	PM-10	43°38'39,3"S	68°56'22,0"W
Cerro Desconocido	PM-11	43°48'42,6"S	68°55'32,3"W
La Laurita	PM-12	44°52'19,6"S	70°03'57,7"W

Tabela 1. Localização dos pontos de coleta das amostras

O principal objetivo deste trabalho é de correlacionar os basaltos das diversas ocorrências encontradas na Patagônia (porção norte) e tentar discutir o ambiente tectônico, principalmente a partir de estudos geoquímicos.

Geoquímica de elementos maiores e traço Com o objetivo de caracterizar quimicamente os basaltos estudados, foram realizadas análises para elementos maiores e traço em onze amostras, visando à caracterização das afinidades geoquímicas das rochas pertencentes aos platôs vulcânicos. Esses elementos foram analisados por fluorescência de raios-x na

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Os basaltos da Patagônia apresentam #Mg entre 57,31 (PM5-A1) e 81,39 (PM8-B2b). Dessa forma, as amostras PM5-A1, PM6-A1 e PM6-A2 são as rochas mais evoluídas e a PM8-B2b é a rocha menos diferenciada.

Conforme o diagrama álcalis (%Na₂O+K₂O) vs. %SiO₂ podemos classificar os basaltos como basanitos-tefritos, hawaiitos e basaltos da série alcalina (Fig. 1). A amostra PM10-A1 é a mais alcalina, com teores de álcalis total de 7,97% para teores de SiO₂ em torno de 43%, enquanto que a amostra PM8-B2b é a menos alcalina, com valores de álcalis total de 3,75% para 37,65% de SiO₂.

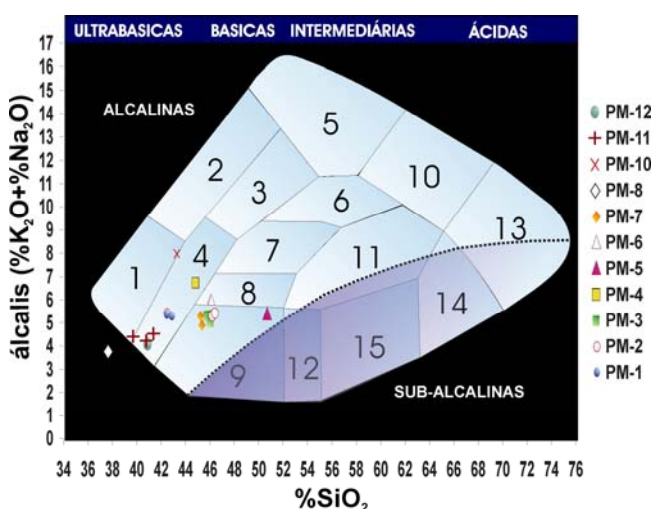


Figura 1. Nomenclatura de rochas normais (não potássicas), definida por Cox *et al.*, 1979. A linha tracejada divide os campos dos magmas alcalinos e sub-alcalinos, definido por Miyashiro (1978). Os campos correspondem às rochas: nefelinito (1), nefelinito fonolítico (2), tefrito fonolítico (3), basanitos e tefritos (4), fonolitos (5), bemoreitos (6), mugearitos e traquibasaltos (7), hawaiitos (8), basaltos (9), traquitos (10), traquiandesitos (11), andesitos basálticos (12), riolitos (13), dacitos (14) e andesitos (15)

Com base no diagrama K₂O vs. Na₂O (Middlemost 1975) (Fig. 2), os basaltos em estudo pertencem à série potássica (PM4-A1, PM6-A1 e PM6-A2) e sódica (demais amostras). A amostra PM10-A1 é a mais sódica, contendo valores de 5,43% de Na₂O e 2,54% de K₂O, diferentemente das amostras PM6-A1 (2,34% de K₂O e 3,72% de Na₂O) e PM6-A2 (2,37% de K₂O e 3,62% de Na₂O), que são as mais potássicas. O diagrama %Na₂O vs. %SiO₂ (Middlemost 1975) (Fig. 3), permite classificar as rochas estudadas como alcalinas. De acordo com o diagrama K₂O vs. SiO₂ (Middlemost 1975) (Fig. 4), todos os basaltos

amostrados estão inseridos nos limites dos basaltos alcalinos, com exceção das amostras PM5-A1, PM11-A1, PM11-A3 e PM12-A1, que foram classificadas como basaltos sub-alcalinos e são semelhantes às rochas de ambientes de Rift Continental e Ilhas Oceânicas (OIB).

Os elementos maiores foram comparados com resultados já conhecidos de rochas encontradas em ambientes de margem continental ativa, ilhas oceânicas, *rift* continental e de *back-arc*. Quando plotadas no diagrama K_2O vs. Na_2O , Na_2O vs. SiO_2 não permite discriminar sobre o ambiente tectônico dessas rochas. Porém, analisando o diagrama de discriminação tectono-magmáticos para rochas basálticas oceânicas (Mullen, 1983), podemos afirmar que a totalidade das amostras provenientes da Patagônia é similar àquelas originadas em ambientes de ilhas oceânicas alcalinas (Fig.5).

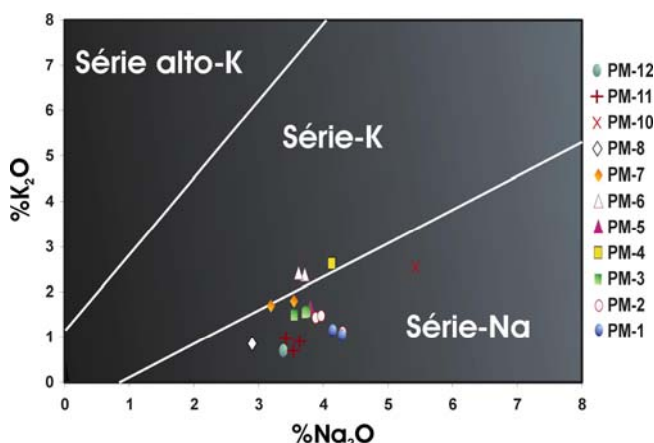


Figura 2. K_2O vs. Na_2O (% peso). Diagrama mostrando a subdivisão das séries álcali-magmáticas em alto-K, potássica e a sub-série do sódio. (Middlemost 1975)

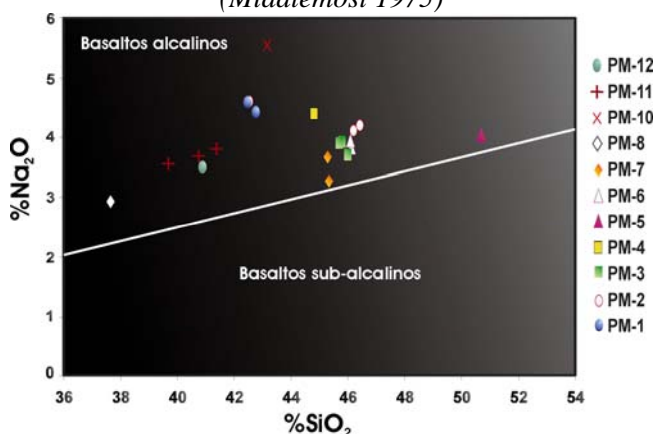


Figura 3. Classificação de basaltos alcalinos e sub-alcalinos (% peso). Na_2O vs. SiO_2 (Middlemost 1975)

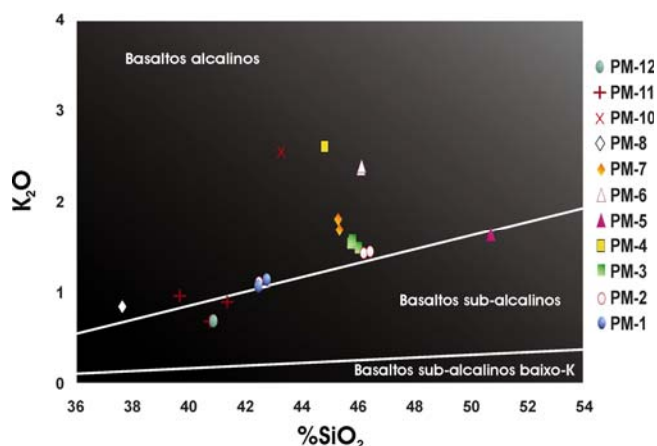


Figura 4. Classificação de basaltos alcalinos, sub-alcalinos e sub-alcalinos baixo-K (% peso). K_2O vs. SiO_2 (Middlemost 1975).

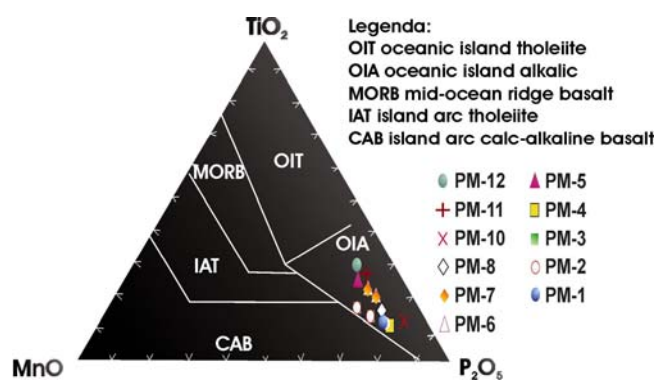


Figura 5. Diagrama de discriminação tectono-magmática de rochas basálticas oceânicas (Mullen 1983)

Foram analisados nove elementos traço: Rb, Ba, Th, Nb, Pb, Sr, Zr, Hf, Y em todas as amostras. Para amostras dos basaltos estudados, algumas análises dos elementos traço ficaram abaixo dos limites de detecção. Para comparação dessas amostras entre si, e com amostras de ambientes conhecidos, os valores obtidos dos elementos traço foram normalizados para o manto primitivo de Sun & McDonough (1989). Analisando-se o diagrama multielementar (Fig. 6), observa-se que, em geral, as rochas apresentam padrões muito similares, definindo um enriquecimento em elementos incompatíveis e empobrecimento relativo dos elementos compatíveis. Entretanto, existem pequenas distinções no comportamento de alguns elementos.

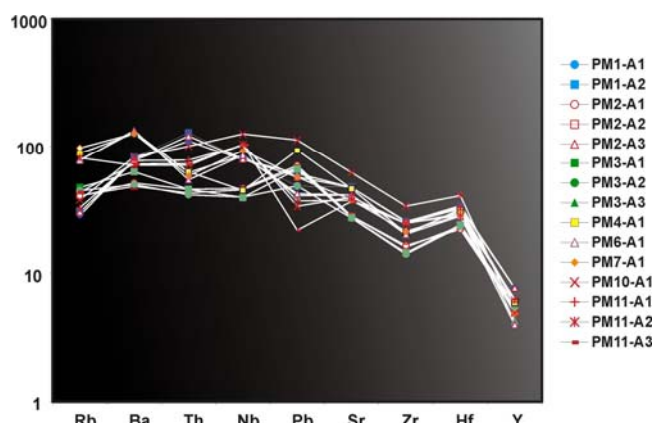


Figura 6. Diagrama multielementar dos basaltos alcalinos da Patagônia normalizado para o manto primitivo de Sun & McDonough

Os basaltos alcalinos da Patagônia apresentam anomalias negativas de intensidades variadas em Y (todas as amostras), Rb (todas, com exceção da PM11-A2), Zr (todas as amostras), Pb (todas do PM-11, PM6-A1 e PM1-A2), Nb (todas do PM-3 e PM4-A1) e Th (PM2-A1 e A2, PM3-A3, PM6-A1, PM7-A1). As anomalias positivas são identificadas no Hf (todas as amostras), Sr (todas dos PM-1 e PM-2, PM6-A1, PM3-A3, PM11-A2 e A3), Pb (todas dos PM-4, PM10-A1, PM2-A1 e A2, PM3-A1 e A2), Nb (todas do PM-11, PM10-A1, PM7-A1, PM6-A1 e PM3-A3), Th (todas do PM-1 e PM2-A3) e Ba (todas do PM-3, PM2-A1 e A2, PM6-A1, PM7-A1). Fortes anomalias negativas em Zr (PM3-A2 = 14,12) e Pb (PM11-A3 = 21,74) são observadas e as anomalias positivas mais significativas em Pb (PM4-A1 = 92,70 e PM10-A1 = 111,81), Hf (PM10-A1 = 40,62) e Th (PM1-A2 = 128,58). As anomalias com altos teores de Hf, principalmente no PM10-A1, podem sugerir contaminação crustal, seja na fonte de geração, ou durante o transporte e extravasamento do magma.

Sob o ponto de vista de caracterização do ambiente tectônico, de acordo com o diagrama de discriminação tectono-magmático Meschede (1986), para rochas basálticas que possuíam dados dos elementos mensuráveis de Nb, Zr e Y, as mesmas foram classificadas como pertencentes a rochas alcalinas intra-placas (Fig. 7).

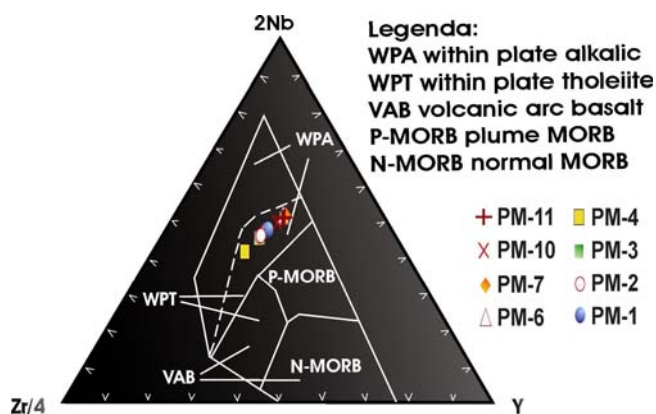


Figura 7. Diagrama de discriminação tectono-magmática de rochas basálticas (Mullen 1983)

Foram realizadas 17 análises $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em rocha total no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Os basaltos alcalinos da Patagônia apresentam baixas razões isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: 0,703144-0,704616 (Fig. 8). Esses valores são condizentes com os propostos (0,7025-0,7045) por Hart & Zindler (1989) para basaltos mantélicos e similares aos dados isotópicos da Meseta de Somuncura (obtidos por Kay *et al.* 1993) para $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: 0,7043-0,7051 e de ϵNd : 1,0 a 2,0, que indicam assinaturas mantélicas do tipo OIB.

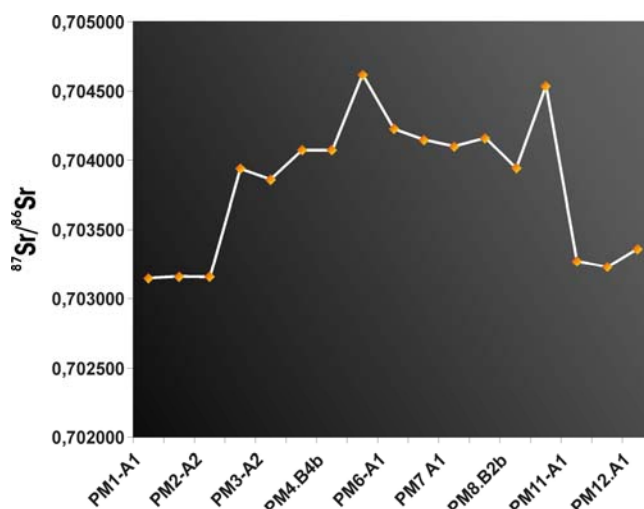


Figura 8. Razões isotópicas dos basaltos alcalinos da Patagônia

No gráfico que relaciona a razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ com a percentagem de SiO_2 , pode-se definir um *trend* de enriquecimento em SiO_2 com o progressivo aumento da razão isotópica de Sr radiogênico, assim como é possível delimitar 3 (três) grupos distintos. O grupo 1 apresenta baixos valores de SiO_2 e de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, sendo composto pelas amostras PM1-A1, PM2-A2, PM11-A1, PM11-A3 e PM12-A1. O segundo grupo é formado pelas amostras PM2-A3, PM3-A2, PM3-A3,



PM4-A1, PM6-A1, PM6-A2, PM7-A1 e PM7-A2, que contêm valores intermediários de SiO_2 e de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. O grupo 3 é definido pela maior concentração de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e de SiO_2 presente na amostra PM5-A1.

As amostras PM8-A1 e PM10-A1, que diferem desses padrões com elevadas razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, sugerem que o enriquecimento de Sr radiogênico deve ter-se dado na fonte do magma, sugerindo uma afinidade OIB para essas rochas. Entretanto, o aumento da razão de Sr radiogênico com a sílica, sugere que processos de subducção devem ter atuado na formação dos magmas basálticos. Essa mesma conclusão é observada verificando-se o gráfico Ba/Nb vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Fig. 9), que mostra afinidade de alguns basaltos (PM3-A1, PM3-A2, PM3-A3, PM4-A1 e PM6-A1) com alta razão Ba/Nb, provenientes de um ambiente de margem continental ativa, enquanto que outros basaltos (PM10-A1, PM11-A1, PM11-A2 e PM11-A3) estão relacionados a uma afinidade intra-placa.

Assim, os basaltos em estudo têm afinidade com os basaltos *post-plateau* definidos por Gorrington & Kay (2001), que correspondem a basaltos relativamente jovens (Plioceno-Pleistoceno) e, que apresentam assinaturas similares a basaltos de ilhas oceânicas (OIB). No entanto, alguns basaltos têm características alcalinas de margem continental ativa. Portanto, a geoquímica das rochas estudadas sugere que dois tipos de basaltos com quimismo distinto podem ser observados nos platôs da região norte da Patagônia, estando essas rochas vinculadas a um ambiente de intra-placa (PM-1, PM-2, PM10, PM11 e PM-12) e outro de margem continental ativa (PM-3, PM4, PM-6 e PM-7). As amostras PM-5 e PM-8 praticamente não

apresentam semelhanças no comportamento geoquímico e isotópico com as demais rochas estudadas neste trabalho e, sendo assim, não é possível relacioná-las com os possíveis ambientes magmáticos atuantes naquela região na época em que foram geradas.

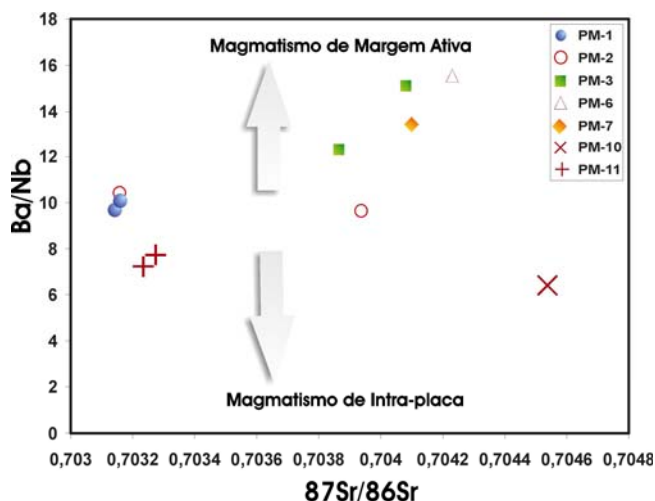


Figura 9. Diagrama de afinidade dos basaltos da Patagônia de acordo com a razão Ba/Nb para definir o ambiente tectônico

Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo comprovam a extrema complexidade da área e a necessidade da utilização de outras ferramentas, assim como a análise de uma quantidade maior de amostras para determinarmos com maior precisão os processos tectono-magmáticos atuantes na região.

Referências

- GORRING M.L., KAY S. 2000. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **140**:55-72. (2000)
- GORRING M.L., KAY S.M., ZEITLER P.K., RAMOS V.A., RUBIOLO D., FERNANDEZ M.I., PANZA J. L. 1997. *Tectonics*, **16**:1-17
- GORRING M.L., KAY S. 2001. *Journal of Petrology*, **42**: 1067-1094.
- HART S. & ZINDLER A. 1989. IN: *Mantle Convection: Plate Tectonics and Global Dynamics*. 261-387.
- KAY S.M., ARDOLINO A.A., FRANCHI M., RAMOS V.A. 1992. *Trans. Am. Geophys. Un.* (7) 377.
- KAY S.M., ARDOLINO A.A., RAMOS V.A. 1993. In: *Proceedings 12th Congresso Geológico Argentino*. 4: 236-248.2.
- KAY S.M., RAMOS V.A., MPODOZIS C., SRUOGA P. 1989. *Geology*, **17**:324-328.
- MIDDLEMOST E.A.K. 1975. *Earth Science Review*, **11**:337-64.
- MIYASHIRO A. 1978. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **66**:91-104.
- MULLEN E.D. 1983. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **62**:53-62
- PANKHURST R.J. & RAPELA C.R. 1995. *Earth and Planetary Science Letters*, **134**:23-36.
- RAMOS V.A. 1999. *Episodes*, **22**(3):183-190.
- RAMOS V.A. & KAY S.M. 1992. *Tectonophysics*, **205**: 261-282
- STERN C.R., FREY F.A., FUTA K., ZARTMAN R.E., PENG Z., KYSER T.K., 1990. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **104**:294-308.
- WILSON M. 1989. *Igneous Petrogenesis: a global tectonic approach*. Unwin Hyman, London. 466p.