



Estratigrafia química da Província Ígnea Continental do Paraná

R.L. Mincato¹, J. Enzweiler² & A. Schrank²

1 Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias – PUC-Campinas, Rodovia Dom Pedro I, km 136, Parque das Universidades – Campinas – São Paulo. CEP 13086-900. mincato@unifal-mg.edu.br

2 Instituto de Geociências – UNICAMP, Rua João Pandiá Calógeras, nº 51 – Campinas – São Paulo. CEP 13083-970. jacinta@ige.unicamp.br, alfonso@ige.unicamp.br

Abstract A chemical stratigraphy of the Paraná Continental Igneous Province is proposed from new geochemical (major, trace and rare-earth elements) data. The Paraná rocks vary widely in chemical composition but can be categorised into five basic units (Gramado, Esmeralda, Paranapanema, Pitanga and Urubici) and three acid units (Caxias do Sul, Santa Maria and Chapecó). The low-Ti and low-P basic units (Gramado and Esmeralda) and the associated low-Ti acid units (Caxias do Sul and Santa Maria) are located at the south – southeast of the province. The basic units of Ti and P intermediate (Paranapanema) and high (Pitanga) and the associated high-Ti acid unit (Chapecó) dominate in the north-northwest. The Urubici unit (high-Ti and -P) occurs interbedded with Gramado unit at the eastern border of the province in Santa Catarina state. This observed preferable distribution of the magmatic units does not confirm the geochemical subdivision of the province in three main zones: North, Central and South. Also, the Rio Uruguai and Rio Piquiri lineaments have no obvious control on the nature and distribution of the magmatic units. The distinct geochemical signatures of the basic units can be related to different grades of partial melt of the continental lithospheric mantle, with the crustal contamination playing an important role in the evolution of the Gramado unit. The genesis and evolution of acidic units were related to the evolution of the basaltic units, to which they occur associated.

Palavras-chave: Província Ígnea Continental do Paraná, geoquímica, estratigrafia química.

GEOQUÍMICA DA SEQUÊNCIA VULCÂNICA DA PROVÍNCIA ÍGNEA CONTINENTAL DO PARANÁ A Província Ígnea Continental do Paraná (PICP) é, de longa data, caracterizada pela ampla variação composicional (Bellieni *et al.* 1984). Essa variação permitiu, inclusive, a sua subdivisão geográfica nas zonas geoquímicas Sul, Central e Norte (Piccirillo *et al.* 1988). Apesar disso, o magmatismo é reconhecido pelo caráter tholeiítico e pela bimodalidade dos teores de SiO₂ e de outros constituintes maiores (MgO, CaO e K₂O) e menores (Rb e V).

A elaboração da proposta de estratigrafia química da PICP foi baseada na análise de 183 amostras de derrames coletadas em três seções regionais E-W, transversais ao maior alongamento da província e distribuídas nas três zonas geoquímicas: na zona Sul, ao longo do Paralelo 29°S; na Central, ao longo do Paralelo 27° S e na Norte, ao longo do Paralelo 25°S. Na porção setentrional da Zona Norte foram coletadas amostras aleatórias, devido à escassez de exposições de derrames.

As 183 amostras foram dosadas para óxidos maiores (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O e P₂O₅) e elementos traços (Ba, Rb, Sr, Y, Zr, Zn, Nb, Cr, Ni, V e Cu) no espectrômetro de fluorescência de Raios X PW 2400, no IG-NICAMP. Dessas amostras, 38 foram selecionadas para análise de elementos terras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb e Lu) e elementos traços (U, Th, Hf, Cs, Sc, Ta e Co)

pela técnica de análise instrumental por ativação neutrônica no IPEN – CNEN/SP.

Os resultados analíticos demonstram a grande variação nos conteúdos de elementos maiores e traços das vulcânicas da PICP. O número de Mg (Mg[#]) foi usado como índice de diferenciação magmática.

Os dados analíticos permitem individualizar dois agrupamentos geoquímicos, que correspondem aos tipos básicos a intermediários e aos ácidos. Tais dados revelam, ainda, o aumento do SiO₂ e K₂O e queda Fe₂O₃, MnO, CaO e Al₂O₃ com a diminuição do Mg[#]. Uma grande dispersão ocorre na distribuição dos teores de TiO₂ e P₂O₅. Nas básicas a intermediárias há a elevação do TiO₂ e do P₂O₅ com a redução do Mg[#]. Esse crescimento se dá segundo dois *trends* distintos, a partir duma origem comum. No primeiro *trend*, o crescimento é suave até cerca de 2% de TiO₂ e 0,35% de P₂O₅ e agrupa as amostras do Rio Grande do Sul (RS) e a grande parte das de Santa Catarina (SC) e poucas do leste do Paraná (PR). No segundo *trend* ocorre crescimento abrupto dos teores, até cerca de 4,25% de TiO₂ e 0,65% de P₂O₅, que envolve as amostras de São Paulo (SP), grande parte das do PR e poucas de SC. Esses dois *trends* correspondem aos litotipos de baixo-P e baixo-Ti (LPT) e alto-P e alto-Ti (HPT) de Bellieni *et al.* (1984). Todavia, entre os HPT de SC, nota-se que para os mesmos teores de TiO₂ e de P₂O₅, índices de Mg[#] maiores do que os demais HPT da PICP, possivelmente definindo um subgrupo distinto dentro dos HPT. A origem comum



desses dois *trends* sugere que poderiam representar o resultado de evoluções distintas a partir de uma mesma fonte.

Nos litotipos basálticos, LPT e HPT, é notável que, para um mesmo $Mg^\#$, o LPT, relativamente ao HPT, apresenta maiores teores de SiO_2 , Al_2O_3 e K_2O e menores de Fe_2O_3 , MnO , CaO e Na_2O .

As abundâncias de TiO_2 possibilitam, ainda, individualizar dois agrupamentos de litotipos ácidos. O primeiro com ácidas do RS e do leste de SC e o segundo com ácidas do oeste de SC e as do PR e SP. O primeiro correspondendo às ácidas do tipo Palmas e o segundo às do tipo Chapecó de Bellieni *et al.* (1986).

Os elementos traços também apresentam variações significativas nas suas concentrações em função do $Mg^\#$, na PICP. As variações do Rb, Sr, Zr, Nb, Ni e Cu foram escolhidas devido à peculiaridade de seus comportamentos geoquímicos nos processos ígneos. Assim, a concentração de Rb cresce e a do Sr decresce com a diminuição do $Mg^\#$. No entanto, para um mesmo índice de diferenciação, os LPT, relativamente aos HPT, estão enriquecidos em Rb e empobrecidos em Sr. Já, os teores de Zr e Nb aumentam com o decréscimo do $Mg^\#$ e estão enriquecidos nos tipos HPT em relação aos LPT. As ácidas do tipo Chapecó, em comparação com as do tipo Palmas, também estão enriquecidas em Zr e Nb.

O Ni e o Cu, apesar das grandes dispersões, por sua vez, decrescem com a redução do $Mg^\#$, estando o Cu enriquecido nos HPT, relativamente aos LPT.

A correlação entre maiores e traços (Fe_2O_3 versus Sr, SiO_2 versus Zr e SiO_2 versus Nb) também ilustra os *trends* HPT e LPT básicos e os agrupamentos ácidos. Pois, o Zr e Nb são mais abundantes nos HPT e Chapecó, em relação, respectivamente, aos LPT e Palmas.

Na caracterização de unidades magmáticas a partir de critérios geoquímicos é recomendado utilizar razões entre elementos, para evitar distorções devidas aos processos ígneos primários e de alteração tardia (Peate 1990).

O uso de razões entre elementos já são usadas na avaliação das vulcânicas da PICP (Peate *et al.* 1992) e visam ressaltar a distinção química entre as possíveis unidades.

Nos estudos da estratigrafia química de províncias de basaltos continentais (Hergt *et al.* 1991) são amplamente usadas razões entre elementos de alto campo de força (Ti, Zr, Nb e Y) e de forma menos contundente razões entre elementos de baixo campo de força (Rb e Sr). A razão Ti/Y se destaca como critério de distinção entre basaltos de alto e baixo-Ti (Hergt *et al.* 1991). Dessa forma, os basaltos de baixo-Ti apresentam razões Ti/Y similares ou inferiores às

dos MORB (*mid-ocean ridge basalts*), ou seja, iguais ou menores a 310. Esse critério é usado também para avaliar as possíveis fontes e a evolução dos magmas (Turner *et al.* 1999).

Na PICP, as litologias basálticas e ácidas possuem, respectivamente, razões Ti/Y maiores e menores do que 180. No agrupamento das básicas, as amostras HPT e LPT apresentam, respectivamente, razões maiores e menores que 310, conforme (Hergt *et al.* 1991). Já, no caso da razão Ti/Zr, os litotipos HPT e LPT possuem, respectivamente, razões maiores e menores do que 65. Esse limite também foi utilizado por Peate (1997) como critério adicional para distinção dos dois *trends*.

Nas ácidas, a razão Ti/Zr permite individualizar dois grupos. O primeiro com Ti/Zr entre 10 e 15, formado pelas ácidas do tipo Palmas do centro e oeste do RS (tipo Santa Maria de Peate *et al.* 1992) e pelas ácidas do tipo Chapecó de SP, PR e oeste de SC. O outro, com razões entre 20 e 25, constituído pelas amostras do centro e leste do RS e do leste de SC (tipo Caxias do Sul de Peate *et al.* 1992). O agrupamento das ácidas tipo Santa Maria e tipo Chapecó sugere que ambas podem ter evoluído a partir de fontes ou magmas primitivos similares.

A correlação entre as razões Ti/Zr e Rb/Sr distingue nitidamente os três agrupamentos ácidos acima: um, com Ti/Zr entre 10 e 15 e Rb/Sr menor do que 0,5, constituído pelas ácidas tipo Chapecó de SP, PR e oeste de SC; o segundo grupo também com Ti/Zr entre 10 e 15, porém com Rb/Sr maiores do que 1,8, que envolve as ácidas tipo Santa Maria, do centro e oeste do RS e o terceiro grupo com Ti/Zr maior (entre 15 e 20) e Rb/Sr intermediário (entre 0,7 e 1,8) aos dois grupos precedentes. Esse último formado pelas ácidas tipo Caxias do Sul, no centro e leste do RS e leste de SC. As correlações Rb/Sr versus Ti/Y e Rb/Sr versus Ti/Nb também discriminam os mesmos três grupos ácidos acima.

Para as litologias basálticas a correlação entre razões de elementos permite identificar, apesar de alguma superposição, praticamente os mesmos agrupamentos previamente caracterizados por Peate *et al.* (1992) Peate (1997).

A correlação Ti/Y versus Zr/Y individualiza nitidamente um grupo LPT (Ti/Y < 310 e Zr/Y < 6), que correspondem aos magmas-tipo Gramado e Esmeralda de Peate *et al.* (1992). No *trend* HPT (Ti/Y > 310) são discriminados três grupos: o primeiro com razões Ti/Y > 310 e Zr/Y < 6, o segundo com Ti/Y > 450 e Zr/Y entre 6 e 8, e o terceiro com Ti/Y > 550 e Zr/Y > 8, que correspondem, respectivamente, aos magmas-tipo Paranapanema, Pitanga e Urubici de Peate *et al.* (1992).



A correlação Ti/Y *versus* Sr/Y também possibilita individualizar os magmas-tipo acima: Gramado e Esmeralda (Ti/Y<310 e Sr/Y<12); Paranapanema (310<Ti/Y<450 e Sr/Y<18); Pitanga (Ti/Y>450 e Sr/Y<18) e Urubici (Ti/Y>550 e Sr/Y>18). Já, a correlação entre Ti/Y e Ti/Zr também discrimina o magma-tipo Esmeralda (Ti/Y<310 e Ti/Zr>60) (Peate 1990, 1997). Da mesma maneira, as razões Ti/Zr e Zr/Y individualizam, além do Esmeralda (Ti/Zr > 60 e 3 < Zr/Y < 4,5); o Gramado (Ti/Zr < 60 e Zr/Y < 6); o Paranapanema (Ti/Zr > 65 e 4,5 < Zr/Y < 6); o Pitanga (Ti/Zr > 60 e 6 > Zr/Y > 8) e o Urubici (Ti/Zr > 60 e Zr/Y > 8). Todavia, o magma-tipo Ribeira (Peate *et al.* 1992), LPT do norte da PICP, não foi discriminado, provavelmente pela forte superposição dos seus atributos químicos com os magmas-tipo Gramado e/ou Paranapanema.

Nos limites apresentados acima entre os diferentes magmas-tipo, há alguma sobreposição entre os

campos de abrangência de cada um deles. Portanto, amostras localizadas nesses campos dúbios devem ser classificadas a partir de suas respectivas localizações geográficas.

Considerando os dados acima e literatura especializada, foi adotado a mesma nomenclatura de Peate *et al.* (1992) para os distintos magmas-tipo. Esse procedimento visou respeitar o pioneirismo desses autores no estabelecimento da estratigrafia química da PICP e, também, não entulhar a literatura com novas denominações para unidades já consagradas na literatura, há mais de uma década.

As características das diferentes unidades básicas e ácidas, baseadas nos estudos realizados e nos desenvolvidos por Peate *et al.* (1992) e Peate (1997) são apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2, a seguir:

Unidade	Caráter	TiO ₂	Ti/Y	Ti/Zr	Zr/Y	Sr/Y
Gramado	LPT	0,7 – 1,9	< 310	< 70	< 6	< 12
Esmeralda	LPT	1,1 – 2,2	< 310	> 60	3 – 4,5	< 12
Pitanga	HPT	> 3	> 450	> 65	6 – 8	< 18
Paranapanema	HPT	1,7 – 3,0	310 – 450	> 65	4,5 – 6	< 18
Urubici	HPT	> 3	> 550	> 60	> 8	> 18

Tabela 1. Características químicas das unidades basálticas da PICP

Unidade	Caráter	TiO ₂	Ti/Y	Ti/Zr	Zr/Y	Sr/Y
Caxias do Sul	LPT	0,9 – 1,1	50 – 150	20 – 25	< 8	3 – 5
Santa Maria	LPT	< 0,8	< 100	10 – 15	< 8	< 3
Chapecó	HPT	> 1,2	> 100	10 – 15	> 8	> 5

Tabela 2. Características químicas das unidades ácidas da PICP

A análise das dispersões geoquímicas confirma a distinção dos agrupamentos LPT e HPT das rochas basálticas da PICP (Bellieni *et al.* 1984), permitindo, ainda, a separação do agrupamento LPT nos tipos Gramado e Esmeralda e do HPT nos tipos Pitanga, Paranapanema e Urubici. Já, no caso das ácidas, separadas em porfíricas, do tipo Chapecó, e afíricas, do tipo Palmas, é possível individualizar três tipos quimicamente distintos. O primeiro, com as afíricas do tipo Palmas do oeste do RS, que correspondem ao tipo Santa Maria de Peate *et al.* (1992). O segundo com as porfíricas do tipo Chapecó do oeste de SC e do PR e SP. O terceiro formado pelas ácidas afíricas do leste do RS e SC, que correspondem ao tipo Caxias do Sul de Peate *et al.* (1992). Todavia, a distribuição geográfica das unidades aqui definidas, concordando com Peate (1990), não sustenta a compartimentação geoquímica da província nas Zonas Norte, Central e Sul defendida por Piccirillo *et al.* (1988).

Mesmo com o predomínio de determinados litotipos nessas três regiões geográficas propostas, a disposição espacial das unidades caracterizadas revela que, possivelmente, houve um controle mais complexo na sua distribuição. Provavelmente, relacionado à origem e à evolução desses diferentes magmas-tipo e cuja elucidação deverá ser amparada por um controle sistemático da distribuição temporal das unidades.

Detalhamento da estratigrafia química da Província Ígnea Continental do Paraná As amostras selecionadas e analisadas para os elementos terras raras e demais traços contemplaram todas unidades básicas e ácidas identificadas, exceto a Esmeralda, caracterizada num único derrame, em SC.

Os resultados obtidos apontam que, para um mesmo Mg[#], a unidade Gramado está enriquecida em Th e U e empobrecida em Hf e Ta, relativamente às unidades Pitanga, Paranapanema e Urubici. O Cs, por



sua vez, discrimina os agrupamentos basáltico e ácido. As ácidas com as maiores concentrações de Cs.

As terras raras leves (La, Ce, Sm Nd e Eu) apresentam elevação dos teores com o decréscimo do $Mg^\#$ e, mais, o enriquecimento da unidade Urubici em relação às demais unidades basálticas. A unidade ácida Chapecó do norte da PICP também está enriquecida, relativamente às do sul. Já, os pesados (Tb, Yb e Lu) definem para todas as unidades *trends*

únicos de suave de crescimento com a queda do índice de diferenciação.

As razões de elementos traços de alto campo de força e imóveis, como Ti/Y versus Th/Hf , também delimitam os subgrupos basálticos, LPT e HPT, e ácidos, Palmas e Chapecó.

O grau de fracionamento das ETR e as medidas das anomalias de Eu (Eu/Eu^*) nas unidades básicas e ácidas caracterizadas neste estudo são apresentados na Tabela 3.

Unidade	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Sm/Lu)_N$	$(Tb/Yb)_N$	Eu/Eu^*
Gramado (n = 20)	$5,31 \pm 1,22$	$2,72 \pm 0,24$	$2,17 \pm 0,37$	$2,22 \pm 0,44$	$0,73 \pm 0,09$
Paranapanema (n = 3)	$6,47 \pm 2,05$	$2,80 \pm 0,27$	$2,44 \pm 0,23$	$2,34 \pm 1,00$	$0,89 \pm 0,14$
Pitanga (n = 3)	$8,59 \pm 2,90$	$2,67 \pm 0,14$	$3,47 \pm 0,55$	$2,96 \pm 0,73$	$0,79 \pm 0,08$
Urubici (n = 4)	$9,35 \pm 0,58$	$2,55 \pm 0,12$	$4,91 \pm 0,90$	$3,24 \pm 0,30$	$0,93 \pm 0,05$
Caxias do Sul (n = 4)	$9,85 \pm 1,51$	$3,36 \pm 0,03$	$2,78 \pm 0,20$	$2,85 \pm 0,47$	$0,54 \pm 0,03$
Santa Maria (n = 3)	$7,24 \pm 1,38$	$3,19 \pm 0,14$	$2,23 \pm 0,62$	$2,24 \pm 0,26$	$0,50 \pm 0,06$
Chapecó (n = 1)	13,90	3,38	3,78	3,59	0,72

Tabela 3. Razões $(La/Yb)_N$; $(La/Sm)_N$; $(Sm/Lu)_N$; $(Tb/Yb)_N$ e Eu/Eu^* nas unidades básicas e ácidas caracterizadas na PICP

n = número de amostras.

N subscrito = normalizado aos condritos de Sun & McDonough (1989).

A tabela 3 ilustra para todas as unidades o crescimento das razões $(La/Yb)_N$, $(La/Sm)_N$ e $(Sm/Lu)_N$ com o grau de evolução. Porém, a razão $(Tb/Yb)_N$ apresenta a menor variação para o conjunto das unidades.

As razões Eu/Eu^* são invariavelmente menores do que 1, sendo que as ácidas Santa Maria e Caxias do Sul apresentam as anomalias negativas mais significativas, enquanto as ácidas do tipo Chapecó apresenta razão comparável à média da unidade básica Gramado. Essa, por sua vez, apresenta expressiva anomalia negativa de Eu e um enriquecimento considerável dos elementos terras raras leves em relação aos pesados e crescimento suave dos leves em relação aos intermediários e dos intermediários relativamente aos pesados.

As unidades básicas Pitanga e Urubici apresentam anomalias negativas de Eu suaves ($\sim 0,8$ a $\sim 0,9$) e os maiores enriquecimentos dos elementos terras raras leves em relação aos pesados e dos intermediários em relação aos pesados. Ambas apresentam, ainda, os menores enriquecimentos dos leves em relação aos intermediários. Já, o comportamento desses elementos na unidade Paranapanema é intermediário àquele entre as unidades Pitanga e Urubici e a unidade Gramado.

As unidades ácidas, além das anomalias de Eu, apresentam os maiores enriquecimentos dos terras raras leves em relação aos pesados e intermediários. Apresentam, ainda, enriquecimento bastante suave dos intermediários em relação aos pesados, exceto na

unidade Chapecó, cujo fator de enriquecimento dos intermediários em relação aos pesados é, também, expressivo [$(Tb/Yb)_N = 3,59$].

Os padrões dos ETR normalizados aos condritos das unidades básicas (Fig. 1) e das unidades ácidas (Fig. 2) ilustram as variações descritas acima sobre a abundância desses elementos na seqüência vulcânica da Província do Paraná.

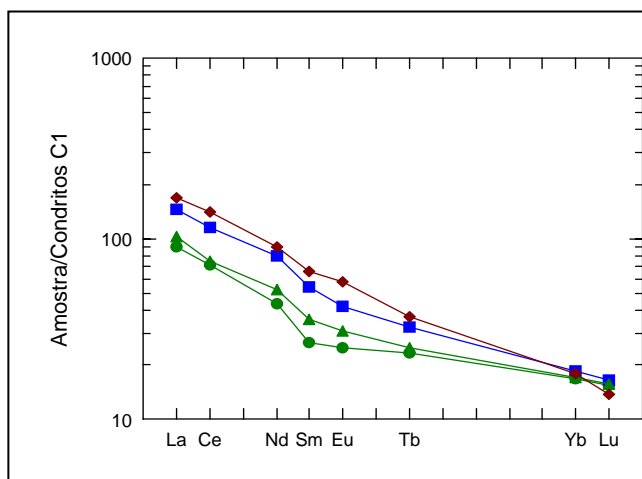


Figura 1. Padrão dos elementos terras raras, normalizados aos Condritos C1 de Sun & McDonough (1989), da média dos teores das unidades basálticas da PICP. Símbolos: Gramado = círculo cheio verde; Pitanga = quadrado cheio azul; Paranapanema = triângulo cheio verde; Urubici = losango cheio marrom

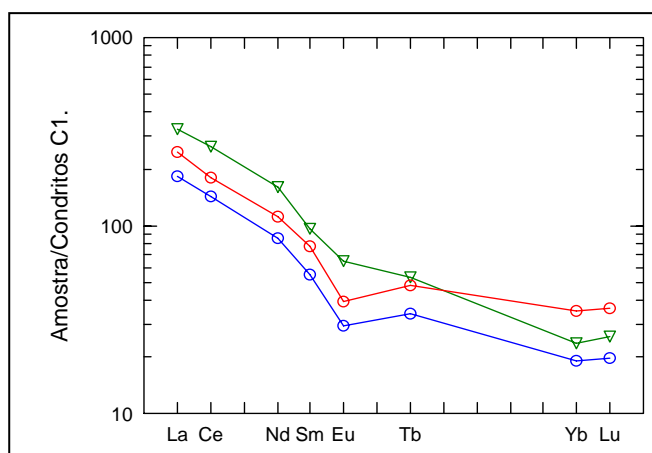


Figura 2. Padrão dos elementos terras raras, normalizados aos Condritos C1 de Sun & McDonough (1989), da média das abundâncias nas unidades ácidas caracterizadas neste estudo. Símbolos: Caxias do Sul = círculo vazio azul; Santa Maria = Círculo vazio vermelho; Chapecó = triângulo vazio verde

Nas unidades básicas (Fig. 1) se destacam a anomalia negativa de Eu e o alinhamento praticamente sub-horizantal entre os elementos terras raras intermediários e pesados na unidade Gramado; os padrões de abundância praticamente lineares e o caráter mais fracionado das unidades Paranapanema, Pitanga e Urubici, com incipientes anomalias negativas de Eu. Todavia, os padrões das unidades ácidas (Fig. 2) ilustram sobremaneira as fortes anomalias negativas de Eu, mais pronunciadas nas unidades ácidas Caxias do Sul e Santa Maria do que na unidade Chapecó, que deve refletir a maior quantidade de fenocristais de plagioclásio na última.

O detalhamento da estratigrafia química da PICP, a partir dos elementos traços adicionais e das terras raras confirmou a distinção entre as unidades definidas pelos teores de elementos maiores e traços.

Há que se ressaltar, todavia, que as unidades estratigráficas definidas a partir das características composicionais não possuem o caráter estratigráfico de outras províncias de basaltos continentais, como a Columbia River, onde derrames ou conjuntos de derrames podem ser correlacionados regionalmente e possuem significado cronoestratigráfico. Na PICP, a disposição das unidades revela caráter diacrônico.

As diferenças geoquímicas dos tipos básicos podem ser devidas a distintos graus de fusão parcial do manto litosférico, tendo a contaminação crustal papel decisiva na evolução da unidade Gramado. A gênese e evolução das ácidas podem ser relacionadas à evolução das básicas geograficamente associadas.

Para concluir, cabe alertar que uma proposta de subdivisão estratigráfica de qualquer província de derrames de basaltos continentais a partir das características químicas somente poderia ser considerada válida, se tivesse abrangência regional e pudesse ser utilizada por outros pesquisadores e interessados. Mais ainda, a natureza súbita das variações composicionais nas seqüências de lavas deve ser confirmada em estudos repetidos, conforme os aqui apresentados. Logo, a consistência das subdivisões propostas neste estudo é atestada pela expressiva persistência lateral das mesmas e pela boa concordância com os resultados de Peate *et al.* (1992) e Peate (1997) que demonstra a aplicabilidade dos critérios definidos em futuras investigações da PICP.

Referências

- BELLIENI G., COMIN-CHIRAMONTI P., MARQUES L.S., MELFI A.J., NARDY A.J.R., PAPATRECHAS C., PICCIRILLO E.M., ROISEMBERG A., STOLFA D. 1986. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): mineralogical and petrochemical relationships. *J. Petrol.*, **27**:915-944.
- BELLIENI G., COMIN-CHIRAMONTI P., MARQUES L.S., MELFI A.J., NARDY A.J.R., PICCIRILLO E.M., ROISEMBERG A. 1984a. High- and Low-TiO₂ Flood Basalts from Paraná Plateau (Brazil): Petrology and Geochemical Aspects Bearing on their Mantle Origin. *Neues Jahr. Miner. Abh.*, **150**:273-306.
- HERGT J.M., PEATE D.W., HAWKESWORTH C.J. 1991. The Petrogenesis of Mesozoic Gondwana low-Ti flood basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **105**:134-148.
- PEATE D.W. 1997. The Paraná-Etendeka Province. In: MAHONEY J.J. & COFFIN M.F. (eds.). *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism*. Geophys. Monograph 100. AGU. 217-245.
- PEATE D.W. 1990. *Stratigraphy and petrogenesis of the Paraná continental flood basalts, southern Brazil*. Milton Keynes, England, 359 p. (Ph.D. Thesis, Open University).
- PEATE D.W., HAWKESWORTH C.J., MANTOVANI M.S.M., 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): Classification of magma types and their spatial distribution. *Bull. Volcanol.*, **55**:119-139.
- PICCIRILLO E.M., MELFI A. J., COMIN-CHIARAMONTI P., BELLINI G., ERNESTO M., MARQUES L.S., NARDY A.J.R., PACCA I.G., ROISEMBERG A., STOLFA D. 1988. Continental Flood Volcanism from the Paraná Basin (Brazil). In: MACDOUGALL J.D. (ed.) *Continental Flood Basalts*. Dordrecht, Kluwer. pp.: 195-238.
- SUN S.S. & McDONOUGH. 1989. Chemical and Isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes. In: SAUNDERS A.D. & NORRIS M.J. (eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*.



XLIII Congresso Brasileiro de Geologia
Aracaju, 3 a 8 de setembro de 2006

- Geol. Soc. Spec. Publ., **42**:313-345.
- TURNER S., PEATE D.W., HAWKESWORTH C.J., MANTOVANI M.S.M. 1999. Chemical Stratigraphy of the Paraná basalt succession in western Uruguay: further evidence for the diachronous nature of the Paraná magma types. *J. Geodynamics*, **28**:459-469.
- TURNER S., HAWKESWORTH C.J., GALLAGHER K., STEWART K., PEATE D.W., MANTOVANI M.S.M. 1996. Mantle plumes, flood basalts and thermal models for melt generation beneath continents: assessment of a conductive heating model and application on the Paraná. *J. Geophys. Res.*, **101**:11503-11518.