

Reavaliação e Novos Dados Geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: Implicações Petrogenéticas e Idade de Reativação das Zonas de Cisalhamento

Ruy Paulo Philipp¹ (ruy.philipp@ufrgs.br), Rômulo Machado², Farid Chemale Jr.¹

¹Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica - Instituto de Geociências - UFRGS
Caixa Postal 15001, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, BRA

²Departamento de Mineralogia e Geotectônica - Instituto de Geociências - USP, São Paulo, SP, BRA

Palavras-chave: Batólito Pelotas, geocronologia, petrogênese, zonas de cisalhamento.

RESUMO

O Batólito Pelotas é constituído por suítes graníticas com idades U/Pb (em zircão, Evaporação e SHRIMP) e Pb/Pb (em zircão, por evaporação) situadas no intervalo de 575 a 633 Ma, com um padrão de idade mais antigo entre 625 e 635 Ma (Suíte Pinheiro Machado) e outro mais novo entre 575 e 600 Ma (Suítes Viamão, Encruzilhada do Sul e Dom Feliciano). As razões isotópicas Sr^{87}/Sr^{86} situadas entre 0,7060 a 0,7016, juntamente com valores de ϵ_{Nd} fortemente negativos (em geral, entre -5 a -10) e idades modelos T_{DM} (entre 1600 e 2200 Ma), indicam a predominância de processos de reciclagem de materiais de uma crosta provavelmente Paleoproterozóica (Ciclo Transamazônico). Por outro lado, a presença de magmatismo básico e feições de misturas de magmas nas Suítes Pinheiro Machado, Viamão, Encruzilhada e Dom Feliciano associados com magmatismo alcalino (Sienito Piquiri), com idade Pb/Pb (em zircão, por evaporação) entre 610 e 615 Ma, sugerem também contribuição mantélica na constituição do batólito. As idades Ar/Ar aqui obtidas a partir de rochas miloníticas de zonas de cisalhamento (de baixo e alto ângulo) que afetam o batólito sugerem a existência de um importante evento tectônico ocorrido entre 540 e 530 Ma. Este evento teria sido responsável pela reativação em regime transpressivo de zonas de cisalhamento mais antigas, relacionadas com a colocação das suítes graníticas do batólito, e geração de estruturas-em-flor positiva em vários domínios do mesmo. Esta tectônica parece se articular no espaço e no tempo com a tectônica extensional relacionada com a instalação da Bacia do Camaquã.

Keywords: Sul-rio-grandense shield, Pelotas batholith, geochronology, granite petrology, shear zones.

ABSTRACT

SHRIMP and conventional U-Pb and Pb/Pb evaporation dating of zircon from the Pelotas batholith indicates one group of ages between 625 and 633 Ma for the Pinheiro Machado suite, and another group between 575 and 599 Ma for the Viamão, Encruzilhada do Sul and Dom Feliciano suites. Sr^{87}/Sr^{86} isotopic ratios of 0.7060 - 0.7016, ϵ_{Nd} values of -5 and -10, and Nd T_{DM} model ages between 2200 and 1600 Ma suggest that the suites were mainly derived by melting of Paleoproterozoic crust formed during the Transamazonian Cycle. Basic magmatism and heterogeneous magma mixing in the Pinheiro Machado, Viamão, Encruzilhada do Sul and Dom Feliciano suite and the Piquiri alkaline magmatism, with Pb/Pb zircon evaporation ages between 610 and 615 Ma, suggest that a mantle component also contributed to the formation of the Pelotas batholith. $^{39}Ar/^{40}Ar$ determinations in micas from mylonitic rocks of high- and low-dip shear zones showed ages between 540 and 530 Ma, which show that important tectonic events occurred after the emplacement of the batholith. This event developed in a transpressive regime, was responsible for the reactivation of older shear zones, and was probably contemporaneous with the development of the Camaquã basin.

INTRODUÇÃO

O Batólito Pelotas, localizado na porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense, é uma das mais expressivas massas graníticas (400 km x 100 km) das regiões sul-sudeste do Brasil (Figura 1). Levantamentos geológicos e geofísicos mostram seu prolongamento para norte, em Santa Catarina, e para sul, no Uruguai (Shukowsky *et al.*, 1991; Hallinan *et al.*, 1993, Bitencourt e Nardi, 2000). Os dados geocronológicos de alta precisão (U/Pb-Convencional e SHRIMP, e Pb/Pb-evaporação) existentes sobre o batólito mostram que a sua constituição ocorreu no intervalo de cerca de 60 Ma (entre 630 e 570 Ma). Para geração do magmatismo do batólito são disponíveis os seguintes modelos tectônicos: subducção de litosfera oceânica (Figueiredo *et al.*, 1990; Philipp, 1990; Fragoso Cesar, 1991; Philipp *et al.*, 1993; Philipp, 1998; Chemale Jr., 2000), colisão continental (Hartmann *et al.*, 2000; Philipp e Machado, 2001); fontes mantélicas modificadas durante reativação tardi a pós-colisional (Bitencourt & Nardi, 1993 e 2000; Philipp, 1998; Philipp *et al.*, 2000 e 2002a) com reciclagem crustal e com magmatismo máfico associado (Philipp *et al.*, 2002a, b).

No Batólito Pelotas são reconhecidas as suítes graníticas Pinheiro Machado (SPM), Erval (SE), Viamão (SV), Encruzilhada do Sul (SES), Cordilheira (SC), Dom Feliciano (SDF) e Piquiri (SP), esta última constituída essencialmente por sienitos (Philipp, 1998; Philipp *et al.*, 2002a) (Figura 2). Com exceção da SPM, que é de composição expandida (granodiorítica a monzogranítica, com tonalitos, dioritos e quartzo-dioritos subordinados), as demais são de composição não-expandida (sieno a monzogranítica e álcali-feldspato granítica, com granodiorítica subordinada). São comuns enclaves microgranulares máficos, dioríticos e quartzo-dioríticos, com feições evidentes de mistura de magmas (básicos e intermediários). Ocorrem ainda corpos básicos mapeáveis em escala de semidetalhe, a exemplo das ocorrências de dioritos e gabros das regiões de Pinheiro Machado, Canguçu e Dom Feliciano (Fragoso Cesar, 1991; Wildner e Ramgrab, 1994). Estes corpos associam-se geneticamente aos granitos das SV e SDF.

A SPM é cálcio-alcalina médio a alto-K, metaluminosa a fracamente peraluminosa. A SP caracteriza-se como uma série alcalina saturada com forte afinidade shoshonítica. As SV e SC mostram tendência de evolução cálcio-alcalina alto-K.

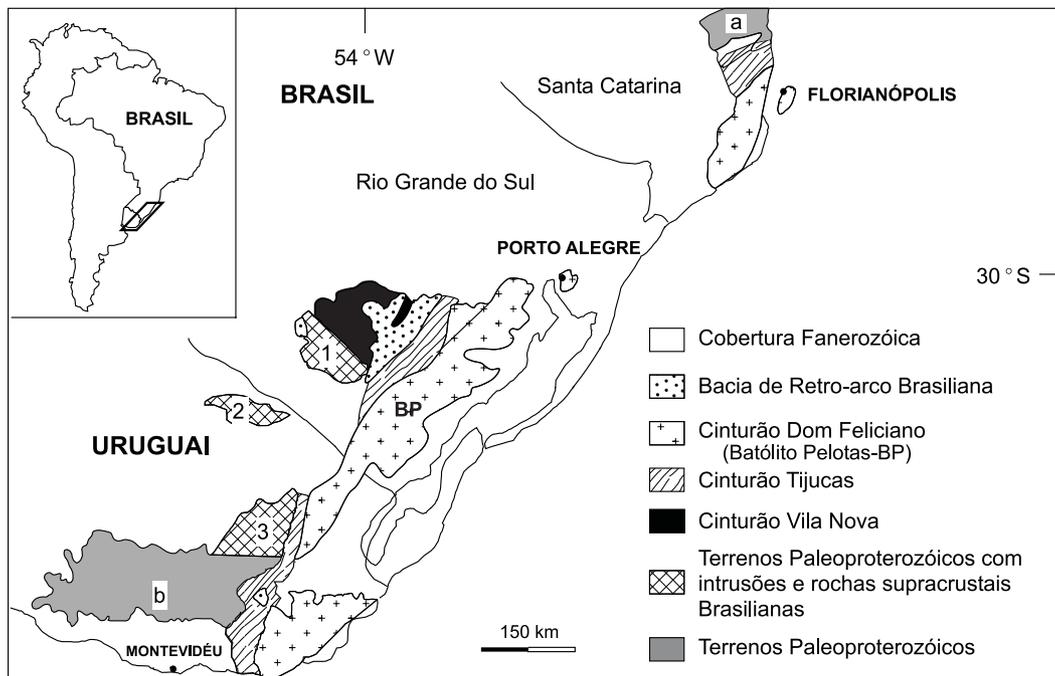


Figura 1. Principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguai. **a** - Terreno Luis Alves; **b** - Terreno Florida; **1** - Terreno Taquarembó; **2** - Terreno Rivera, **3** - Terreno Valentines. Modificado de Chemale Jr. (2000).

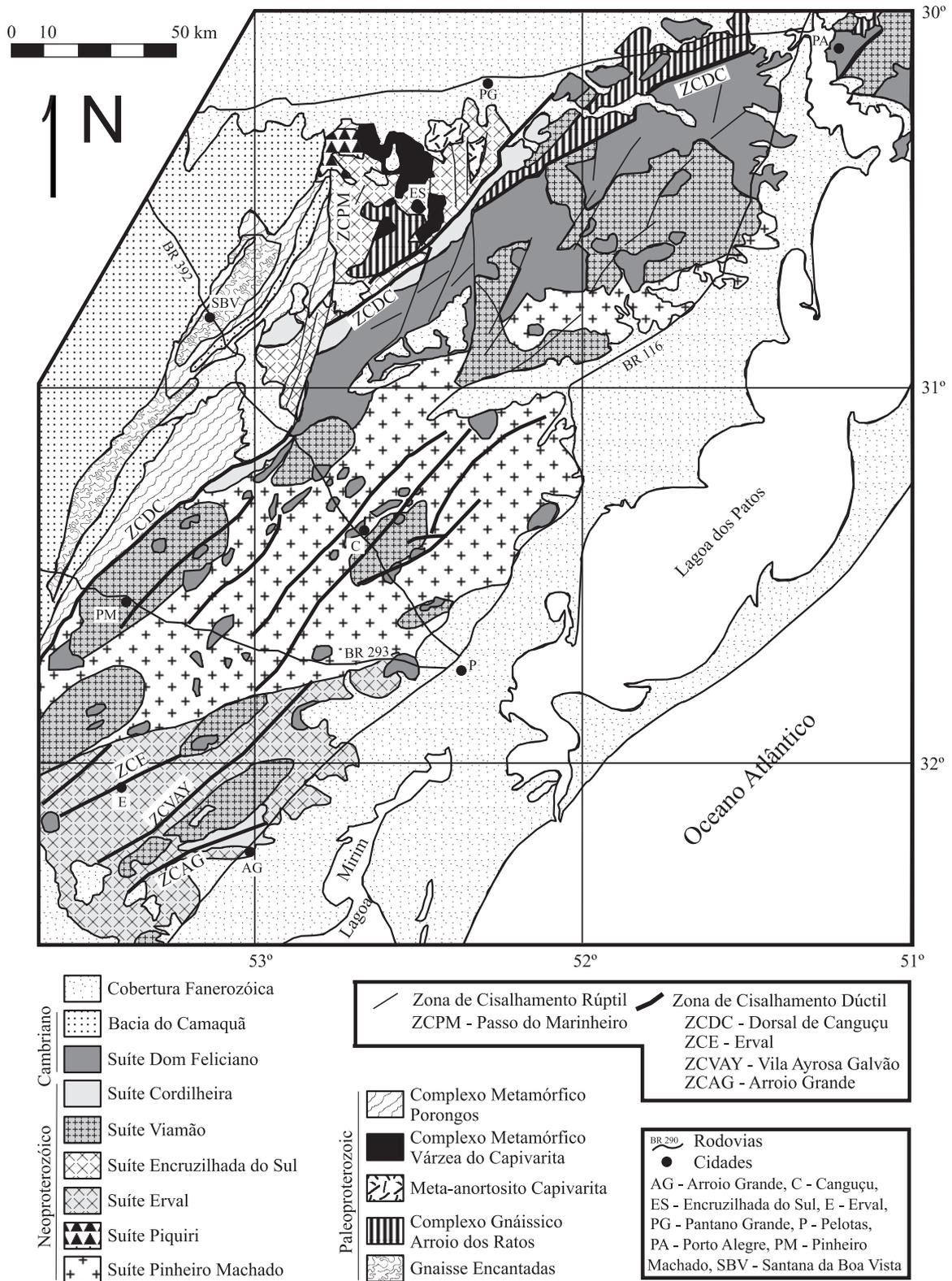


Figura 2. Mapa geológico do Batólito Pelotas com a distribuição das suítes graníticas e principais zonas de cisalhamento de alto ângulo. Modificado de Philipp *et al.* (2002a).

A primeira suíte possui caráter metaluminoso a fracamente peraluminoso e a última, peraluminoso. Os granitos da SES são alcalinos e metaluminosos. Na SDF predomina composição cálcio-alcalina alto-K, com elevado grau de diferenciação. São registradas também nesta suíte manifestações com tendência alcalina supersaturada metaluminosa e peralcalina, representadas por enxames de diques riolíticos e pelo Granito Bela Vista (Philipp *et al.*, 1991). Estes enxames de diques ocorrem principalmente nas regiões de Porto Alegre, Mariana Pimentel, Piratini e Pinheiro Machado, e estão associados a diques básicos, com os quais apresentam relações de misturas de magmas (Philipp & Viero, 1995).

Este trabalho apresenta uma síntese e reavaliação dos dados geocronológicos disponíveis para as suítes graníticas do Batólito Pelotas e septos do embasamento. Estes dados foram obtidos pelos métodos geocronológicos K-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd (T_{DM}), Pb-Pb evaporação (TIMS, em zircão), U-Pb (SHRIMP e evaporação, em zircões), Ar-Ar (micas) e, recentemente, Th-U-Pb total por EPMA (monazita). Além disso, são discutidos novos dados Ar/Ar, Rb-Sr e Sm-Nd obtidos por um dos autores em sua tese de doutoramento (Philipp, 1998). Os dados Ar/Ar (3 amostras) são oriundos de zonas de cisalhamento de alto e baixo ângulo que afetam rochas graníticas do batólito, enquanto os dados Rb/Sr (26 amostras) e Sm/Nd (26 amostras) são provenientes das Suítes Pinheiro Machado (10), Viamão (6), Encruzilhada do Sul (2) e Dom Feliciano (8) (Tabela 2). Nesta tabela constam os dados Rb-Sr e Sm-Nd disponíveis na literatura. A análise desses dados mostra importante participação de fontes crustais na geração das diferentes suítes graníticas que compõem o batólito.

ARCABOUÇO DO BATÓLITO

Nas suítes graníticas que compõem o Batólito Pelotas são reconhecidos três grupos principais de estruturas - magmáticas e tectônicas associadas -, um grupo mais antigo, de baixo ângulo, desenvolvido em condições de deformação dúctil, e dois grupos mais novos, de alto ângulo; um desenvolvido em condições de deformação dúctil e, outro, em condições de deformação rúptil. Estas estruturas têm sido descritas na literatura como associadas a zonas de cisalhamento, sendo relacionadas respectivamente aos eventos deformacionais D_1 , D_2 e D_3 (Philipp, 1990; Gomes, 1990; Mesquita, 1991; Fragozo Cesar, 1991; Fernandes *et al.*, 1990 e 1992; Philipp *et al.*, 1993; Philipp, 1998).

As estruturas D_1 possuem orientação geral $N45 - 60^\circ E$ com mergulhos quase sempre baixos para NW a NNW. São caracterizadas por uma foliação de fluxo magmático realçada pela presença de enclaves, xenólitos e *schlierens* de

biotita, juntamente com a orientação de agregados de cristais de feldspatos e biotita. São descritas também zonas de cisalhamento dúcteis de baixo ângulo contemporâneas contendo lineação de estiramento mineral marcada por cristais de biotita com caimento baixo para NE e ENE. Os indicadores cinemáticos destas zonas (pares de foliações S-C, enclaves microgranulares assimétricos) sugerem movimentos de topo para leste (Philipp e Machado, 2001).

As estruturas D_2 e D_3 são invariavelmente de alto ângulo e diferem entre si sobretudo pelo nível crustal em que foram desenvolvidas. As estruturas D_2 foram geradas em condições dúcteis (> 10 a 12 km), enquanto as D_3 , em condições rúpteis (< 8 a 10 km). As estruturas D_2 possuem orientação $N60 - 80^\circ E$, com os indicadores cinemáticos (pares de foliações S-C, porfiroclastos assimétricos e bandas de cisalhamento discretas) sugerindo em ambos os casos movimentação essencialmente sinistral. Zonas de cisalhamento dúcteis destrais com orientação $N80^\circ E$ são também descritas na porção leste do batólito, nas regiões de Erval e Ayrosa Galvão (Machado *et al.*, 1995).

As estruturas D_2 controlam a colocação de maciços graníticos das Suítes Viamão e Cordilheira, sendo comum o desenvolvimento de estruturas magmáticas e tectônicas subparalelas aos seus contatos (Gomes, 1990; Philipp, 1990; Philipp *et al.*, 1993; Fernandes *et al.*, 1990, 1995; Koester, 1995).

As estruturas D_3 são caracterizadas por zonas de cisalhamento rúpteis métricas a decamétricas orientadas segundo duas direções principais: uma $N10 - 20^\circ E$ e outra $N50^\circ - 65^\circ E$. São estruturas que deslocam as estruturas anteriores e são acompanhadas pelo desenvolvimento de rochas miloníticas de baixa temperatura. Muitas dessas estruturas reativam as estruturas D_2 . Os indicadores cinemáticos observados nestas zonas (bandas de cisalhamento discretas e estrias de atrito) sugerem movimentação direcional sinistral. Estas zonas parecem responder também pelo controle de posicionamento dos granitos da SDF e dos diques ácidos e básicos relacionados aos Riolitos Asprezas.

SUÍTES GRANÍTICAS DO BATÓLITO PELOTAS

A Tabela 1 resume as principais feições petrográficas e geológicas das suítes graníticas do Batólito Pelotas. Nota-se a partir dessa tabela que apenas as Suítes Pinheiro Machado (SPM) e Piquiri (SP) possuem composições muito diferentes das demais: a primeira, dominando composição granodiorítica a monzogranítica, com tonalítica, diorítica e quartzo-diorítica subordinada, e a última, sendo essencialmente sienítica.

Tabela 1. Resumo das principais feições geológicas das suítes graníticas do Batólito Pelotas.

Suítes	Composição	Minerais Essenciais	Minerais Acessórios	Textura/Estrutura	Caráter Tectônico	Observações
Pinheiro Machado (SPM)	Grano/monzo (tona/dior/ φ -dior)	Plag >Qzo > FK > Biot	zir, ala, apa tit e mag	equi (ineq), hipi orient, méd/gros	Sin-D ₁	enclaves microgr máficos; misturas de magmas; xenólitos:gn, gr, anfib e calc
Cordilheira (SC)	Monzo/grano	FK*Plag >Qzo> Mus >Biot	tur, gra, mon zir e opa	equi (ineq), hipi méd/gros, fol	Sintect e Sin-D ₂	flx mag horiz e tect vert; xenólitos de gn e gr
Encruzilhada do Sul (SES)	Monzo/sieno (grano/dior)	FK, Plag, Qzo Biot (anf)	anf, zir, apa ala, opa	hete, gros, porf e equi e ineq, fol.	Sin a tardi-D ₂ ?	enclaves microgr máficos e hibridização; xenólitos: gn, calc, márm; peg c/ W e Be
Dom Feliciano (SDF)	Sieno/álcali-feld (Qzo sienito)	FK > Qzo > Plag > Biot (Anf,Cpx)	ala, zir, tit, apa, opa (flu, mol e gal)	Equi, hipi, gros	Tardi-D ₂	enclaves microgr e micáceo raros; piroclásticas, riolitos e básicas; greisen c/ Sn
Viamão (SV)	Monzo (grano/sieno)	FK = Plag > Qzo >Biot	ala, zir, tit, apa opa	porf/hete, gros ineq, flx mag	Sin a tardi-D ₂	enclaves microgr dior (cm/m); schlieren de biot e mistura de magma
Erval (SE)	Monzo (sieno)	Plag, FK, Qzo e Biot	zir, apa, opa	equi, hipi, méd/gros flx mag	Pré-D ₂ ?	xenólitos:mármore,anfib, gn e SPM
Piquiri (SP)	Sienito (Qzo Sienito)	FK, Anf e Px	zir, apa, opa	equi,hipi, méd/gros, flx mag	Pré-D ₂ ?	Dioritos associados

Abreviações utilizadas: *Minerais:* **anf** - anfibólio; **ala** - allanita; **apat** - apatita; **Cpx** - clinopiroxênio; **Biot** - biotita; **FK** - feldspato de potássio; **flu** - fluorita, **gra** - granada; **mag** - magnetita; **mol** - molibdenita; **mon** - monazita; **mus** - muscovita; **opa** - opacos; **Px** - piroxênio, **Plag** - plagioclásio; **Qzo** - quartzo; **tit** - titanita; **tur** - turmalina; **zir** - zircão. *Textura/Estrutura:* **equi** - equigranular; **fol** - foliada; **flx mag** - fluxo magmático; **gros** - grossa; **hete** - heterogranular; **hipi** - hipidiomórfica; **ineq** - inequigranular; **méd** - média; **orient** - orientada. *Composição:* **álcali-feld** - álcali-feldspato granítica; **grano** - granodiorítica; **monzo** - monzogranítica; **dior** - diorítica; **φ -dior** - quartzo-diorito, **sieni** - sienito; **sieno** - sienogranítica; **ton** - tonalítica. *Caráter Tectônico/Observações:* **anfib** - anfíbolitos; **calc** - calcossilicática; **gn** - gnaiss; **gr** - granito; **horiz** - horizontal, **márm** - mármore; **microgr** - microgranular; **peg** - pegmatito; **sintect** - sintectônico; **tardi tect** - tectônica; **vert** - vertical.

Na estratigrafia do batólito, a SPM é considerada como a mais antiga. O principal argumento para isso é a presença de uma foliação de baixo ângulo, atribuída ao evento deformacional D₁, que não tem sido registrada nas demais suítes do batólito. Corresponde a suíte mais expressiva de todas e perfaz cerca de 30% de sua área. Trata-se da única suíte de composição expandida, havendo o predomínio de granodioritos e monzogranitos, com tonalitos, dioritos e quartzo-dioritos subordinados. São comuns evidências de misturas de magmas, assim como presença de enclaves microgranulares dioríticos, centimétricos, arredondados a subarredondados, em contatos quase sempre curvos e lobados com a rocha hospedeira. Ocorrem ainda xenólitos de gnaisses graníticos e granitóides com texturas miloníticas, rochas calci-silicáticas, anfíbolitos e paragnaisses.

As Suítes Erval (SE) e Dom Feliciano (SDF) e, embora de composição muito semelhante ao das suítes anteriores, mostram-se relativamente mais evoluídas. Predomina textura equigranular hipidiomórfica grossa e média/grossa. Na SE são mais frequentes xenólitos das suítes anteriores (SPM, SC e SV), e mostra-se intrudida pela SV (Granito Chasqueiro), Cordilheira (SC) e SDF.

A SC, de composição monzo a granodiorítica, caracteriza-se por leucogranitos peraluminosos a duas micas, com presença freqüente de granada e turmalina. Predomina textura equigranular hipidiomórfica média a grossa. São comuns xenólitos de ortognaisses (Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos) e mármore. São descritos dois tipos de foliações: uma foliação subhorizontal, magmática, definida pela orientação de moscovita primária e biotita, e outra foliação subvertical, de origem tectônica, presente em regiões de alta deformação, como nas bordas dos corpos (Fernandes *et al.*, 1990). Trata-se de uma suíte descrita como sintectônica à Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu (Picada, 1971; Nardi & Frantz, 1995), e que corresponde às estruturas sin-D₂ do batólito. São englobados nesta suíte os granitos Cordilheira, Figueiras, Arroio Francisquinho e Três Figueiras.

As Suítes Encruzilhada do Sul (SES) e Viamão (SV) possuem composição dominante monzogranítica a sienogranítica, com sienítica e granodiorítica subordinada. Associam-se a estas suítes enclaves microgranulares máficos, dioríticos a quartzo-dioríticos, e feições evidentes de misturas de magmas. Estes enclaves são muitos abun-

dantes na SES e resultam na formação de zonas híbridas, com intensa interação de magmas ácidos e básicos destas zonas (Bitencourt *et al.*, 1993; Vasquez, 1997). Na SV, eles desenvolvem contato gradacional com os granitos e formam zonas híbridas métricas (UFRGS, 1995; Philipp, 1998). Esta suíte contém ainda xenólitos de rochas de alto grau (Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos) e *schlierens* de biotita, enquanto a SES contém xenólitos diversos (gnaisses pelíticos, granitos, calciossilicáticas, mármore e ortognaisses). A textura é heterogranular a porfírica grossa, com estrutura de fluxo magmática bastante pronunciada. A colocação de ambas as suítes é considerada sin- a tardi-D₂. São encontrados xenólitos métricos de metagranitóides e ortognaisses com evidências de assimilação.

Na Suíte Piquiri (Philipp *et al.*, 2002a) predominam sienitos com quartzo-sienitos subordinados, ocorrendo ainda álcali-feldspato-quartzo-sienitos, álcali-feldspato-sienitos, quartzo-monzonitos e monzogranitos (Stabel *et al.*, 2002). Os sienitos são de textura equigranular hipidiomórfica média a grossa, com estrutura de fluxo magmática muito pronunciada, definida pela orientação dimensional de cristais de feldspato potássico com minerais máficos e alongamento de enclaves microgranulares máficos (Jost *et al.*, 1985). Estes enclaves foram caracterizados como de natureza lamprofírica e de desenvolvimento simultâneo com os sienitos (Plá Cid *et al.*, 2002). Na Suíte Dom Feliciano predo-

mina sieno a monzo e álcali-feldspato granitos, com corpos mapeáveis de dioritos (Diorito Capim, Wildner *et al.*, 1994) e raros quartzo-sienitos e sienitos na SDF. Diques de riolitos e básicos, juntamente com rochas tufáceas e piroclásticas encontrados nas regiões do batólito (Porto Alegre, Mariana Pimentel, Canguçu, Piratini e Pinheiro Machado), têm sido vinculados geneticamente a SDF (Fragoso Cesar *et al.*, 1986; Philipp, 1998; Philipp *et al.*, 1995). O Granito Bela Vista, caracterizado por pertita-granitos, pertita-quartzo sienitos e pertita sienitos, tem sido também englobado nesta suíte (Philipp *et al.*, 1991; Philipp, 1998). Na SDF, associam-se ainda raros pegmatitos, *greisens* mineralizados em cassiterita e veios de quartzo com sulfetos (galena).

DADOS GEOCRONOLÓGICOS DISPONÍVEIS SOBRE O BATÓLITO PELOTAS

Idades

A Figura 3 resume as metodologias e idades geocronológicas disponíveis para as suítes graníticas do Batólito Pelotas e septos do embasamento.

Os dados isocrônicos Rb-Sr existentes sobre a SPM mostram os seguintes padrões de idades: 750 Ma (Teixeira, 1982),

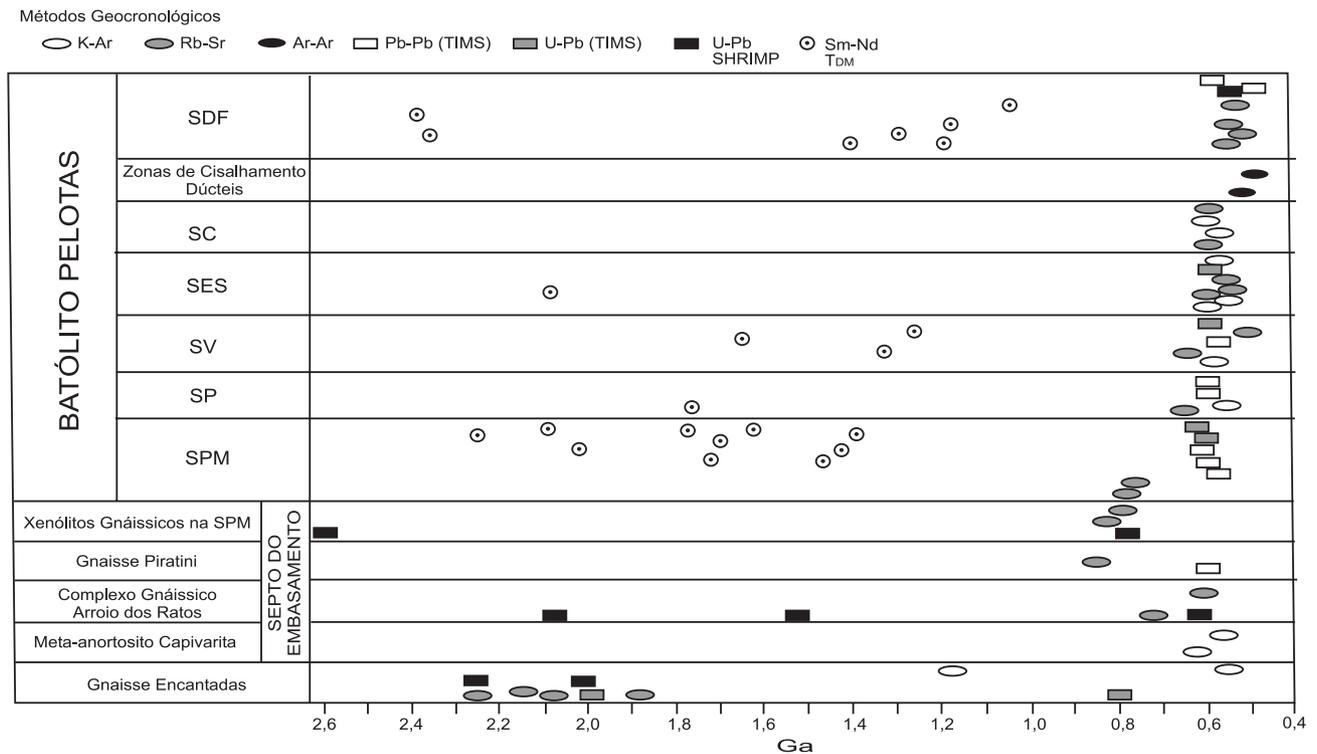


Figura 3. Dados geocronológicos disponíveis para as suítes graníticas do Batólito Pelotas e septos do embasamento.

775 ± 36 Ma (Soliani Jr., 1986), 572 ± 54 Ma (May, 1990) e 800 ± 32 Ma (Frantz e Botelho, 1997); os xenólitos (gnáissicos e migmatíticos) do batólito apresentam idades isocrônicas Rb/Sr entre 830 a 800 Ma (Soliani Jr., 1986). Datações U-Pb (em zircão, por evaporação) em granitos desta suíte forneceram idades de 623 ± 2 Ma, 616 ± 2 Ma e 610 ± 5 Ma (Babinski *et al.*, 1997), e 609 ± 15 Ma (SHRIMP, em zircão - Silva *et al.*, 1999). A idade Pb-Pb (em zircão, por evaporação) de 625 ± 4 Ma obtida por Philipp *et al.* (2002a) é similar às idades anteriores obtidas pelo método U-Pb. As idades Rb-Sr mais antigas existentes sobre o batólito são, aparentemente, desprovidas de significado geológico.

O Sienito Piquiri apresenta idades K-Ar de 580 ± 25 Ma (Cordani *et al.*, 1974) e Rb-Sr isocrônica de 615 ± 99 Ma (Soliani Jr., 1986). Recentemente, foram obtidas idades Pb-Pb (TIMS, em zircão) de 611 ± 3 Ma, para o Sienito Piquiri, e de 612 ± 3 Ma, para o Sienito Arroio do Silva (Philipp *et al.*, 2002a).

A SV (Metagranito Quitéria) apresenta idade isocrônica Rb-Sr de 672 ± 22 Ma e K-Ar de 597 ± 11 Ma (Koester *et al.*, 1997). Uma idade U-Pb (TIMS, em zircão) de 595 ± 1 Ma, obtida para o Granito Arroio Moinho, foi interpretada como a idade de cristalização do mesmo (Babinski *et al.*, 1997). Koester *et al.* (2001) apresentaram uma idade U-Pb (TIMS) de 631 ± 6 Ma para o Metagranito Quitéria. Este granito foi incluído por Philipp (1998) na SV, em função de semelhanças composicionais e estruturais com outros granitos da suíte. Recentemente, foi obtida para o Granito Chasqueiro uma idade Pb-Pb (TIMS, em zircão) de 575 ± 8 Ma (Philipp *et al.*, 2002a).

Na SES foram obtidas idades K-Ar de 533 ± 39 Ma e 598 ± 18 Ma (Vasquez, 1997). São também disponíveis idades isocrônica Rb-Sr de 559 ± 5 Ma e 560 ± 12 Ma (Soliani Jr., 1986) e 581 ± 17 Ma (Vasquez, 1997), e uma idade U-Pb (TIMS, em zircão) de 594 ± 5 Ma (Babinski *et al.*, 1997).

Os granitos da SC da região de Quitéria apresentam idades K-Ar de 578 ± 32 Ma (biotita) e 624 ± 41 Ma (muscovita) (Metagranito Cordilheira), 586 ± 11 Ma (muscovita) (Metagranito Arroio Francisquinho) e 597 ± 11 (biotita) (Metagranito Quitéria), bem como idades isocrônicas Rb-Sr, respectivamente, de 617 ± 48 Ma, 629 ± 23 Ma e 672 ± 22 Ma (Koester *et al.*, 1997). A proveniência das amostras de afloramentos espacialmente distintos, a limitada dispersão dos seus pontos nas isócronas e o elevado valor de MSWD (> 5, nos dois últimos) tornam tais idades Rb/Sr apenas como valores de referência. Idade U-Th-Pb (EPMA, em monazita) de 558 ± 57 Ma foi obtida para o Granito Três Figueiras (Ticky *et al.*, 2003).

Os dados isocrônicos Rb-Sr da SDF mostram idades de 572 ± 10 Ma (Cordani *et al.*, 1974), 550 Ma (Teixeira, 1982),

547 ± 17 Ma (granitos e pegmatitos da cidade de Cristal) e 544 ± 5 Ma (Granito Arroio dos Ladrões - Soliani Jr., 1986), ou ainda 550 ± 6 Ma, para os corpos graníticos de Cristal e Dom Feliciano (Fragoso Cesar, 1991) e 560 ± 12 Ma, para os riolitos da Serra das Asperezas (Soliani Jr., 1986). Recentemente, foi obtida idade U-Pb (SHRIMP, em zircão) de 600 ± 10 Ma no Granito Santana (Koester *et al.*, 2001) e Pb-Pb (TIMS, em zircão) de 583 ± 3 Ma para o Granito Capão do Leão (Philipp *et al.*, 2002a).

Razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

As amostras representativas da SPM possuem razões iniciais ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) entre 0,7060 e 0,726 em parte, similares aos valores encontrados para rochas da SP (Sienito Piquiri, 0,706 - Soliani Jr., 1986). Uma amostra da SV (Metagranito Quitéria) apresenta razão inicial de 0,709 (Koester *et al.*, 1997). A SES apresenta valores entre 0,711 a 0,731 (Soliani Jr., 1986; Vasquez, 1997), com as amostras representativas da SC apresentando razões bem mais elevadas, entre 0,7324 a 0,7406 (Koester *et al.*, 1997). Os granitóides da SDF exibem valores entre 0,7083 e 0,762 (Soliani Jr., 1986; Cordani *et al.*, 1974; May, 1990; Fragoso Cesar, 1991).

De um modo geral, as suítes graníticas do Batólito Pelotas apresentam valores de razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ elevados, que são compatíveis com magmatismo gerado a partir da fusão de materiais crustais pré-existentes (Figura 4).

Idades modelo Sm-Nd e valores de ϵ_{Nd}

Estudos isotópicos Sm-Nd, desenvolvidos por May (1990), Babinski *et al.* (1997) e Philipp (1998), indicaram para a SPM idades modelo (T_{DM}) entre 1410 e 2090 Ma, com valores situados entre 1500 e 1600 Ma. Os valores de ϵ_{Nd} , calculados para 620 Ma, mostram variação entre -4,39 e -9,82. Os dados isotópicos Sm-Nd da SV (Granito Arroio Moinho) forneceram idades modelo entre 1040 e 1680 Ma, com valores de $\epsilon_{\text{Nd}(595)}$ negativos (entre -4,53 e -7,19) (May, 1990 e Babinski *et al.*, 1997). Na SES (Granito Encruzilhada), foram obtidas idades modelo entre 1750 e 2080 Ma, com valores de $\epsilon_{\text{Nd}(595)}$ negativos (entre -11 a -15) (Babinski *et al.*, 1997). Estes mesmos autores obtiveram para a SDF idades modelo entre 890 e 1470 Ma, com valores de $\epsilon_{\text{Nd}(595)}$ negativos, entre -3,31 e -6,34 (Tabela 2 e Figura 5).

As idades modelo (T_{DM}) existentes para o Batólito Pelotas distribuem-se principalmente no intervalo de 1200 a 2200 Ma. Estes valores de T_{DM} apresentam uma boa correlação com as idades disponíveis para os septos do embasamento e rochas metamórficas situadas a oeste do

batólito (principalmente entre 1900 e 2300 Ma) (Tabela 2 e Figura 3). As razões iniciais de Sr ($> 0,706$) acopladas com idades modelo Sm-Nd (T_{DM^2} entre 1300 e 2100) e valores de $\epsilon_{Nd(595)}$ fortemente negativos (entre -5 e -15) sugerem um período relativamente longo de residência crustal para os protólitos que deram origem a estes granitóides, caracterizando assim sua formação principalmente a partir de fontes crustais.

IDADE DAS ZONAS DE CISALHAMENTO DÚCTEIS DO BATÓLITO

A maioria das idades relacionadas à movimentação das zonas de cisalhamento dúcteis tem sido obtida indiretamente a partir da datação de maciços graníticos sincrônicos às mesmas. Os granitos da SC e SV são considerados como sin- a tardi-cinemáticos às zonas de cisalhamento de alto ângulo, com idades U/Pb (TIMS, em zircão) situadas entre 630 e 595 Ma.

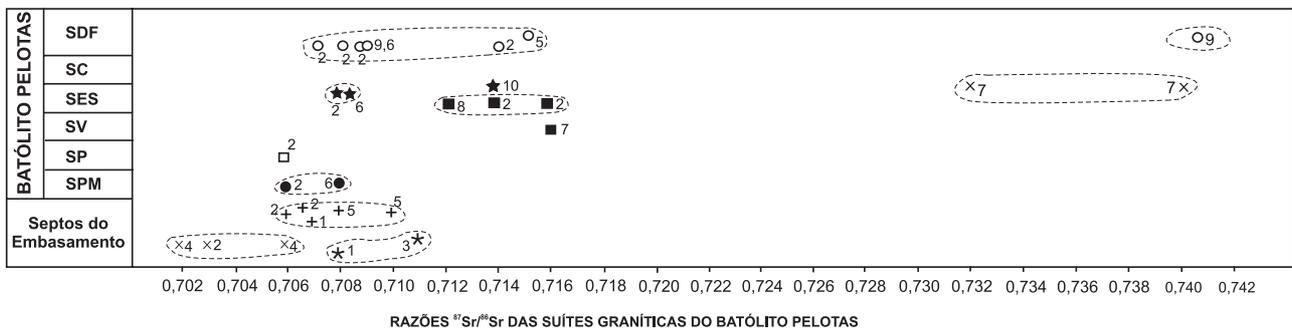
As rochas miloníticas possuem uma idade isocrônica Rb-Sr de 508 ± 7 Ma (May 1990) e idades ^{39}Ar - ^{40}Ar (três idades, em biotita) entre 535 e 537 Ma (Philipp 1998). Duas dessas análises foram obtidas em rochas oriundas de zonas de cisalhamento de alto ângulo das regiões de Canguçu

(SV, Granito Arroio Moinho) e Erval (SPM), e uma delas a partir de rochas de uma zona de cisalhamento de médio ângulo da região de Pinheiro Machado (SPM). Foram obtidas as seguintes idades (em biotita):

a. $535 \pm 2,7$ Ma (SPM, região de Pinheiro Machado) e $536,9 \pm 2,3$ Ma (SPM, região de Erval) (Figura 6);

b. $531 \pm 2,4$ Ma (SV, região de Canguçu). A coerência entre as idades obtidas sugere para estas zonas de cisalhamento um desenvolvimento simultâneo associado ao mesmo evento deformacional.

Apesar do número reduzido de determinações Ar/Ar aqui apresentado, os três grupos de estruturas tectônicas propostos para o domínio do Batólito Pelotas não são referenciados por essas idades. Os dados Ar/Ar aqui obtidos sugerem uma certa contemporaneidade ou um intervalo de tempo relativamente curto entre as zonas de cisalhamento de baixo e de alto ângulo do batólito. Várias questões decorrem desta proposição, pois os modelos de evolução tectônica disponíveis na literatura para o batólito estão fundamentados num quadro de deformações superpostas e sequenciais, de idades supostamente distintas. A geração de novos dados Ar/Ar é indispensável tanto para avaliar de forma mais efetiva os dados aqui obtidos, quanto para



Suítes: ○ - Dom Feliciano (SDF); ✕ - Cordilheira (SC); ★ - Encruzilhada do Sul (SES); □ - Piquiri (SP); - Viamão (SV); ● - Pinheiro Machado (SPM).

Septos do Embasamento: + - Xenólitos de ortognaisses; ✕ - Gnaiss Encantadas; ★ - Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos.

Fontes: 1 - Fragoso Cesar et al. (1986), 2 - Soliani Jr. (1986), 3 - Tommasi (1991), 4 - Porcher (1992), 5 - May (1990), 6 - Cordani et al. (1974), 7 - Koester (1995), 8 - Vasquez (1997), 9 - Fragoso Cesar (1991), 10 - Teixeira (1982).

Figura 4. Comparação entre as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das suítes graníticas do Batólito Pelotas e septos do embasamento. **SPM** - Suíte Pinheiro Machado; **SP** - Suíte Piquiri; **SV** - Suíte Viamão; **SES** - Suíte Encruzilhada do Sul; **SC** - Suíte Cordilheira; **SDF** - Suíte Dom Feliciano. Fontes: May (1990); Babinski et al. (1997); Philipp (1998).

Tabela 2. Dados isotópicos Sm-Nd e Rb-Sr disponíveis para as suítes graníticas do Batólito Pelotas. Fontes: May (1990); Babinski *et al.* (1997); Philipp (1998), recalculados por Philipp (1998).

	Idade / Ma	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _i	ε _{Sr}	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	ε _{Nd} (0)	ε _{Nd} (t)	TDM
SPM										
RSSM3A	620	0,713	0,562	0,708	66,2	0,512	0,119	-14,40	-8,26	1,73
RSSM3B1	620	0,718	0,979	0,709	72,7	0,512	0,108	-14,14	-7,13	1,63
RSSMA5A	620	0,718	1,271	0,707	40,3	0,512	0,115	-10,85	-4,39	1,48
RSMA6B	620	0,723	1,751	0,708	56,9	0,512	0,115	-12,64	-6,18	1,62
RSM21	620	0,721	1,144	0,711	104,2	0,512	0,111	-13,11	-6,33	1,6
RSMC54	620	0,722	1,580	0,708	62,3	0,512	0,115	-11,33	-4,87	1,52
RSSM7	620	0,726	2,087	0,708	54,9	0,512	0,102	-14,26	-6,77	1,55
RS-7A*	620	0,756	3,136	0,728	342,2	0,512	0,122	-15,74	-9,82	2,01
RS-9A	620	0,762	4,015	0,726	322,1	0,512	0,131	-14,12	-8,97	2,09
RS-9B	620	0,712	0,502	0,708	56,6	0,512	0,085	-15,31	-6,46	1,41
SV										
RSM4A	595	0,722	1,757	0,707	51,7	0,512	0,087	-12,86	-4,53	1,28
RSM6A	595	0,715	0,918	0,707	52,5	0,512	0,109	-13,50	-6,85	1,59
RSMA16C (s)	595	0,716	1,049	0,708	53,5	0,512	0,115	-13,38	-7,19	1,68
RSM3D	595	0,721	1,030	0,712	117,3	0,512	0,054	-17,97	-7,13	1,27
RSMC62B	595	0,735	3,122	0,709	73,9	0,512	0,115	-5,13	1,08	1,04
RS-13-II	595	0,738	3,515	0,708	66,6	0,512	0,092	-12,54	-4,61	1,31
SES										
RS- 2	595	0,710	0,431	0,706	37,0	0,512	0,095	-18,73	-11,01	1,75
RS-4	595	0,731	2,590	0,709	78,5	0,511	0,097	-23,19	-15,61	2,08
SDF										
RSM16B	570	1,017	37,090	0,716	166,8	0,512	0,129	-4,86	0,07	1,18
RSM23C	570	0,709	0,620	0,704	0,8	0,512	0,118	-2,95	2,79	0,89
RSMA16BI	570	0,730	1,868	0,715	157,4	0,512	0,114	-10,90	-4,89	1,47
RSM11A	570	0,720	1,504	0,708	55,6	0,512	0,115	-9,69	-3,76	1,39
RSM11C	570	0,762	6,973	0,705	16,9	0,512	0,088	-11,22	-3,31	1,19
RSM 11F	570	0,755	6,185	0,705	17,9	0,512	0,091	-12,39	-4,70	1,22
RS-7C	570	0,755	5,859	0,707	50,9	0,512	0,091	-11,65	-3,96	1,24
RS-12	570	0,717	1,046	0,708	61,8	0,512	0,088	-14,28	-6,34	1,37

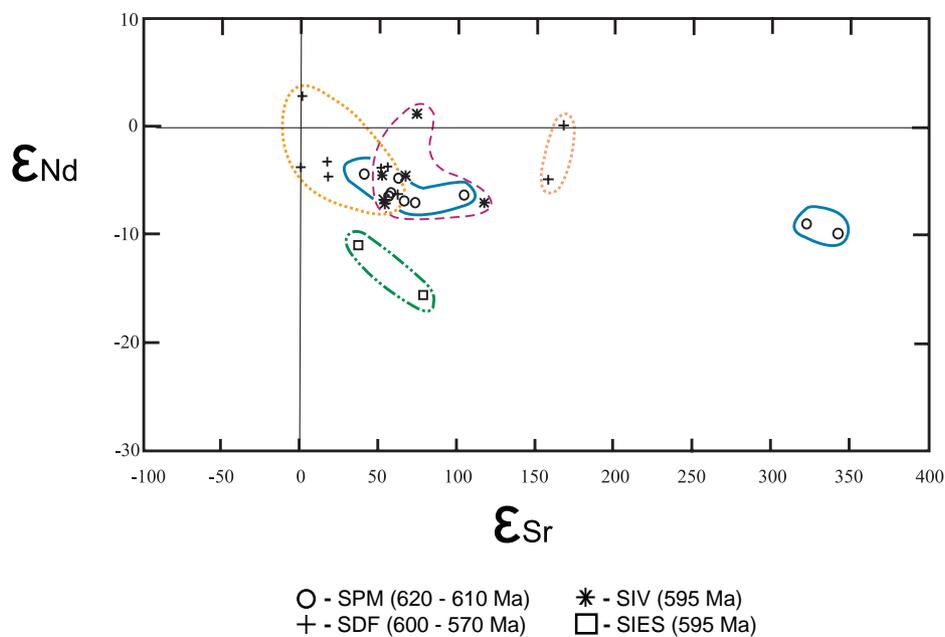


Figura 5. Diagrama ε_{Nd} versus ε_{Sr} dos dados isotópicos disponíveis para as suítes graníticas do Batólito Pelotas. Fontes: May (1990); Babinski *et al.* (1997); Philipp (1998).

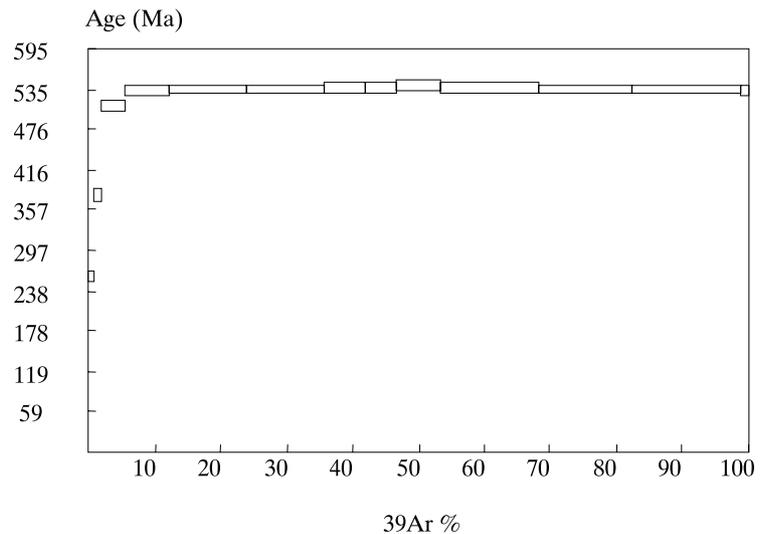
reavaliar o modelo atualmente aceito de que as zonas de cisalhamento de baixo ângulo são mais antigas do que as de alto ângulo.

Neste sentido, um modelo que compatibiliza estruturas de baixo e alto ângulo no mesmo evento deformacional é o modelo de uma estrutura-em-flor positiva, onde a movimentação direcional em estruturas de alto ângulo na sua parte central é acompanhada por movimentação inversa ou de empurrão nas bordas da mesma. O desenvolvimento simultâneo dos dois tipos de estruturas pode ser explicado pela partição cinemática da deformação. Alguns autores consideram que esta partição da deformação já é controlada precocemente durante a subducção da litosfera oceânica, enquanto outros admitem que ela possa surgir em um dado momento de evolução do orógeno, em resposta às anisotropias existentes no mesmo.

As idades Ar/Ar aqui obtidas refletem épocas relacionadas ao resfriamento dessas estruturas a temperaturas inferiores a 250° e 300° C (biotitas) e se mostram sensivelmente mais jovens do que as idades U/Pb e Rb/Sr relacionadas à formação das rochas graníticas, consideradas sincrônicas às zonas de cisalhamento do Batólito Pelotas. A exceção é a idade Rb-Sr de 508 ± 7 Ma, referida por May (1990) para rochas miloníticas de uma zona de cisalhamento de alto ângulo da região de Canguçu.

As zonas de cisalhamento de baixo ângulo da SPM foram descritas como subparalelas às estruturas magmáticas desta suíte, diferenciando-se por um lado por representar zonas estreitas de mais alta deformação e, por outro, por corresponder ao local onde o bandamento apresenta um desenvolvimento mais regular e contínuo (Philipp, 1990). Estas regiões, mais deformadas, são descritas como marcadas por uma foliação penetrativa com passagem para regiões com bandamento irregular, onde são preservadas estruturas magmáticas primárias nos granitóides (Philipp, 1998). Estas descrições conduzem o leitor a considerar uma certa contemporaneidade entre as estruturas magmáticas e tectônicas dos granitóides relacionados a SPM, ou seja, entre sua colocação e o desenvolvimento das zonas de cisalhamento de baixo ângulo. Esta suposição é incompatível com as idades U/Pb em zircões de 616 ± 2 Ma, 610 ± 5 Ma e 625 ± 4 Ma, obtidas a partir de rochas desta suíte, e que são consideradas como idades de cristalização das mesmas

A



B

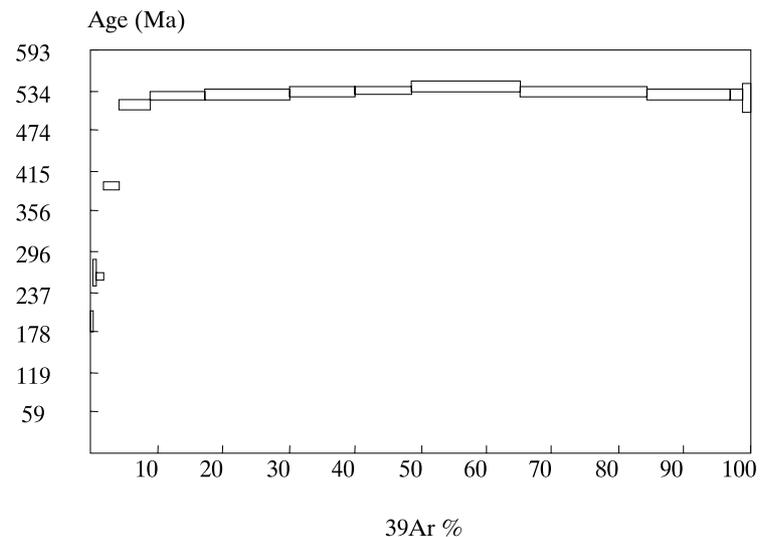


Figura 6. Patamares de Ar-Ar para amostras de rochas miloníticas associadas a zonas de cisalhamento dúcteis de alto e médio ângulo no Batólito Pelotas (Philipp, 1998). **A** - SPM (Ervat); **B** - SPM (Pinheiro Machado).

(Babinski *et al.*, 1997; Silva *et al.*, 1999; Philipp *et al.*, 2002a). O tempo relativamente longo entre a formação das rochas graníticas e o resfriamento regional das estruturas (~70 Ma) sugerem que as zonas de cisalhamento de baixo ângulo da SPM tenham se desenvolvido em condições de deformação no estado sólido e numa época bem posterior à geração das estruturas de fluxo magmático desta suíte.

Do acima exposto, conclui-se que as zonas de cisalhamento dúcteis tiveram um amplo período de movimentação durante o Neoproterozóico, inicialmente entre 630 e 595 Ma, sendo reativadas até Cambriano, entre 540 - 530 Ma.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Dentre as suítes do Batólito Pelotas, a SPM é a que apresenta as razões isotópicas iniciais ($^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$) mais baixas (entre 0,706 e 0,709), enquanto a SC também exibe valores elevados (entre 0,732 e 0,740). As demais suítes possuem valores no intervalo de 0,710 e 0,762. Estas razões, juntamente com os valores de ϵ_{Nd} muito negativos (entre -3,31 a -15) (Tabela 2 e Figura 5) e as idades modelo Sm/Nd entre 1200 e 2200 Ma apontam para um modelo, no Neoproterozóico, com predominância de reciclagem de crosta continental e adição restrita de material juvenil (Tabela 2 e Figura 4). Este modelo de reciclagem crustal também poderia ser aplicado para a SPM. Contudo, a presença de magmatismo máfico associado à mesma e às demais suítes do Batólito Pelotas, na forma de enclaves microgranulares e de corpos dioríticos a gabróicos mapeáveis, com feições de misturas de magmas (homogênea e heterogênea) bem preservadas, é fortemente sugestiva de contribuição mantélica (Philipp, 1990; Bitencourt e Nardi, 1993 e 2000; UFRGS, 1995).

A boa correlação de idades modelo Sm-Nd T_{DM} entre as suítes graníticas do Batólito Pelotas (entre 1600 e 2100 Ma) com as rochas metamórficas da sua porção ocidental (entre de 1900 e 2300 Ma) sugere, para a geração do magmatismo do batólito, a fusão no Neoproterozóico de protólitos de idade paleoproterozóica (Ciclo Transamazônico) (May, 1990; Babinski *et al.*, 1997; Philipp, 1998; Silva *et al.*, 1999; Hartmann *et al.*, 2000; Philipp *et al.*, 2001 e 2002a). Por outro lado, a avaliação integrada dos dados isotópicos disponíveis sobre o Batólito Pelotas, em conjunto com as evidências geoquímicas e de campo (Figueiredo *et al.*, 1990; Philipp, 1990, 1998; Gomes, 1990; Philipp *et al.*, 1993; Babinski *et al.*, 1997; Philipp *et al.*, 1998, 2001, 2002a, b, c), são mais compatíveis na sua geração à presença de fontes mistas, envolvendo porções mantélicas metassomatizadas por subducção anterior e seqüências crustais dominadas por ortognaisses. Os dados geocronológicos, obtidos por diversos métodos, mostram que a geração do magmatismo do batólito ocorreu no intervalo de 60 Ma, entre 630 e 570 Ma.

Apesar do número reduzido de dados isotópicos obtidos pela sistemática Ar/Ar em rochas miloníticas do batólito, os resultados aqui apresentados são coerentes entre si e sugerem a existência de um importante evento termo-tectônico que teria afetado as suas diferentes suítes ao redor de 540 - 530 Ma. Este evento termo-tectônico teria sido responsável pelo desenvolvimento e reativação de zonas

de cisalhamento de alto e baixo ângulo, com geração de estruturas-em-flor positivas posteriores à sua colocação. Tais zonas de cisalhamento devem ter sido nucleadas a partir de anisotropias pré-existentes no arcabouço do batólito, pois suas orientações são muito próximas da orientação das estruturas magmáticas anteriores. Estes dados sugerem, ao contrário do que tem sido descrito na literatura, que as zonas de cisalhamento de baixo ângulo da SPM, com desenvolvimento de rochas miloníticas, devem ter sido geradas ou reativadas numa época posterior ao de formação das estruturas magmáticas.

A idade isocrônica Rb/Sr de 560 ± 10 Ma relativa a rochas vulcânicas/subvulcânicas (Riolitos Asperezas) é a que mais se aproxima das idades Ar/Ar aqui obtidas, sugerindo uma possível relação entre o magmatismo final do batólito e a atividade tectônica responsável pela geração da trama milonítica gerada ao longo das zonas de cisalhamento a partir de rochas graníticas. Deste modo, as idades Ar/Ar aqui apresentadas traduzem, aparentemente, mais a idade de um evento termo-tectônico tardio à geração das suítes graníticas do batólito do que ao evento tectônico que controlou a sua colocação. Esta tectônica se articula, aparentemente, no espaço e no tempo, com a tectônica extensional relacionada com a instalação da Bacia do Camaquã, situada à oeste do batólito.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pela ajuda financeira concedida através do auxílio à pesquisa (Processo 94/5952-7), ao CNPq (Processo 300423/82-9, de R. Machado), pela concessão de uma bolsa de Produtividade em Pesquisa, e ao Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) do Instituto de Geociências da USP, pelas determinações Rb/Sr e Sm/Nd, e a dois revisores anônimos, que contribuíram para a melhoria do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BABINSKI, M.; CHEMALE JR., F.; HARTMANN, L. A.; VAN SCHMUS, W. R.; SILVA, L. C. (1995) Crescimento juvenil no bloco São Gabriel e retrabalhamento crustal no Cinturão Dom Feliciano durante o Ciclo Brasileiro: evidências isotópicas. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 6., Porto Alegre, 1995. *Anais*. Porto Alegre, SBG, p. 105-107.
- BABINSKI, M.; CHEMALE JR., F.; VAN SCHMUS, W. R.; HARTMANN, L. A.; SILVA, L. C. (1997) U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. *Journal of*

- South American Earth Sciences*, v. 10, n. 3-4, p. 263-274.
- BITENCOURT, M. F.; GASTAL, M. C. P.; KIRCHEIN, R. E.; COSTA, K. B.; TOLEDO, F. A. L. (1993) Reavaliação preliminar das relações estratigráficas do Complexo Granítico Encruzilhada (CGE), RS. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DEL NEOPROTEROZÓICO-CÁMBRICO DE LA CUENCA DEL PLATA, 1., La Paloma, 1993. *Resumenes Extensos*. La Paloma, Dinamige, v. 2, n. 34, 6p.
- BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. S. V. (1993) Late- to post-collisional Brazilian Magmatism in the Southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 65, p. 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*, v. 30, p. 184-187.
- CHEMALE JR., F. (2000) Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGOUFRGS, p. 13-52.
- CORDANI, U. G.; HALPERN, M.; BERENHOLC, M. (1974) Comentários sobre as determinações geocronológicas da folha Porto Alegre. In: *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha Porto Alegre (SH-22) e Folha Lagoa Mirim (SI-22)*. Brasília, DNPM, MME, p. 70-84.
- FERNANDES, L. A.; TOMMASI, A.; PORCHER, C. C. (1990) Esboço estrutural de parte do Batólito Pelotas, região de Quitéria-Capivarita. *Acta Geológica Leopoldensia*, v. 30, p. 117-138.
- FERNANDES, L. A.; TOMMASI, A.; PORCHER, C. C. (1992) Deformation patterns in the Southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 5, n. 1, p. 77-96.
- FERNANDES, L. A. D.; MENEGAT, R.; COSTA, A. F. U.; KOESTER, E.; PORCHER, C. C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G. E.; CAMOZZATO, E. (1995) Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I - uma contribuição a partir do registro geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, n. 4, p. 375-384.
- FIGUEIREDO, M. C. H.; FRAGOSO CESAR, A. R. S.; KRONBERG, B. L. (1990) Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. *Anais*, Natal, SBG, v. 4, p. 1623-1738.
- FRAGOSO CESAR, A. R. S. (1991) *Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul*. São Paulo, 362 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FRAGOSO CESAR, A. R. S.; FIGUEIREDO, M. C. H.; SOLIANI JR., E.; FACCINI, U. F. (1986) O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia, 1986. *Anais*. Goiânia, SBG, v. 3, p. 1322-1343.
- FRANTZ, J. C.; BOTELHO, N. F. (1997) Os granitóides neoproterozóicos do Cinturão Dom Feliciano no extremo sul do Brasil- implicações geotectônicas para a faixa leste. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 6., Pirenópolis, 1997. *Anais*. Pirenópolis, SBG-UnB, p. 45-47.
- GOMES, M. E. B. (1990) *Petrologia do Granito Arroio Moinho, Canguçu (RS): geoquímica e deformação*. Porto Alegre, 199p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HALLINAN, S. E.; MANTOVANI, M. S. M.; SHUKOWSKI, W.; BRAGGION JR., I. (1993) Estrutura do Escudo Sul-brasileiro: uma revisão através de dados gravimétricos e magnetométricos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 23, n. 3, p. 201-214.
- HARTMANN, L. A.; LEITE, J. A. D.; DA SILVA, L. C.; REMUS, M. V. D.; MCNAUGHTON, N. J.; GROVES, D. I.; FLETCHER, I. R.; SANTOS, J. O. S.; VASCONCELLOS, M. A. Z. (2000) Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 47, p. 829-844.
- JOST, H.; BROD, J. A.; HOLZ, M.; KUHN, A.; FLOR, M. A. D.; KRONBAUER, A.; DILLENBURG, S. (1985) Geologia estrutural, petrografia e petrologia do sienito Piquiri (Proterozóico Superior), Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2., Florianópolis, 1985. *Anais*. Florianópolis, SBG, p. 63-80.
- KOESTER, E. (1995) *Petrologia e geocronologia dos granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu*. Porto Alegre, 240 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- KOESTER, E.; SOLIANI JR., E.; FERNANDES, L. A. D.; KRAEMER, G.; TOMMASI, A. (1997) Geocronologia Rb/Sr e K/Ar dos granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu na região de Encruzilhada do Sul (RS). *Pesquisas*, v. 24, n. 1-2, p. 67-77.
- KOESTER, E.; SOLIANI JR., E.; LEITE, J. A. D.; HARTMANN, L. A.; FERNANDES, L. A. D.; MCNAUGHTON, N. J.; SANTOS, J. O. S.; OLIVEIRA, L. D. (2001) SHRIMP U-Pb age for the emplacement of the

- Santana Granite and reactivation of the Porto Alegre Suture, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 14, p. 91-99.
- LEITE, J. A. D.; HARTMANN, L. A.; FERNANDES, L. A. D.; MCNAUGHTON, N. J.; SOLIANI JR., E.; KOESTER, E.; SANTOS, J. O. S.; Vasconcellos, M. A. Z. (2002) Zircon U/Pb SHRIMP dating of gneissic basement of Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 14, n. 1, p. 91-99.
- MACHADO, R.; PHILIPP, R.; MELLO, F. (1995) Reconhecimento de zonas de cisalhamento dúcteis de alto ângulo com cinemática superposta na extremidade sul do Batólito Pelotas, RS. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., Gramado, 1995. *Boletim de Resumos Expandidos*. Gramado, SBG, p. 52-53.
- MAY, G. E. (1990) *Pan-African Magmatism and regional tectonics of South Brazil*. Milton Keynes, 343 p. Tese (Doutorado) - Open University.
- MESQUITA, M. J. M. (1991) *Petrografia dos granitóides deformados na Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (Piratini - Quitéria), RS*. Porto Alegre, 242p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- NARDI, L. V. S.; FRANTZ, J. C. (1995) The Cordilheira Suite: Late Proterozoic peraluminous granitoids from the Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 8, n. 1, p. 55-63.
- PHILIPP, R. P. (1990) *Geologia e Petroquímica dos granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas, RS*. Porto Alegre, 231p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PHILIPP, R. P. (1998) *A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. São Paulo, 255 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- PHILIPP, R. P.; ALMEIDA, D. P. M.; GOMES, M. E. B.; PINTAÚDE, D. A. (1991) Geoquímica do Granito Bela Vista, Piratini, RS: uma contribuição ao conhecimento do magmatismo alcalino no setor Oriental do Escudo. *Acta Geológica Leopoldensia*, v. 34, p. 95-122.
- PHILIPP, R. P.; MESQUITA, M. J.; GOMES, M. E. B.; ALMEIDA, D. P. M. (1993) Reconhecimento estrutural e geoquímico dos Granitóides Brasileiros da região de Pelotas, RS. *Pesquisas*, v. 20, n. 1, p. 3-13.
- PHILIPP, R. P.; VIERO, A. P. (1995) Interação entre o magmatismo ácido/básico nas rochas vulcânicas associadas aos granitóides da região de Porto Alegre, RS. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 6., Porto Alegre, 1995. *Boletim de Resumos Expandidos*. Porto Alegre, SBG, p. 70-71.
- PHILIPP, R. P.; NARDI, L. V. S.; MACHADO, R. (1998) O Magmatismo Granítico Neoproterozóico tardi a pós-colisional da região de Porto Alegre, RS. *Contribuição ao Estudo dos Granitos e Rochas Correlatas*. Bahia, Publicação Especial nº5, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Bahia-Sergipe, p. 129-152.
- PHILIPP, R. P.; NARDI, L. V. S.; BITENCOURT, M. F. (2000) O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: (Editores) HOLZ, M.; DE ROS, L. F. *Geologia do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, p. 133-160.
- PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. (2001) Estratigrafia e Significado Tectônico das Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n. 3, p. 257-266.
- PHILIPP, R. P.; MACHADO, R.; NARDI, L. V. S.; LAFON, J. M. (2002a) O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 32, n. 2, p. 277-290.
- PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. (2002b) Ocorrência e Significado dos Septos do Embasamento encontrados nas Suítes Graníticas do Batólito Pelotas, RS. *Pesquisas*, v. 29, n. 1, p. 43-60.
- PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. (no prelo) The Neoproterozoic to Cambrian Granitic magmatism of Pelotas Batholith, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*.
- PICADA, R. S. (1971) Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. *Anais*. São Paulo, SBG, v. 1, p. 167-191.
- PLÁCID, J.; NARDI, L. V. S.; STABEL, L.; CONCEIÇÃO, R.; BAUZARETI, N. (2003) K-clinopyroxene and potassian pargasite in mafic microgranular enclaves of Piquiri syenite, southernmost Brazil: evidences of syenitic and lamprophyric magma mingling at high pressure. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 145, p. 444-459.
- PORCHER, C. C. (1992) *Caracterização das condições de fluxo de uma zona de cisalhamento tangencial na região de Santana da Boa Vista (RS)*. Porto Alegre, 192 p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SHUKOWSKY, W.; MANTOVANI, M. S. M. (1991) Estruturação dos terrenos Pré-Cambrianos da região sul do Brasil e oeste do Uruguai: um estudo por modela-

- mento gravimétrico. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 9, n. 2, p. 275-287.
- SILVA, L. C.; McNAUGHTON, N. J.; HARTMANN, L. A.; FLETCHER, I. R. (1999) SHRIMP U/Pb zircon dating of Neoproterozoic granitic magmatism and collision in the Pelotas Batholith, Southernmost Brazil. *International Geology Review*, v. 41, p. 531-551.
- SOLIANI JR., E.; FRAGOSO CESAR, A. R. S.; TEIXEIRA, W.; KAWASHITA, K. (1984) Panorama geocronológico da porção Meridional do Escudo Atlântico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. *Anais*. Rio de Janeiro, SBG, v. 5, p. 2435-2449.
- SOLIANI JR., E. (1986) *Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica*. São Paulo, 425 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SOLIANI JR., E.; KOESTER, E.; FERNANDES, L. A. D. (2000) A Geologia Isotópica do Escudo Sul-rio-grandense – Parte II: os dados isotópicos e interpretações petrogenéticas. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Editora UFRGS, p.175-230.
- STABEL, L. Z., NARDI, L. V. S., PLÁCIDO, J. (2002) Química mineral e evolução petrológica do Sienito Piquiri: magmatismo shoshonítico, neoproterozóico, pós-colisional no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n. 2, p. 211-222.
- TEIXEIRA, W. (1982) *Folhas SH.22-Porto Alegre, SI.22 - Lagoa Mirim e SH.21 - Uruguaiana. Interpretação dos dados radiométricos e evolução geocronológica*. Florianópolis, Projeto RADAMBRASIL. (Relatório Interno).
- TICKYJ, H.; HARTMANN, L. A.; VASCONCELLOS, M.; PHILIPP, R. P.; REMUS, M. V. D. (no prelo) Electron-microprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. *Journal of South American Earth Science*.
- TOMMASI, A. (1991) *Evolução cinemática do Cinturão Dom Feliciano durante o Ciclo Brasileiro*. Porto Alegre, 207 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- UFRGS. (1995) *Mapeamento geológico 1:25.000 da Folha Arroio da Bica (MI-301011)*. Porto Alegre, Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, Instituto de Geociências, UFRGS.
- VASQUEZ, M. L. (1997) *Evolução petrogenética dos granitos da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul-RS*. Porto Alegre, 195 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E. (1994) O Diorito Capim Branco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú, 1984. *Boletim de Resumos Expandidos*. Camboriú, SBG, v. 3, p. 61-62.