

Geoquímica das Rochas Máficas Toleíticas da Suíte Pós-Colisional Paulo Lopes, Neoproterozóico do Sul do Brasil

LUANA MOREIRA FLORISBAL¹; LAURO V. S. NARDI²;
MARIA DE FÁTIMA BITENCOURT² & LEANDRO MENEZES BETIOLLO²

1. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91500-000 Porto Alegre, RS, Brasil.
2. Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91500-000 Porto Alegre, RS, Brasil.

(Recebido em 08/05. Aceito para publicação em 12/05)

Abstract- The Paulo Lopes Suite (SPL), composed of the Paulo Lopes Granite (GPL), Garopaba Granitoids (GG) and Silveira Gabbro (GS), is an association of contemporaneous acid and basic rocks, comprising monzonitic and syenogranites associated to basic dikes, with abundant mafic microgranular enclaves, interpreted as co-mingling products. The contacts between the granitoids and the basic rocks are evidences of coeval and interactive magmas. The Silveira Gabbro occurs in the study area as a main body and several narrow dikes of NNE orientation. Field relations define a chronological order of magmatic events, where the GPL is the first magmatic pulse and, while still partially crystallized, was intruded by mingled magmas, represented by the GG and the GS. The basic components are medium-grained, equigranular rocks, with subophitic and ophitic textures. The centre of the main body contains medium- to coarse-grained, equigranular rocks, where agglomerates of early-formed clinopyroxene and plagioclase crystals are found. In the chilled margins, they are microporphyritic rocks of aphanitic groundmass, indicative of rapid crystallization. The Silveira Gabbro rocks are composed of labradorite-andesine, orthopyroxene, augite, pigeonite, olivine (occasionally serpentinized), Fe-hornblende and magnesian hornblende, red biotite, magnetite, ilmenite, apatite, and baddeleyite. The composition is tholeiitic, similar to the high-Ti-P basalts of the Serra Geral Formation. Their high contents of K, Rb, Sr and Ba, as well as negative anomalies of Nb and Ta in multielemental diagrams are similar to the ones observed in magmatic rocks from mature arcs or post-collisional environments. The Neoproterozoic basic rocks may be discriminated from the ones belonging to the Cretaceous Serra Geral Formation by their higher contents of alkaalis, Cs, U, Th, and by their fractionated REE-patterns, expressed in the La/Lu_N ratio. The associated granitoids are structural and compositionally compatible with the ones found in post collisional settings, which indicates that the SPL magmatism developed in such environment.

Keywords- tholeiitic gabbros, post-collisional magmatism, Garopaba, basic rocks, post-collisional gabbros.

INTRODUÇÃO

A Suíte Paulo Lopes (SPL), composta pelo Granito Paulo Lopes (GPL), Granitóides Garopaba (GG) e Gabro Silveira (GS) (UFRGS, 1999), faz parte do magmatismo pós-colisional neoproterozóico do sul do Brasil (Bitencourt e Nardi, 2000). É constituída por monzogranitos, sienogranitos e granodioritos associados a gabros e dioritos. Enclaves máficos microgranulares são abundantes e são interpretados como produto de mistura heterogênea de magmas. Os contatos entre os granitóides e as rochas máficas são freqüentemente interdigitados a lobados, sugerindo a contemporaneidade dos magmas. Justifica-se, desta forma, a caracterização petrográfica e geoquímica das rochas básicas, representantes do magmatismo básico neoproterozóico no sul do Brasil. Esta investigação acrescenta

importantes dados para a discussão da gênese de granitóides pós-colisionais cálcio-alkalinos alto-K, ou toleíticos alto-K, e sua relação com as rochas básicas toleíticas contemporâneas.

Por serem rochas básicas muito semelhantes às da Formação Serra Geral, com as quais são freqüentemente confundidas, seu estudo e comparação são importantes para o desenvolvimento de critérios de campo, petrográficos e geoquímicos que possibilitem sua distinção.

Este trabalho apresenta a caracterização geológica e petrográfica detalhada, bem como dados de geoquímica de rocha e de minerais do Gabro Silveira e diques associados, ocorrentes na localidade-tipo. A integração destes dados permite a investigação petrológica das rochas básicas, dando base para a discussão acerca das fontes deste magmatismo. Também permite, por meio do estudo

de suas estruturas magmáticas e relação com a tectônica regional, interpretar as relações das mesmas com os granitóides, bem como as condições de posicionamento tectônico dos magmas que compõem a SPL.

CONTEXTO GEOTECTÔNICO E GEOLOGIA DA SUÍTE PAULO LOPES

O setor meridional da Província Mantiqueira (*sensu* Chemale, 1995b) (Fig. 1a) expõe, em sua porção leste, um Cinturão Granítico de orientação NE-SW, com cerca de 800 Km de comprimento e largura média de 150 Km, denominado Batólito Florianópolis em Santa Catarina (Silva, 1999). As rochas graníticas são relacionadas a eventos tectônicos abrangentes de natureza tangencial ou transcorrente do final do Ciclo Brasileiro, estando asso-

ciadas espacial e temporalmente com um volume menos expressivo de intrusões básicas. Essas rochas estão sobrepostas ao embasamento metamórfico policíclico, onde associações de gnaisses arqueanos e paleoproterozóicos têm sido interpretadas como geradas em diferentes fases de acreção crustal no período pré-Brasiliano.

A área de estudo localiza-se na porção sudeste do estado de Santa Catarina, no Cinturão Granítico Dom Feliciano, o qual é considerado resultado de um magmatismo granítico e máfico neoproterozóico de natureza pós-colisional, controlado por zonas de cisalhamento de escala litosférica, no final do Ciclo Brasileiro (Bitencourt e Nardi, 1993, 2000). Outros autores interpretam o cinturão como raiz de arco magmático (Fernandes *et al.*, 1992) ou como parte de orogênese ensialica (Basei, 1985), correlacionável ao Cinturão Ribeira (Silva, 1999).

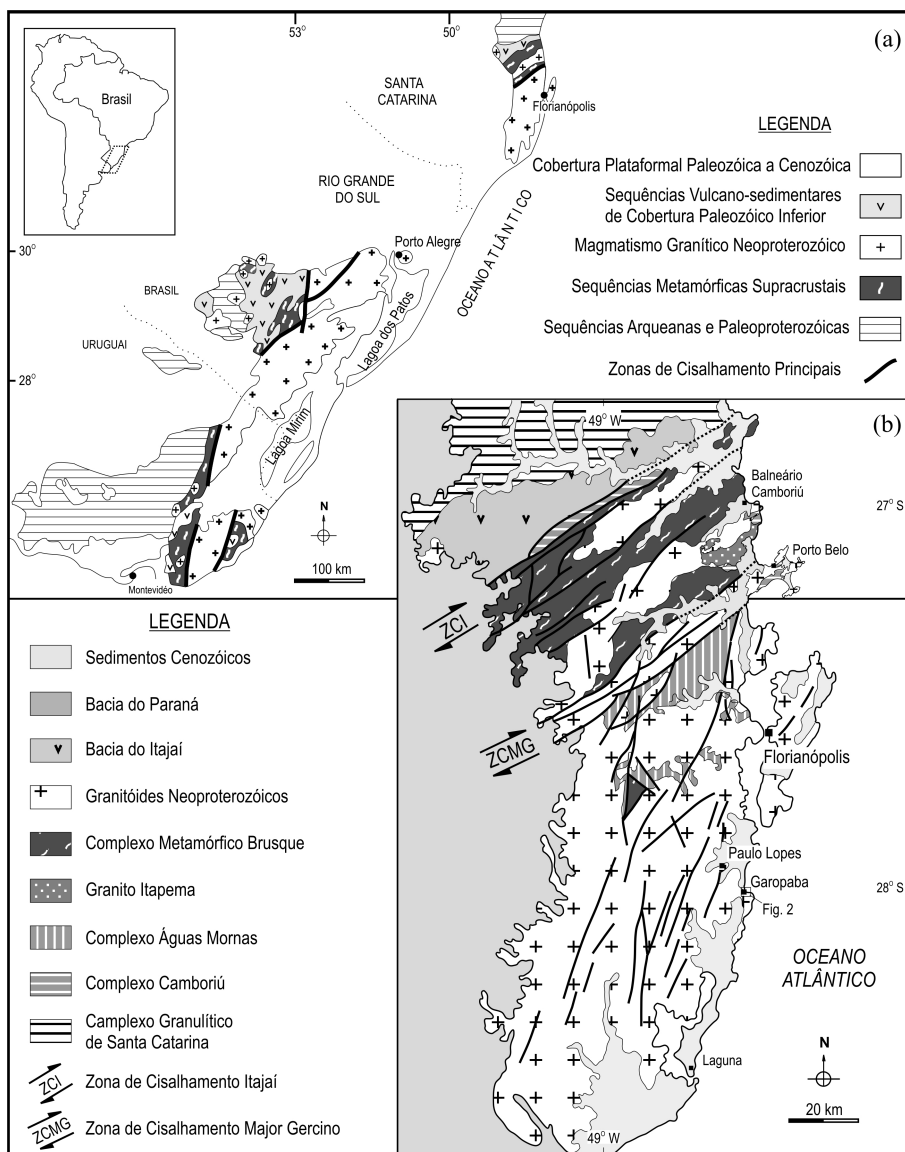


Figura 1 – Principais unidades geotectônicas do sul do Brasil. a) Compartimentação geotectônica da Província Mantiqueira segundo Chemale et al. (1995b) e b) Compartimentação tectônica do Escudo Catarinense, segundo Bitencourt et al. (1989).

O Escudo Catarinense (Fig. 1b) situa-se no extremo nordeste do cinturão granítico, e suas litologias são seccionadas por duas zonas de cisalhamento de escala litosférica, denominadas Zona de Cisalhamento Itajaí (Silva, 1999) e Zona de Cisalhamento Major Gercino (Bitencourt *et al.*, 1989a), constituintes do Cinturão de Cisalhamento Sul-brasileiro (Bitencourt & Nardi 2000). Ambas estruturas têm direção NE e cinemática transcorrente dextral. Os terrenos graníticos a sul da Zona de Cisalhamento Major Gercino fazem parte do Batólito Florianópolis, e seu principal *trend* estrutural é NNE-SSW.

Na região de Garopaba-Paulo Lopes observa-se uma pequena ocorrência do embasamento gnáissico paleoproterozóico, bem como diversos granitóides mais jovens, que representam o magmatismo tardio do Batólito Florianópolis (UFRGS, 1999). Este magmatismo é caracterizado por uma série de corpos graníticos associados a corpos e diques básicos, que intrudem o embasamento gnáissico. A porção leste desta região compreende principalmente as litologias da Suíte Paulo Lopes, da qual faz parte o Gabro Silveira, objeto do presente estudo.

A idade da suíte é balizada pela determinação U-Pb SHRIMP de 626 ± 8 Ma obtida por Silva *et al.* (1997) no Granito Paulo Lopes e interpretada como sua idade de cristalização. O termo Suíte Intrusiva Paulo Lopes foi proposto por UFRGS (1999), abrangendo três subunidades, com relações de contemporaneidade e cogeneticidade: granitóides Paulo Lopes, granitóides Garopaba e diorito Silveira. As rochas máficas da Suíte foram estudadas posteriormente por Nardi *et al.* (2002) e redenominadas, em função de sua composição, como Gabro Silveira. Esta associação foi redefinida formalmente por Bitencourt *et al.* (em prep.) como Suíte Paulo Lopes, composta pelo Granito Paulo Lopes (GPL), Granitóides Garopaba (GG) e Gabro Silveira (GS).

O Granito Paulo Lopes ocorre em faixas estreitas e alongadas segundo a direção NNE-SSW, alternando-se com os Granitóides Garopaba. Na ocorrência de maior área, o Gabro Silveira forma corpos maciços e arredondados com até 1 Km de diâmetro no interior dos Granitóides Garopaba, onde variações composicionais até quartzo-dioritos são descritas por UFRGS (1999). O Gabro Silveira é a fase magmática mais jovem da Suíte, cortando localmente os contatos entre os granitóides que a compõem.

A última fase de magmatismo ocorrente na região é representada por diques básicos tardios, intrusivos nas demais unidades da área.

GEOLOGIA DO GABRO SILVEIRA

A área de estudo é a localidade-tipo do Gabro Silveira, compreendendo o costão entre as praias de Garopaba e Silveira (Fig. 2).

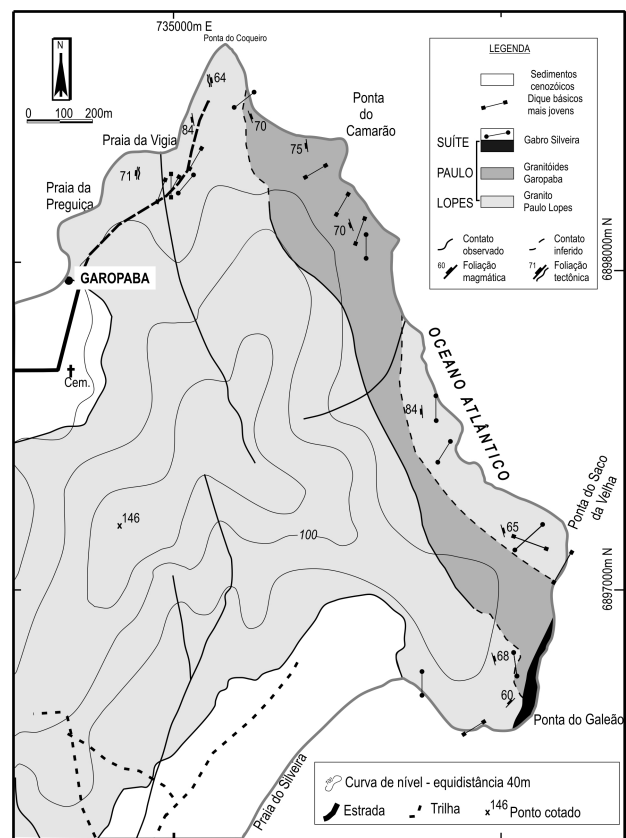


Figura 2 – Mapa geológico da região de Garopaba, SC (modificado de UFRGS, 1999).

O Granito Paulo Lopes constitui uma faixa estreita paralela à linha de costa, intercalado com os Granitóides Garopaba. Predominam biotita sienogranitos foliados, de textura porfirítica, com matriz média a grossa. Os fenocristais são de feldspato potássico, com tamanho médio de 4 cm. Dois tipos de textura cumulática são constatadas no Granito Paulo Lopes: (i) concentrações de cristais euédricos de feldspatos de 2 a 6 cm de comprimento, alinhados na estrutura de fluxo, com pouco material *intercumulus* e (ii) estratificação modal, onde se alternam estratos mais ricos em biotita e anfibólio com estratos quartzo-feldspáticos. Fragmentos de dimensões centimétricas a métricas de ambas variedades cumuláticas ocorrem nas fases tardias do Granito Paulo Lopes. A foliação ígnea é bem desenvolvida e definida pelo alinhamento dimensional dos megacristais de feldspato e lamelas de biotita. Zonas de cisalhamento de direção NNE, com espessura centimétrica a métrica e diferentes concentrações da deformação, também foram observadas, constituin-

do feições localizadas. Enclaves máficos microgranulares são comuns nessas rochas.

Os Granitóides Garopaba são predominantemente biotita monzogranitos de textura heterogranular, com raros termos granodioríticos. Os feldspatos são tipicamente ovóides, às vezes manteados por minerais máficos, e formam os cristais maiores, com 0,5 a 2 cm de tamanho. A matriz é inequigranular, composta por quartzo, feldspatos e biotita. O quartzo é intersticial, incolor a fumê. A foliação ígnea da rocha é pouco desenvolvida e não se observa foliação milonítica. Alteração de alta temperatura, com venulações de quartzo e clorita, é frequentemente encontrada associada a faixas onde recristalização de quartzo é comum. Em relação ao Granito Paulo Lopes, há um aumento no teor de minerais máficos, com acumulações destes minerais ao redor dos cristais de dimensões maiores, além de relevante diminuição nos teores de quartzo. Fragmentos de dimensões centimétricas a métricas, de contatos irregulares, das variedades cumuláticas do Granito Paulo Lopes ocorrem dentro dos Granitóides Garopaba. Próximo ao contato com o Gabro Silveira, são mais abundantes os enclaves máficos microgranulares.

Os contatos entre os Granitóides Garopaba e o Granito Paulo Lopes são predominantemente gradacionais, destacando-se nos Granitóides Garopaba a ausência de foliação milonítica, presente no Granito Paulo Lopes.

O Gabro Silveira ocorre como diques de direção NNE-SSW, de espessura variável entre 20 e 40 m, na forma de um corpo principal de 70 m de espessura aflorante, de orientação NNE-SSW e, menos comumente, na forma de enclaves dentro dos granitóides Paulo Lopes e Garopaba. Muitos enclaves mostram evidências de reação com o líquido granítico.

As características texturais permitem identificar o predomínio de diabásios de textura equigranular média a fina ou porfirítica. Em alguns diques, a região central do corpo apresenta textura média agrossa e, em raros casos, é possível notar intercalações de porções mais ricas em plagioclásio com outras mais ricas em máficos, mas não chegam a definir estratificações modais nem texturas cumuláticas. Nas regiões de borda dos diques, a textura equigranular fina é comum, indicando o resfriamento do magma básico contra os magmas graníticos. As rochas do corpo principal são gabros de textura equigranular média a grossa.

Os contatos entre os granitóides e as rochas básicas são predominantemente interlobados, sugerindo a interação entre magmas. Essa interação se dá de formas diversas entre o Gabro Silveira e os granitóides. Com o Granito Paulo Lopes, os contatos são predominantemente retos, mas relações de contemporaneidade são evidenciadas por injeções do Granito Paulo Lopes no Gabro Silveira e por porções de magma básico contidas no granito. As injeções do Granito Paulo Lopes no Gabro Silveira são de líquidos muito diferenciados, sugerindo que o Granito Paulo Lopes era quase sólido na época da intrusão do Gabro Silveira (Fig. 3a). Os contatos do Gabro Silveira com os Granitóides Garopaba são predominantemente interlobados, raramente retos (Fig. 3b). As relações de contemporaneidade são mais evidentes que as desenvolvidas com o Granito Paulo Lopes, observando-se injeções tabulares dos granitóides, de espessura centimétrica e de grande extensão, no Gabro Silveira. Apófises e vênulas dos granitóides no Gabro Silveira, com contatos crenulados, bem como injeções do magma básico nos granitóides, com contatos também irregulares, atestam a interação dos líquidos.

Diques básicos tardios, de orientação NE-

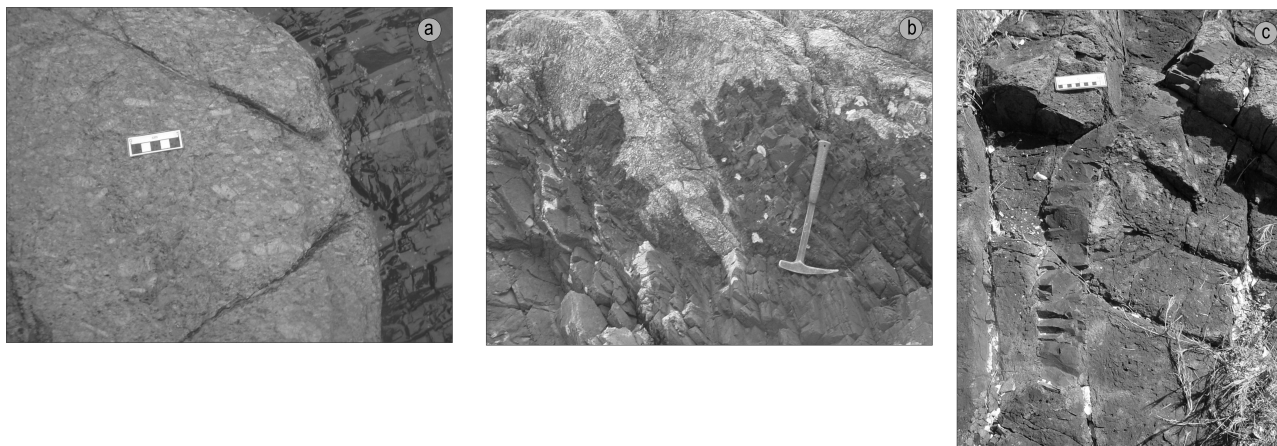


Figura 3 – a) Textura porfirítica do Granito Paulo Lopes e injeção estreita, leucogranítica, projetada para o interior do dique básico, b) apófises e vênulas, de contatos crenulados e interdigitados, dos Granitóides Garopaba no dique básico nele intrusivo. e c) dique básico tardio cortando o corpo principal do Gabro Silveira.

SW, cortam as demais litologias da área. Têm extensão restrita e espessura da ordem de 20 a 40 cm, ocorrendo apenas em dois dos pontos estudados. São diabásios de textura muito fina, com bordas de resfriamento bem desenvolvidas e disjunção colunar. Seus contatos com as demais litologias são retos, típicos do resfriamento de um líquido contra um sólido (Fig. 3c).

ASPECTOS PETROGRÁFICOS E QUÍMICA MINERAL DO GABRO SILVEIRA

As rochas básicas estudadas são predominantemente diabásios de textura equigranular média, compostas de plagioclásio (labradorita-andesina), ortopiroxênio, pigeonita, augita subcálcica, olivina, ferro-hornblenda, hornblenda magnesiânica e biotita. Apatita, magnetita e badeleíta são os principais minerais acessórios. Ilmenita, clorita e epidoto são fases secundárias comuns. Texturas subofítica e ofítica são as mais típicas.

Dados de química mineral foram obtidos no Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, utilizando um equipamento CAMECA SX-50. Foram analisados cristais de plagioclásio, clinopiroxênio, anfibólio e biotita em amostras do corpo principal, para uma caracterização mais precisa de sua composição. A tabela 1 apresenta dados composicionais representativos das principais fases máficas do Gabro Silveira.

Tabela 1 – Análises representativas de minerais ferro-magnesianos do corpo principal do Gabro Silveira.

Mineral	Anfibólio		Piroxênio				Biotita
	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	
SiO ₂	46,61	43,73	50,80	49,84	50,44	49,53	37,89
TiO ₂	1,19	1,50	0,82	0,30	0,75	0,26	3,99
Al ₂ O ₃	5,94	7,04	1,68	0,44	1,35	0,78	11,63
MgO	11,98	8,48	14,89	11,53	12,32	11,10	11,23
CaO	10,69	10,16	17,14	2,18	14,09	5,22	0,03
MnO	0,13	0,16	0,20	0,70	0,38	0,64	0,05
FeO	18,04	22,35	12,13	33,97	19,55	32,25	21,05
Na ₂ O	1,46	1,59	0,14	-	0,19	0,02	0,15
K ₂ O	1,15	1,14	-	0,10	0,01	-	9,28
F	0,79	0,48	-	-	-	-	1,07
Cl	0,09	0,24	-	-	-	-	0,17
H ₂ O	1,56	1,61	-	-	-	-	3,34
Total	99,63	98,47	97,80	99,06	99,08	99,80	99,87

Embora sejam composicionalmente muito homogêneas, as amostras apresentam texturas diversas, o que permite a identificação de três fácies distintas: fácies equigranular média a grossa (**feg**), fácies equigranular média a fina (**fef**) e fácies porfirítica (**fp**).

As rochas da **feg** ocorrem no centro do corpo principal, apresentam textura subofítica, ofítica e, raramente, granofírica nos interstícios. Acumulações de cristais de plagioclásio e ortopiroxênio precoces, com bordas corroídas, formam trilhas ou aglomerados irregulares. Agregados de cristais de olivina com bordas reativas, bem como cristais precoces de plagioclásio, com trilhas de inclusões fluidas e sólidas marcando as linhas de crescimento, são feições particulares desta fácies. O clinopiroxênio é augita enriquecida em titânio, variando de 0,7 a 1,63% de TiO₂. A borda dos cristais é constituída por augita sub-cálcica. Os cristais de augita precoces apresentam teores de TiO₂ e Al₂O₃ mais elevados, enquanto os tardios, que são predominantes, apresentam teores mais baixos. A figura 4 apresenta a classificação dos piroxênios segundo Morimoto *et al.* (1988). O núcleo dos cristais de plagioclásio analisados é labradorítico, enquanto as bordas são compostas de andesina, constituindo zonação normal. A ferro-hornblenda e a hornblenda magnesiânica são mais tardias e apresentam razão MgO/(MgO+FeO) entre 0,4 e 0,6%. A biotita também é tardia, de coloração vermelha, e a maior parte dos cristais está cloritizada. Possui altos teores de TiO₂, entre 3,17 e 4,54 %

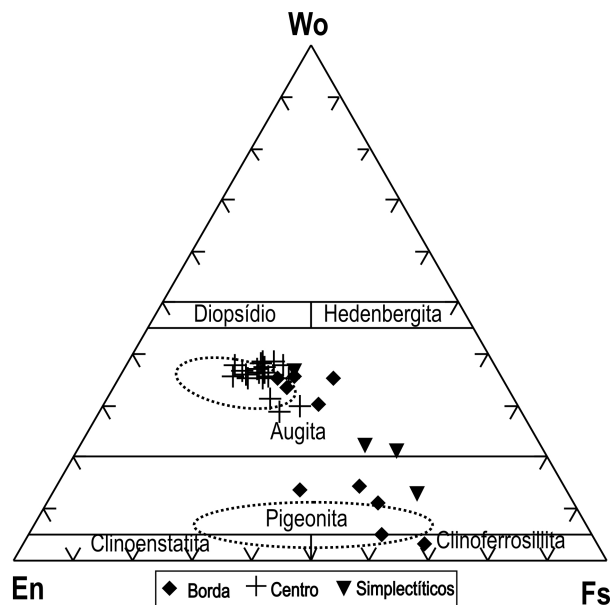


Figura 4 – Classificação dos piroxênios do Gabro Silveira segundo Morimoto *et al.* (1988). Campos assinalados correspondem aos das composições de piroxênios de basaltos e gabros da Formação Serra Geral (Viero & Roisenberg 1992).

e razão molar Fe/(Fe+Mg) entre 0,5 e 0,7.

As rochas da **fef** são observadas no centro dos diques, com textura heterogranular, subofítica a ofítica, onde ocorrem aglomerados de cristais de clinopiroxênio ou plagioclásio precoces. Lamelas de exsolução de pigeonita em augita subcálcica são freqüentemente observadas. Os maiores conteúdos de mesóstase foram encontrados onde há texturas de intercrescimento entre feldspatos e quartzo.

As rochas da **fp** ocorrem nos diques básicos tardios, definidas por texturas porfirítica ou glomeroporfirítica de matriz fina. Raramente ocorre textura equigranular fina a afanítica. Esta fácies também ocorre nas bordas dos diques ou em margens resfriadas, onde não aparecem relações claras de mútua intrusão dos diques com as encaixantes graníticas, ou onde essas relações são mais restritas.

Xenocristais de plagioclásio foram identificados no centro do corpo principal e no interior de alguns diques. São cristais de 1,0 a 1,5 mm, de formas irregulares e comumente apresentam bordas corroídas e reativas.

O anfibólio ocorre apenas na **feg** e na **fef**, onde parece ser produto de alteração tardi-magmática dos cristais de piroxênio. Raros cristais secundários foram identificados em amostras onde a alteração hidrotermal é mais intensa ou em regiões próximas aos contatos com os granitóides.

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ROCHAS BÁSICAS

Determinações de elementos maiores e traços foram realizadas em 13 amostras representativas do Gabro Silveira (Tab. 2), procurando abranger os diferentes tipos texturais e composicionais selecionados previamente com base em critérios de campo e petrográficos, com objetivo de classificar as rochas básicas em relação às séries magmáticas e investigar sua gênese. Para a realização deste estudo, as amostras foram preparadas no Anexo do Laboratório de Geologia Isotópica do IG/UFRGS e enviadas para análise por ICP-MS para elementos traço e fluorescência de raio-X para elementos maiores no *Activation Laboratories*, Canadá.

As amostras consideradas para a caracterização geoquímica do magmatismo são as que não apresentam características petrográficas e geoquímicas de cumulos, representando preponderantemente líquidos magmáticos.

De acordo com a classificação da IUGS (Le Maitre, 2002) as rochas básicas estudadas têm composição de traquibasaltos a basaltos. São satura-

das em sílica, com teor médio de 50% em peso, e têm caráter metaluminoso. O diagrama AFM (Fig. 5) mostra que as mesmas pertencem à série toleítica. Isto é confirmado pelos teores de Al_2O_3 inferiores aos de basaltos alto alumínio ou calcialcalinos (Wilson, 1989). Parâmetros de calcialcalinidade (Peacock, 1931) evidenciam seu caráter moderadamente alcalino.

Os teores de magnésio (MgO) variam de 4 a 5% em peso, o que, juntamente com os baixos teores de Cr e Ni, sugere que o magma que deu origem às rochas básicas sofreu processos de fracionamento anteriores, envolvendo olivina e piroxênio.

O fósforo (P_2O_5) apresenta teores moderados, variando de 0,40 a 0,60 % em peso, semelhantes aos observados em rochas básicas toleíticas continentais.

A figura 6 ilustra o comportamento dos elementos maiores do Gabro Silveira, em relação ao índice de diferenciação FeO^T/MgO .

Comparadas aos basaltos de ilha oceânica - OIB (Fig. 7) as amostras estudadas apresentam padrões horizontalizados e próximos de 1, com exceção dos enriquecimentos em Cs, Ba, U e Th, e empobrecimento em Rb e ETRP, com anomalias negativas de Nb e Ta. Neste diagrama, o comportamento dos diques básicos tardios difere do das demais rochas da área estudada, mostrando um empobrecimento em todos os elementos, com exceção dos ETRP.

A razão Rb/Sr é variada, não apresenta um *trend* definido, mostrando que há três grupos de amostras com razões diversas: amostras com baixo Sr e Rb, amostras com baixos valores de Rb e altos valores de Sr, e amostras com alto Rb e valores intermediários de Sr. Este comportamento da razão Rb/Sr sugere que a diferenciação foi afetada por processos de segregação de líquidos com variáveis proporções de cristais, ou que existe contaminação por parte dos líquidos graníticos, ou ainda que a fonte destes magmas era originalmente enriquecida nestes elementos.

O diagrama de ETR normalizados pelos valores condriticos C1 (Fig. 8), mostra três padrões de distribuição dos elementos: (i) padrões fortemente enriquecidos em ETRL e com discreto empobrecimento em ETRP, com razão La/Lu_N média de 8,9 (ii) padrões enriquecidos em elementos terras raras leves (ETRL) e fortemente empobrecidos em ETRP, com razão La/Lu_N variando de 31,9 a 68,3 (média de 49), e (iii) padrões quase horizontais, com razão La/Lu_N média de 2,4 e enriquecimento da ordem de 10 vezes em relação aos condritos.

As anomalias negativas de Eu são pouco sig-

Tabela 2 – Resultados Analíticos para elementos maiores e traço das amostras representativas do Gabro Silveira. Óxidos em peso%; elementos traço em ppm. DP - Dique Principal, PC - Centro do dique, MR - Margens Resfriadas, DJ - Diques mais jovens

Amostra	DP						CD				MR	DJ
	GS-5B	GS-5C	GS-5E	GS-05F	GS-05H	GS-05I	GS-4A	GS-11A	GS-18A	GS-7B	GS-7A	GS-11C
SiO ₂	50,90	49,50	48,80	49,90	51,15	51,55	51,10	50,81	51,82	51,10	49,10	50,44
Al ₂ O ₃	12,50	12,40	13,80	12,70	12,49	13,05	11,30	13,03	12,57	13,20	12,10	13,72
Fe ₀ ^T	14,32	15,10	13,66	14,77	14,53	14,54	12,55	14,25	15,12	12,66	12,88	13,62
MnO	0,22	0,21	0,19	0,20	0,19	0,19	0,17	0,18	0,20	0,17	0,20	0,20
MgO	3,60	3,90	4,10	4,40	4,57	4,22	4,50	3,83	3,87	4,00	3,80	5,78
CaO	7,40	8,20	9,30	8,40	7,90	7,97	8,40	7,55	7,39	8,10	8,40	10,23
Na ₂ O	2,80	2,40	2,60	2,60	2,60	2,84	2,70	2,84	2,86	2,60	2,50	2,68
K ₂ O	2,00	1,80	1,30	1,70	1,72	1,72	1,80	1,77	1,87	1,90	1,70	0,57
TiO ₂	3,30	3,60	4,10	3,50	3,22	3,51	3,60	3,55	3,30	3,80	3,90	1,51
P ₂ O ₅	0,55	0,46	0,36	0,45	0,45	0,46	0,51	0,49	0,53	0,62	0,58	0,17
L.O.I.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,01	0,00	0,44	0,51	0,00	0,00	0,69
Total	97,59	97,57	98,21	98,62	99,40	100,05	96,63	98,73	100,03	98,15	95,16	99,61
Ba	543	527	375	488	505	529	517	590	593	619	545	119
Rb	35	30	14	22	45	45	25	47	50	20	6	21
Sr	384	413	605	445	448	491	628	490	435	719	631	157
Cs	-	-	-	-	1,1	1,1	-	2,1	3,8	-	-	1,4
Ga	25	25	24	21	23	24	24	24	23	22	26	19
Ta	-	-	-	-	1,5	1,7	-	1,8	1,8	-	-	0,4
Hf	-	-	-	-	7,3	7,1	-	7,3	7,8	-	-	3
Nb	24	19	19	22	23	26	24	28	29	28	30	10
Zr	233	213	177	221	269	268	252	271	282	288	278	95
Y	37	32	24	28	36	37	29	37	42	29	30	28
Th	10	11	12	10	5	5	5	5	6	7	8	2
U	5	5	5	5	1	1	5	1	1	5	5	1
Cr	27	29	18	35	47	28	66	10	10	47	51	47
Ni	27	32	39	41	59	54	47	27	22	41	46	36
Co	36	39	40	39	43	41	38	35	36	36	35	40
La	22,88	30,35	22,41	18,26	37,60	37,40	32,78	38,60	41,80	42,13	33,40	9,10
Ce	37,05	59,32	42,01	30,01	81,00	80,20	63,23	80,20	88,80	84,11	62,05	20,60
Nd	11,01	25,03	17,81	10,00	43,10	43,10	24,96	43,10	47,10	35,28	25,86	13,50
Sm	2,01	5,99	4,28	2,12	9,60	9,50	5,95	9,50	10,60	8,60	6,12	4,10
Eu	0,51	1,60	1,22	0,56	2,73	2,91	1,62	2,94	3,20	2,43	1,62	1,39
Gd	1,29	4,73	3,26	1,57	8,90	9,10	4,35	8,90	9,70	6,70	4,55	4,80
Dy	0,61	2,64	1,99	1,02	7,20	7,30	2,05	7,20	8,30	3,47	2,36	5,20
Ho	0,11	0,49	0,39	0,21	1,40	1,30	0,38	1,30	1,50	0,63	0,51	1,00
Er	0,29	1,14	0,82	0,40	3,90	3,90	0,77	3,80	4,50	1,35	1,00	3,20
Yb	0,20	0,63	0,41	0,26	3,10	3,10	0,37	3,10	3,60	0,64	0,48	2,70
Lu	0,02	0,09	0,07	0,04	0,42	0,44	0,05	0,43	0,52	0,09	0,06	0,40

nificativas, com razão Eu/Eu^*_N situando-se em média de 0,93.

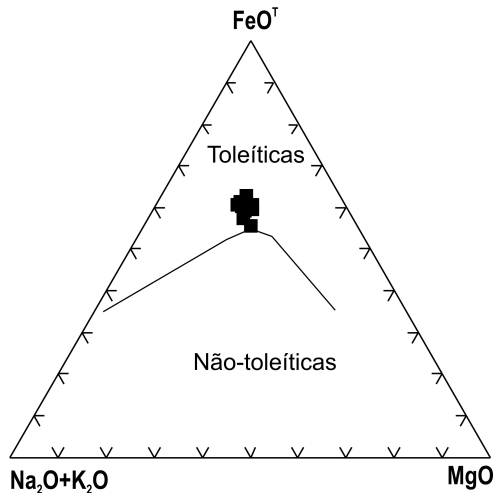


Figura 5 – Diagrama AFM mostrando o caráter toleítico das rochas básicas do Gabro Silveira.

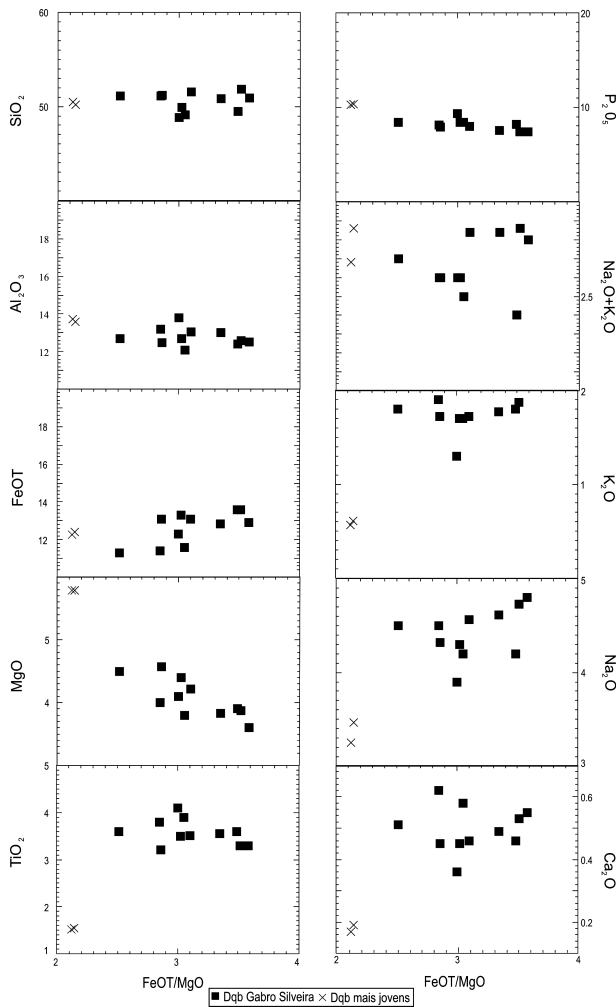


Figura 6 – Diagramas binários dos elementos maiores dos diques básicos neoproterozóicos, utilizando a razão $FeOT/MgO$ como índice de diferenciação, concentrações em peso%.

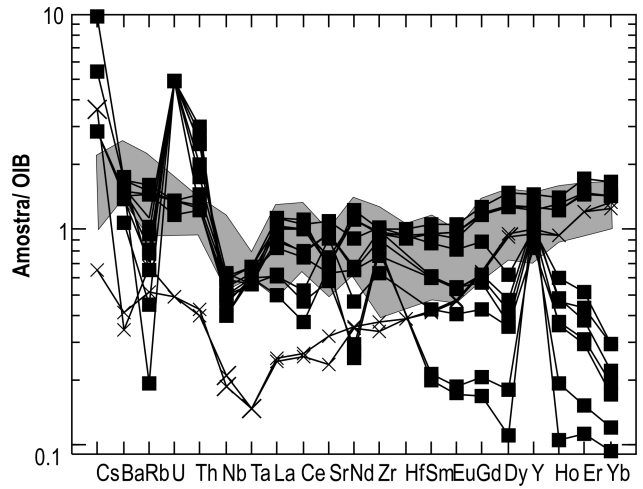


Figura 7 – Diagrama multielementos normalizado pelos valores dos OIB para amostras representativas do Gabro Silveira. Campo das amostras da Formação Serra Geral em cinza.

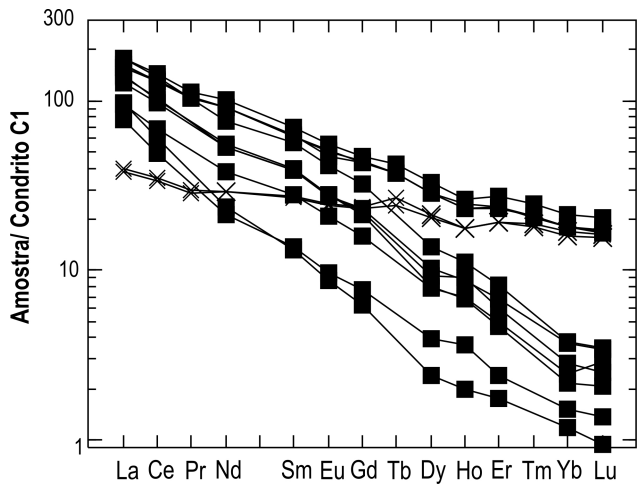


Figura 8 – Padrões de ETR normalizados pelos valores condriticos C1 para amostras representativas do Gabro Silveira. Campo das amostras da Formação Serra Geral em cinza.

COMPARAÇÃO ENTRE AS ROCHAS BÁSICAS NEOPROTEROZÓICAS DA REGIÃO DE GAROPABA (SC) E AS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL

Para a realização do estudo de comparação entre as rochas básicas neoproterozóicas da região de Garopaba e as da Formação Serra Geral foram utilizados os dados de Marques *et al.* (1989); Piccirillo & Melfi (1988); Maniesi & Oliveira (1997) e Garda *et al.* (1995). Foram selecionados dados de rochas básicas hipabissais e vulcânicas, dos tipos alto-Ti-P e baixo-Ti-P.

As evidências de campo indicam contemporaneidade entre granitóides e rochas básicas da Suíte Paulo Lopes, o que não é reportado para as rochas da Formação Serra Geral.

As rochas do Gabro Silveira são petrograficamente muito semelhantes às da Formação Serra Geral. As diferenças mais destacadas são a presença de xenocristais de plagioclásio, feições de deformação, como maclas curvas do plagioclásio e alteração de alta temperatura, gerando veios de clorita e quartzo no Gabro Silveira.

O Gabro Silveira tem composição, em relação aos elementos maiores, de um basalto toleítico, similar aos basaltos alto-Ti-P da Formação Serra Geral, e assim como as lavas alto-Ti-P, não apresentam correlações entre o par TiO_2 e P_2O_5 , sendo também enriquecidos em Y, Ba e ETRL.

A figura 9 ilustra o diagrama de Peacock (1931), mostrando o caráter transicional entre alcali-cálcico e calcialcalino das amostras estudadas, sendo destacável o maior conteúdo de álcalis em relação aos basaltos alto-Ti-P e baixo Ti-P da Formação Serra Geral. A razão Na_2O/K_2O é menor nas rochas básicas estudadas, sendo o conteúdo de K_2O semelhante àqueles dos basaltos moderadamente alcalinos.

O conteúdo de elementos traços no Gabro Silveira é similar ao das rochas da Formação Serra Geral, com exceção de alguns elementos, como Sr, Ba, Zr, Nb e Th.

Na figura 7, as rochas básicas são normalizadas pelos valores dos basaltos de ilha oceânica (OIB), e é notável a semelhança entre os dois grupos de rochas. As diferenças essenciais são os conteúdos menores de Rb e ETRP e maiores de Cs, U e Th, no Gabro Silveira. Os diques básicos tardios apresentam padrões de distribuição dos elementos semelhante aos do Gabro Silveira, embora mais empobrecido em todos os elementos, com exceção dos ETRP, que se assemelham aos das rochas da Formação Serra Geral.

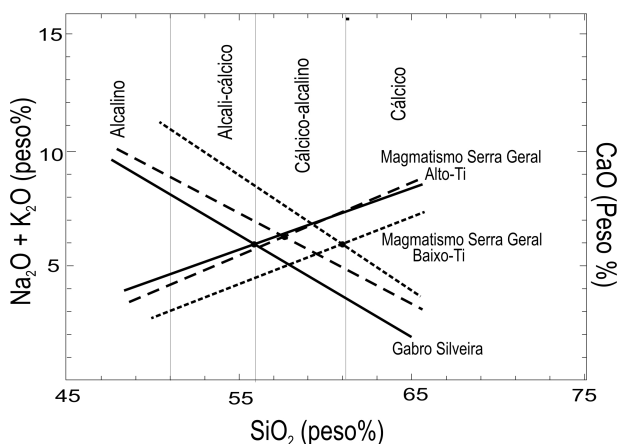


Figura 9 –Diagrama de Peacock (1931) mostrando o caráter transicional alcali-cálcico a calcialcalino do Gabro Silveira. Trends representativos das rochas da Formação Serra Geral são representados afim de comparação.

Os padrões de fracionamento dos ETR (Fig. 8) constituem frequentemente outro critério distintivo. Enquanto os diques básicos do Gabro Silveira possuem padrões heterogêneos, muitas vezes fortemente fracionados, com razão La/Lu_N de até 100, as rochas básicas da Formação Serra Geral apresentam padrões homogêneos de distribuição dos ETR, pouco fracionados, com razão La/Lu_N média de 6.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A área de estudo do presente trabalho, localidade-tipo do Gabro Silveira, expõe uma suíte de rochas plutônicas e hipabissais de composição ácida e básica, com relações de mútua intrusão.

As rochas máficas da Suíte Paulo Lopes são gabros e dioritos metaluminosos de afinidade toleítica alto-K de acordo com critério sugerido por Le Maitre (2002), composicionalmente semelhantes aos basaltos alto-Ti-P da Formação Serra Geral. Comparadas aos basaltos de ilhas oceânicas - OIB – mostram enriquecimento em LILE, Th e U e anomalias negativas de Nb e Ta. O padrão de fracionamento dos ETR é variável mostrando razões La/Lu_N entre 10 e 100. A fonte destes magmas é semelhante à dos OIB, de acordo com o já observado em rochas vulcânicas neoproterozóicas do sul do Brasil por outros autores (Sommer *et al.*, 1999).

As rochas básicas estudadas são textural e composicionalmente similares às rochas básicas da Formação Serra Geral, sendo, no entanto, distinguíveis por critérios de campo, petrográficos e geoquímicos.

As relações de campo características do magmatismo básico neoproterozóico são as de contemporaneidade com o magmatismo granítico. O Gabro Silveira mostra como feições petrográficas mais marcantes para esta discriminação a presença de xenocristais de plagioclásio e algumas feições de deformação. As distinções geoquímicas de maior destaque são observadas nos conteúdos de elementos traços e nos padrões de fracionamento dos elementos terras raras. Em relação aos elementos maiores, os diferentes valores da razão Na_2O/K_2O é a diferença mais significativa, sendo mais elevada nas rochas da Formação Serra Geral.

Os critérios descritos anteriormente permitiram a identificação, na área de estudo, de diques básicos tardios que podem ser correlacionáveis à Formação Serra Geral.

Os padrões de fracionamento dos elementos terras raras, os altos conteúdos de K, Rb, Sr e Ba, e as anomalias negativas de Nb e Ta em diagramas

multielementos do Gabro Silveira, são semelhantes aos observados em rochas magmáticas de arcos maduros ou de ambientes pós-colisionais. Estas características geoquímicas além, dos altos conteúdos de LILE, Th e U são sugestivas de fontes mantélicas afetadas por subducção litosférica prévia.

Evidências petrográficas não corroboram a segregação ou fracionamento mineral como mecanismo causador da ampla variação das razões ETRL/ETRP no Gabro Silveira e diques associados, uma vez que não são observadas variações significativas no conteúdo de minerais concentradores de ETRP. Admite-se, portanto, que esta variação pode indicar a presença de pulsos magmáticos composicionalmente diversos, refletindo talvez hibridização durante o processo de mistura com os magmas graníticos.

O Gabro Silveira representa o magmatismo básico relacionado aos estágios precoces pós-colisionais descritos nesta região por Bitencourt e Nardi (1993, 2000), sugerindo que o padrão evolutivo do magmatismo pós-colisional no sul do Brasil inicia com magmas toleíticos alto-K, continentais, e evolui para magmas de afinidade shoshonítica e alcalina sódica.

A presença de rochas básicas contemporâneas com os granitóides precoces sin-transcorrentes do estágio pós-colisional assinala a participação efetiva do manto na geração dos magmas constituintes da Suíte Paulo Lopes. Bitencourt e Nardi (1993) mostraram que o magmatismo básico associa-se também ao magmatismo pós-colisional shoshonítico e alcalino do sul do Brasil. Deste modo, caracteriza-se no período pós-colisional uma acreção vertical de material juvenil, além de retrabalhamento da crosta.

Agradecimentos- Este projeto foi financiado pelo CNPq através do edital Universal, proc. n^o 471584/01-0 e PRONEX.

REFERÊNCIAS

- Basei, M.A.S., 1985. **O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina**. São Paulo. 195p. Tese de Doutorado em Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo.
- Bitencourt, M. F. & Nardi, L.V.S. 1993. Late to post-collisional brasiliano granitic magmatism in southernmost Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, **65** (supl.1): 3-16.
- Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the southern brazilian shear belt. **Revista Brasileira de Geociências**, **30**:184-187.
- Bitencourt, M.F.; Bongiolo, E.M.; Philipp, R.P.; Morales, L.F.G.; Rubert, R.R.; Melo, C.L. & Luft Jr, J.L.. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba-Paulo Lopes, SC.(em prep.).
- Bitencourt, M.F.; Hackspacher, P.C. & Nardi, L.V.S. 1989a. A Zona de Cisalhamento Major Gercino - Santa Catarina. *In*: Simpósio Nacional de Estrutural e Tectônica, 2, Fortaleza, 1989. **Atas...** Fortaleza, SBG, p. 214-216.
- Chemale Jr., F.; Hartmann, L.A. & Silva, L.C. 1995b. Stratigraphy and Tectonism of Brasiliano Cycle in Southern Brazil. *In*: **Proterozoic Crust and Metallogenic Evolution**. Namíbia (no prelo).
- Fernandes, L.A.D., Tomasi, A., Porcher, C.C., 1992. Deformation Patterns in the Southern Brazilian Branch of the Dom Feliciano Belt, a reappraisal. **Journal of South America Earth Sciences**, **5**:77-96.
- Garda, G. M.; Schorscher, J. H. D.; Esperança, S. & Carlson, R. W. 1995. The Petrology and Geochemistry of Coastal Dykes from São Paulo State, Brazil: Implication for Variable Lithospheric Contribution to Alkaline Magmas from the Western Margin of the South Atlantic. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, **67** (2): 191-216.
- Le Maitre, R.W. 2002. **Igneous Rocks - A classification and Glossary of Terms**. Cambridge University Press, Cambridge, 236p.
- Maniesi, V. & Oliveira, M.A.F. 1997. Petrologia das soleiras de diabásio de Reserva e Salto do Itararé, PR. **Geochimica Brasiliensis**, **11** (2): 153-169.
- Marques, L.S.; Dupré, B. & Piccirillo, E.M. 1999. Mantle Source composition of the Paraná Magmatic Province (southern Brazil): evidence from trace elements and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry. **Journal of Geodynamics**, **28**: 439-458.
- Morimoto, N.; Fabries, J.; Ferguson, A.K.; Ginzburg, I.V.; Ross, M.; Seifert, F.A.; Zussman, J.; Aoki, K. & Gottardi, G. 1984. Nomenclature of pyroxenes. **American Mineralogist**, **73**: 1123-1133.
- Nardi, L.V.S.; Bitencourt, M.F. & Bettiolo, L.M. 2002. Coeval Tholeiitic Gabbros and Biotite Granitoids in the Post-Collisional Neoproterozoic Southern Brazilian Shear Belt, Garopaba, Santa Catarina. *In*: XII Congresso Brasileiro de Geologia, 1, João Pessoa, 1997. **Resumos**, Pernambuco, SBG. V. 1, P. 55.
- Peacock, M.A. 1931. Classification of igneous rock series. **Journal of Geology**, **39**:54-67.
- Piccirillo, E.M. & Melfi, A. J. 1988. **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 600p.
- Silva, L.C. 1999. **Geocronologia U-Pb SHRIMP e Sm-Nd na Província Mantiqueira, no Cinturão Saldania (África do Sul) e a evolução do Ciclo Brasiliano/Pan Africano**. Porto Alegre. 243p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Silva, L.C., Macambira, M.J.B., Hartmann, L.A., Chemale Jr., F., 1997. Pb-Pb zircon evaporation age and petrology of the strike-slip-related Paulo Lopes Granite, Southern Brazilian Granitic Province. *In*: South-American Symposium on Isotope Geology, 1, Campos do Jordão, 1997. **Extended Abstracts...** São Paulo, p.309-311.
- Sommer, A.C., Lima, E.F. & Nardi, L.V.S. 1999. O vulcanismo alcalino do Platô do Taquarembó, Dom Pedrito, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, **29** (2): 245-254.

UFRGS, 1999. **Mapeamento Geológico 1: 25 000 de parte das folhas Paulo Lopes (MI2909/4) e Imituba (2925/2), SC.** Porto Alegre. 7 vol. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Viero, A.P. & Roisenberg, A. 1992. Petrologia e Geoquímica do Complexo Básico de Lomba Grande, RS. **Pesquisas**, **19**: 41-54.

Wilson, M. 1989. **Igneous Petrogenesis**. Londres, Chapman & Hall, 466pp.

