

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**GNAISSES PIRATINI: MAGMATISMO DE 784 Ma NO SUDESTE DO
CINTURÃO DOM FELICIANO, RS**

GUILHERME BALDISSERA TAMBARA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

Porto Alegre – 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**GNAISSES PIRATINI: MAGMATISMO DE 784 Ma NO SUDESTE DO
CINTURÃO DOM FELICIANO, RS**

GUILHERME BALDISSERA TAMBARA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

BANCA EXAMINADORA

Dr^a. Andréia O. M. da S. Gross

Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, CPRM, Brasil

Prof. Dr. Marcus D. V. Remus

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Dr. Tiago R. Gregory

Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Brasil

Dissertação de Mestrado apresentada como
requisito parcial da obtenção do Título de Mestre
em Geociências

Porto Alegre – 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Tambara, Guilherme Baldissera

Gnaisses Piratini: magmatismo de 784 Ma no sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS. / Guilherme Baldissera Tambara. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.

[51 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2016.

Orientador(es): Edinei Koester

1. Geoquímica 2. Geocronologia U-Pb SHRIMP 3. Cinturão Dom Feliciano 4. Gnaisses Piratini I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila F. Tengaten Binotto

CRB 10/1743

Dedico:

**Aos familiares, amigos e professores,
meu obrigado**

RESUMO

Este trabalho baseou-se no estudo de xenólitos de rochas metamórficas na região de Piratini e Pinheiro Machado, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense. Partindo de estudos de campo, microscopia ótica, geoquímica de elementos maiores e traços e geocronologia U-Pb em zircão, essa associação de rochas gnáissicas, denominada de Gnaisses Piratini, apresenta uma composição intermediária a ácida, predominantemente granodiorítica a tonalítica, subalcalina cálcio-alcalina médio-K, peraluminosa a levemente metaluminosa. Estes dados, juntamente com sua idade magmática de 784 ± 4 Ma, leva esta associação a ser interpretada como originada em um ambiente de arco magmático continental, e metamorfisada em fácies anfíbolito em torno de 664 a 688 Ma. Nesta dissertação é apresentado um estado da arte dos estudos publicados sobre os Gnaisses Piratini, além de considerações sobre a importância desta unidade como um embasamento de sua região. Após, é apresentado o artigo denominado "*Geology of the Piratini Gneisses: medium-K calc-alkaline magmatism of 784 ma (U-Pb SHRIMP) on the southeastern of Dom Feliciano Belt, RS*", submetido para publicação no periódico *Brazilian Journal of Geology*, onde são descritos os dados e interpretações obtidos sobre os Gnaisses Piratini.

Palavras-chave: geoquímica, geocronologia U-Pb SHRIMP, Cinturão Dom Feliciano, Gnaisses Piratini, embasamento

ABSTRACT

This work has based on the study of xenoliths of metamorphic rocks in the region of Piratini and Pinheiro Machado, southeastern Sul-rio-grandense Shield. Through field studies, optical microscopy, geochemistry of major and trace elements and U-Pb zircon geochronology, this association of gneissic rocks, named Piratini Gneisses, features an intermediate to felsic composition, predominantly granodioritic to tonalitic, medium-K calc-alkaline subalkaline, peraluminous to slightly metaluminous. These data, together with the magmatic age of 784 ± 4 Ma lead this rock association to be originated on an active magmatic arc environment, and metamorphosed at around 664 to 688 Ma in amphibolite facies. This dissertation presents a state-of-the-art of studies published about Piratini Gneisses, in addition to considerations about the importance of this unit as a basement of your region. After, it is featured the article entitled "Geology of the Piratini Gneisses: medium-K calc-alkaline magmatism of 784 ma (U-Pb SHRIMP) on the southeastern of Dom Feliciano Belt, RS", submitted for publication in the "Brazilian Journal of Geology", where are described the data and interpretations obtained on the Piratini Gneisses.

Keywords: geochemistry, U-Pb SHRIMP geochronology, Dom Feliciano Belt, Piratini Gneisses, basement

SUMÁRIO

PARTE I

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Geologia regional	12
1.2 Geologia local	15
2 REFERÊNCIAS	18

PARTE II

Artigo: <i>Geology of the Piratini Gneisses: medium-K calc-alkaline magmatism of 784 ma (U-Pb SHRIMP) on the southeastern of Dom Feliciano Belt, RS</i>	23
---	----

Sobre a Estrutura desta Dissertação:

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno do artigo *“Geology of the Piratini Gneisses: medium-K calc-alkaline magmatism of 784 ma (U-Pb SHRIMP) on the southeastern of Dom Feliciano Belt, RS”*. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

- a) Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e o estado da arte sobre o tema de pesquisa;
- b) Artigo publicado em periódico ou submetido a periódico com corpo editorial permanente e revisores independentes, escrito pelo autor durante o desenvolvimento do Mestrado.

PARTE I

1 INTRODUÇÃO

No Escudo Sul-rio-grandense o Cinturão Dom Feliciano apresenta, em sua porção oriental, ocorrências relativamente comuns de diversos xenólitos de rochas metamórficas (e.g. Gnaisses Piratini, Vigia e Chanã, Quartzitos e Xistos do Herval), de tamanhos variados, em escalas de ordens centimétricas a quilométricas (Fragoso César *et al.*, 1986). Este embasamento sob a forma de xenólitos ou *roof pendants* desta porção do escudo ainda é pouco estudado, e são também denominados de septos do embasamento por Philipp (1998) e Philipp e Machado (2002). Diversas suítes intrusivas da porção oriental do Cinturão Dom Feliciano, tais como Suíte Pinheiro Machado (como parte do Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado), Erval, Cordilheira, Viamão, Dom Feliciano e Encruzilhada do Sul, apresentam estes septos do embasamento (Fragoso César, 1991; Philipp, 1998).

A porção leste do Cinturão Dom Feliciano é dominada por rochas neoproterozóicas, com idades < 625 Ma (Silva *et al.*, 1999). Assim, estudar os fragmentos e xenólitos de rochas ortognáissicas mais antigas torna-se uma ferramenta útil para reconstruir a história geológica desta porção, e os Gnaisses Piratini, sendo o embasamento desta região, podem trazer informações importantes sobre esta história.

Os Gnaisses Piratini, objeto do presente estudo desta dissertação, são uma unidade inserida no Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado. O termo Gnaisses Piratini foi originalmente proposto por Fragoso Cesar *et al.* (1986), designando os ortognaisses encontrados a leste da cidade de Piratini, RS. Conforme sua definição original, Fragoso Cesar *et al.* (1986) define os Gnaisses Piratini como uma associação de rochas gnáissicas aflorantes a leste da cidade de Piratini, entre as cidades de Pedro Osório e Herval, em vários trechos do Rio Piratini e outras localidades próximas, sendo aflorante por áreas mapeáveis mas principalmente sob a forma de xenólitos. Constituem-se de ortognaisses migmatíticos, com estruturas estromatíticas de bandas centimétricas a decimétricas, subordinadamente *schollen*, *schlieren*, nebulíticas e agmatíticas. Predominam termos trondhjemíticos, tonalíticos e quartzo dioríticos, com dioríticos e granodioríticos associados, metamorfisados em fácies anfíbolito.

Esta dissertação objetivou entender o significado dos Gnaisses Piratini no contexto da porção oriental do Cinturão Dom Feliciano. Para tanto, foram realizados:

descrição de campo; descrição petrográfica e estrutural; estudos de geoquímica em rocha total; datação U-Pb SHRIMP; e uma integração dos dados aqui obtidos com os da bibliografia para posterior interpretação.

A área de estudo localiza-se na região sul do estado do Rio Grande do Sul, distando aproximadamente 240 km a sudoeste da capital do estado, Porto Alegre, concentrando-se no território das cidades de Piratini e Pinheiro Machado. O acesso à região é realizado pelas estradas BR-293, RS-702, RS-265 e RS-263, além de estradas de terra vicinais secundárias ou particulares.

1.1 Geologia regional

A região de estudo deste trabalho localiza-se aproximadamente no centro-sul da porção brasileira do Cinturão Dom Feliciano, o qual se constitui no registro de um antigo orógeno que abrange vasta área de afloramento do Escudo Sul-rio-grandense, formado por associações de rochas alongadas segundo uma direção NE-SW. Esta colagem orogênica foi originada durante uma convergência entre os crátons do Rio de La Plata e do Kalahari durante o Neo-proterozóico e compreende diversas associações petrotectônicas de diferentes idades (Fernandes *et al.*, 1995; Philipp, 1998; Chemale Jr., 2000; Nardi & Bitencourt, 2007; Hartmann *et al.*, 2007; Saalman *et al.*, 2011).

O Cinturão Dom Feliciano é compartimentado em porções ocidental, central e oriental (Fig. 1), estas delimitadas a partir de descontinuidades geofísicas em escala continental por Fernandes *et al.* (1995), Costa (1997) e Hartmann *et al.* (no prelo). O presente estudo desenvolveu-se na porção oriental do Cinturão, a qual, conforme Costa (1997) corresponde ao que cronologicamente foram definidos como: Complexo Canguçu (Santos *et al.*, 1989); Associação de Arco Magmático I, excluindo o Complexo Arroio dos Ratos (Fernandes *et al.*, 1992); e Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado (Ramgrab *et al.*, 1995). Uma nomenclatura ainda muito utilizada na literatura e definida por Fragoso César *et al.* (1986) é a de Batólito Pelotas, a qual designa a porção leste do Cinturão Dom Feliciano.

Em sua porção oriental, o Escudo Sul-rio-grandense é dominado predominantemente por granitoides em relação a outras litologias. Este domínio leste é representado por um arco magmático continental evoluído em 620 Ma (U-Pb em zircão), dominados por granitoides cálcio-alcálicos de alto-K (Fernandes *et al.*, 1995; Babinski *et al.*, 1997; Philipp, 1998; Silva *et al.*, 1999).

O Batólito Pelotas, conforme definido por Fragoso César *et al.* (1986), é um complexo plutônico com cerca de 25.000 km² de exposição no estado do Rio Grande do Sul, e caracteriza-se como um batólito composto, multi-intrusivo e polifásico com uma evolução relacionada ao Ciclo Brasileiro. Fragoso César *et al.* (1986) dividiu as unidades do batólito em três classes: 1) Suítes de Granitoides, que agrupa conjuntos de rochas graníticas que com variação interna significativa; 2) Plútons Diversos, que engloba corpos de rochas ácidas a básicas que tenham difícil correlação com as suítes do batólito, e 3) Septos Metamórficos, que são as rochas supra e infracrustais

ocorrentes no interior ou circundando as suítes plutônicas do batólito. Entre os Septos Metamórficos, conforme estruturação tectônica feita por Picada (1971), distinguem-se septos do Compartimento Encruzilhada, da Dorsal Canguçu e do Compartimento Costeiro. No Compartimento Costeiro, conforme Fragoso César *et al.* (1986), são definidas as unidades Quartzitos e Xistos do Herval, constituindo uma unidade supracrustal metamórfica cataclasada e milonitizada aflorante imediatamente ao norte da cidade de Herval; e o Gnaisse Piratini, unidade estudada neste trabalho, que abrange rochas gnáissicas associadas à Suíte Pinheiro Machado. Em trabalhos mais recentes, Philipp (1998) e Wildner *et al.* (2005) descrevem estes septos inseridos no Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado como sendo xenólitos e megaxenólitos de rochas calcissilicáticas, gnaisses e biotita gnaisses variando entre composições granodioríticas e tonalíticas, tonalitos, quartzitos, xistos, mármore e porções localmente migmatizadas. Assim, o domínio oriental do Cinturão Dom Feliciano tem diversos septos do embasamento que ainda carecem de estudos de detalhe.

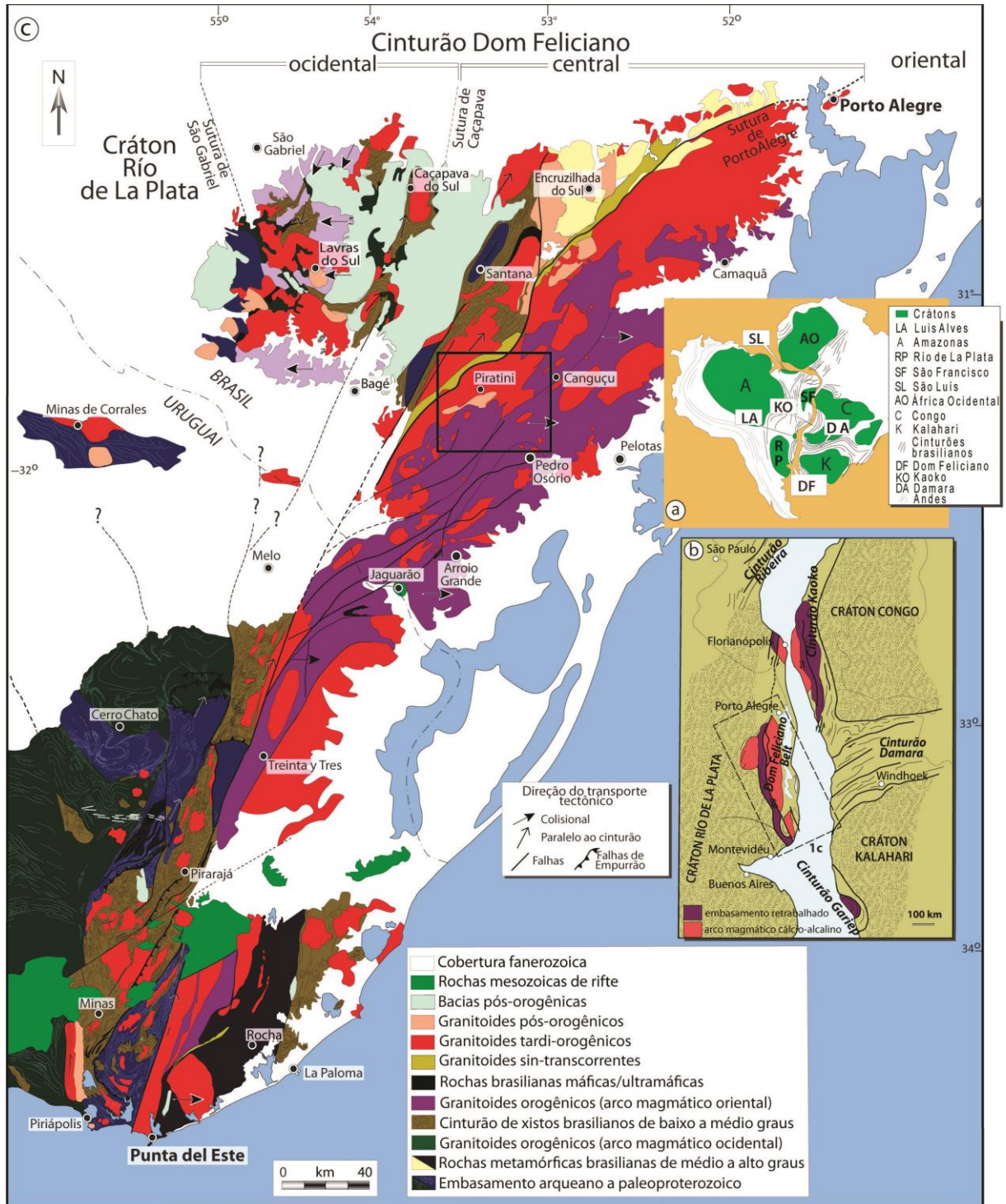


Figura 1. A) Configuração do Gondwana com as principais áreas cratônicas e cinturões relacionados ao Cinturão Dom Feliciano; B) Mapa geodinâmico esquemático do Cinturão Dom Feliciano e Cráton Rio de La Plata no sul do Brasil e Uruguai; C) Mapa geológico esquemático do Cinturão Dom Feliciano, com região aproximada de estudo em retângulo preto (Modificado de Masquelin *et al.*, 2012).

1.2 Geologia Local

Em seu estudo sobre os diversos septos metamórficos do embasamento encontrados no Batólito Pelotas, Philipp & Machado (2002) definiram os seguintes septos inseridos na Suíte Pinheiro Machado: Gnaisses Piratini, Arroio da Solidão e São Lourenço, Ortognaisses Migmatíticos de Monte Bonito, Anfibolitos da BR-392, Gnaisses Cálcio-Silicáticos, Anfibolitos finos com biotita e hornblenda, e Granada-Biotita Gnaisses. Os Gnaisses Piratini definido por Fragoso César *et al.* (1986) caracterizam-se como uma unidade formada por ortognaisses relativamente bem expostos a leste da cidade de Piratini/RS, em trechos do Rio Piratini, além de enclaves de diversos tamanhos no interior da Suíte Pinheiro Machado, próximos às cidades de Canguçu e Pinheiro Machado.

Estruturalmente, Fragoso César *et al.* (1986) definem os Gnaisses Piratini como rochas de bandamento centimétrico a decimétrico, afetados por dobras apertadas, metamorfisados em fácies anfibolito. O bandamento dos Gnaisses Piratini, conforme Fragoso César *et al.* (1986), Philipp (1998) e Philipp & Machado (2002), apresenta complexo padrão deformacional, com presença de dobras intrafoliais (D1) redobradas de forma apertada a isoclinal, com eixos sub-horizontais e forte foliação de superfície-axial (S2) concordante com a foliação das fácies mais precoces da Suíte Pinheiro Machado.

Esta associação gnáissica constitui-se principalmente de biotita (\pm hornblenda) ortognaisses derivados de quartzo dioritos, tonalitos, trondhjemitos e granodioritos, comumente com enclaves de dioritos (Fragoso César *et al.*, 1986, Figueiredo *et al.*, 1990; Philipp & Machado, 2002). Corroborando a ampla variação composicional das rochas desta unidade, Figueiredo *et al.* (1990) mostram uma variação desde gabro-dioritos a tonalito-granodioritos, com predominância de termos intermediários; os teores de elementos traços definem estes granitoides como de ambiente pré-colisional, relacionados à subducção de litosfera oceânica sob margem continental ativa, onde os Gnaisses Piratini seriam originados por diferenciação de magmas básicos produzidos por fusão parcial de manto litosférico proterozóico, induzida pela desidratação da litosfera oceânica em subducção. Sugere-se por Figueiredo *et al.* (1990) um crescente retrabalhamento de crosta continental ou mistura de magmas crustais até o estágio pós-colisional, para explicar os granitoides de maior maturidade.

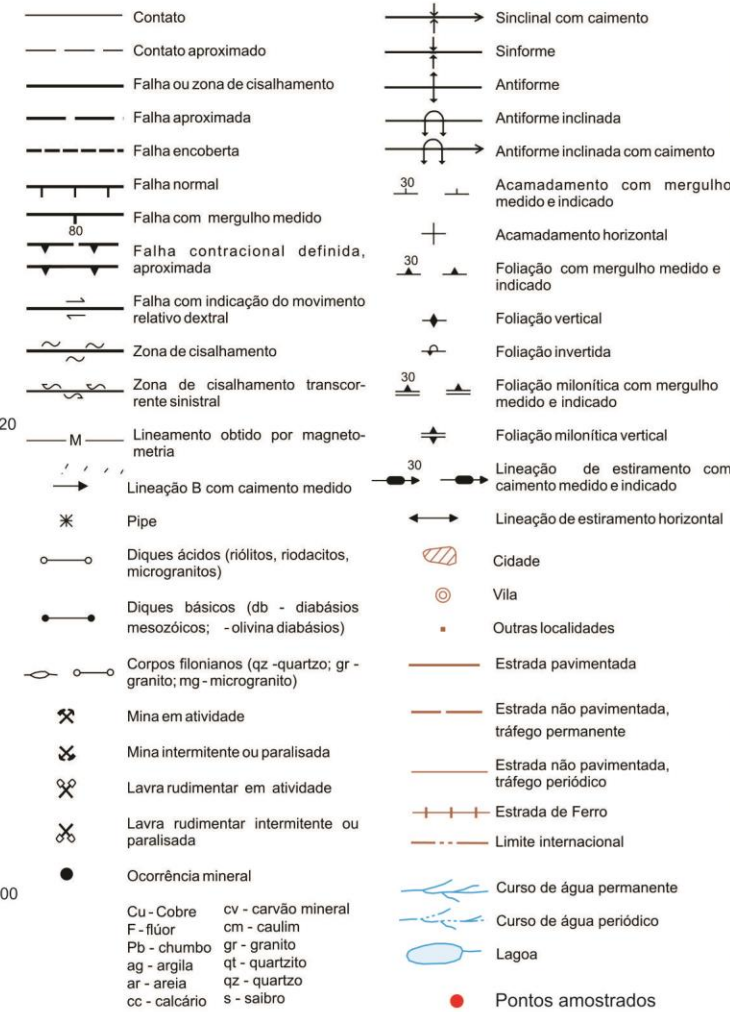
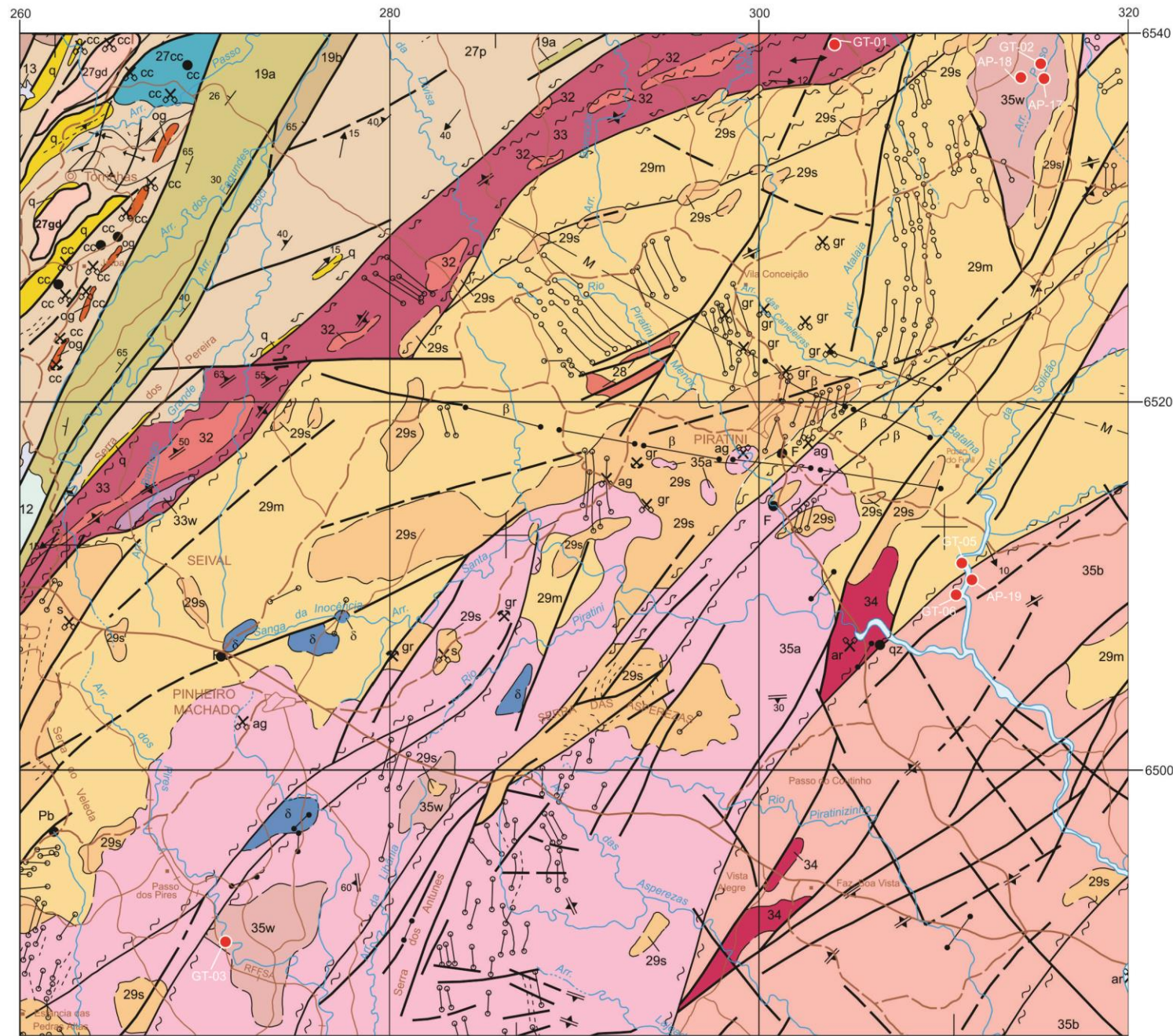
Silva *et al.* (1999) apresentam uma amostra de biotita tonalito dos Gnaisses Piratini com idade de 781 ± 5 Ma (U-Pb em zircão), possivelmente correspondendo à idade de cristalização magmática, com idade modelo T_{DM} de 2239 Ma e ϵNd negativo para idade de 800 Ma. Para o autor, estes dados sugerem que a idade magmática para os Gnaisses Piratini pode ser interpretada como resultado de fusão crustal direta de precursores paleoproterozoicos.

Em trabalho mais recente, Koester *et al.* (2012) mostram a existência um evento de ~ 800 Ma em crescimento de bordas em zircões tanto de rochas paleoproterozoicas da porção oriental do Cinturão Dom Feliciano quanto de rochas de alto grau metamórfico do Complexo Cerro Olivo (Escudo Uruguaio), com gnaisses tonalíticos de afinidades cálcio-alcálicas e ultrapotássicas dos Gnaisses Piratini também apresentando estas idades. Assim, sugere a presença de um embasamento de ~ 800 Ma representado por um arco magmático continental, que revela uma acreção crustal neste domínio nesta época; uma subducção começando em 800 Ma e uma colisão final em 620 Ma seriam o principal cenário de amalgamação do Gondwana ocidental e Cinturão Dom Feliciano oriental.

Na porção uruguaia do Cinturão Dom Feliciano, Lenz (2010) e Lenz *et al.* (2011, 2012 e 2014) descrevem os Ortognaisses Cerro Bori (Complexo Cerro Olivo), que constituem-se de gnaisses tonalíticos e granodioríticos, gnaisses máficos e anfibolitos, de médio a alto grau metamórfico, além de migmatitos associados. São encontradas várias semelhanças geoquímicas nos teores de elementos maiores e traço e na datação geocronológica entres estes gnaisses e os Gnaisses Piratini, o que possibilita correlacionar a unidade brasileira com a contraparte uruguaia.

Conclui-se que existem diversos fragmentos e xenólitos na porção oriental do Cinturão Dom Feliciano que podem representar o embasamento de sua região, sendo os Gnaisses Piratini um destes embasamentos. Os pontos de estudo e amostragem do presente trabalho são indicados na figura 2, em mapa geológico adaptado de Ramgrab & Wildner (1999).

Figura 2 - Mapa geológico de parte da folha Pedro Osório - SH.22-Y-C, pontos de amostragem em vermelho (adaptado de Ramgrab & Wildner, 1999).



DOMÍNIO CENTRAL
(Cinturão Tijuca)

26 Suíte Granítica Encruzilhada do Sul - biotita sienogranito de coloração rósea com pontuações pretas, granulação grossa e textura porfírica.

27 Complexo Metamórfico Porongos (indiviso) - seqüência supracrustal pelito carbonática com vulcanismo subordinado e injeções e imbricações tectônicas de rochas graníticas (ortognaisses). Deformação em regime tangencial e metamorfismo da fácies xisto-verde inferior a anfíbolito. Retrabalhamento em regime transcorrente com ampla milonitização. cc - unidade calcissilicática constituída por lentes de mármore e rochas pelito-carbonáticas, associadas a xistos pelíticos e quartzitos; p - unidade pelítica, representada por uma associação de metapelitos onde predominam filitos, biotita-muscovita-granada xistos e quartzitos, estando presentes de forma subordinada rochas calcissilicáticas; q - níveis de quartzitos puros e muscovita quartzitos que conformam a estruturação regional do complexo; v - metadesitos e metadacitos compactos associados a rochas vulcano-clásticas (metatufos e metatufos a pó), com rochas epiclásticas subordinadas; metamorfismo da fácies xisto-verde superior; gd-ortognaisses granodioríticos representados por rochas tonalíticas e monzograníticas com forte bandamento gnáissico e intensamente deformada plasticamente; og- ortognaisses leucograníticos representados por termos graníticos de cor cinza, textura porfíroblástica composta de trama quartzo-feldspática contendo biotita, muscovita, turmalina e granada como variedades.

SUÍTE GRANÍTICA DOM FELICIANO
DOMÍNIO ORIENTAL
(Cinturão Dom Feliciano)

28 Riólito Asprezas - enxame de diques leucocráticos de cor avermelhada, composição riolítica a riodacítica, textura porfírica, com fenocristais de feldspato e quartzo em matriz afanítica a fanerítica muito fina. Riólitos porfíros subvulcânicos () na região de Cerro Chato.

29s Fácies sienogranito-stocks alongados NE-SW de sienogranitos róseo-avermelhados, equigranulares médios a grossos, localmente porfíricos, compostos predominantemente por feldspato alcalino (ortoclásio e microclínio micropertítico), quartzo, plagioclásio e biotita subordinada.

29m Fácies monzogranito-monzogranitos cinza-claros a levemente avermelhados, inequigranulares, normalmente porfíricos com a presença de fenocristais de feldspatos alcalinos imersos em uma matriz média a grossa. Localizadamente, englobam xenólitos mesocráticos de granodioritos e tonalitos de grão médio a fino, normalmente com limites difusos.

30 Granito Capão do Leão - sieno a monzogranitos róseos, de granulação média a grossa, ocasionalmente porfíricos, praticamente isentos de máficos e contendo granada do tipo almandina como varietal.

31 Granito Arroio Moinho - sieno a monzogranito porfírico, róseo a cinza, com megacrístais de feldspato alcalino com tamanho médio de 3cm (até 8cm) imersos em matriz de granulação grossa. Foliação pronunciada, marcada pela orientação dos fenocristais e estirramento dos minerais da matriz, principalmente desenvolvida nas porções externas do corpo.

Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu

32 Suíte Granítica Cordilheira - muscovita-biotita granitos, leucocráticos, coloração cinza, granulação média a fina, composição de sieno a granodioritos, apresentando turmalina e granada como variedades. Foliação pronunciada, marcada pelo estirramento da mineralogia quartzo-feldspática e pela orientação dos filo e ciclossilicatos, desenvolvida principalmente nas bordas dos corpos intrusivos.

33w Granito Porfíroide Chácara São Jerônimo - leucogranito cinza, variando em composição de sieno a granodiorito, textura granolepidoblástica grosseira, porfíroide, apresentando uma fábrica magmática e deformacional (estado semi-sólido na fácies xistos-verdes superior), marcada pelo alinhamento de megacrístais (até 8cm) fenoclasticos de K-feldspato, acompanhados de estruturas lineares desenvolvidas pelo quartzo, biotita, anfíblio e turmalina. São comuns enclaves gnáissicos (33w) com mineralogia predominantemente peraluminosa.

34 Intrusivas Básicas - corpos com áreas expostas de 6 a 30km² de gabros com níveis estratiformes de anortositos, hornblenda gabros e troctólitos, com mineralogia fortemente toleítica (Gabros Passo da Fabiana) e de granitóides composicionalmente diversificados desde dioritos a monzogranitos, com mineralogia calcialcalina (Diorito Capim Branco).

35 Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado, compreendendo domínio de metagranitóides porfíricos (35a), mesocráticos cinza, com foliação marcada pelo estirramento dos porfiroclastos e alinhamento dos constituintes da matriz, apresentando uma deformação semiplástica de fácies anfíbolito; domínio de ortognaisses granodioríticos a monzograníticos (35b), com bandamento gnáissico proeminente, composição quartzo-feldspática, contendo enclaves de dioritos, tonalitos e de gnaisses anfíbolíticos e calcissilicáticos polideformados, de formas e tamanhos variados (35w); domínio de gnaisses de composição granodiorítica e tonalítica (35c), migmatizados, englobando xenólitos de extensão métrica de rochas de composição calcissilicáticas, anfíbolitos e de biotita gnaisses.



CARTA GEOLÓGICA



2 REFERÊNCIAS

BABINSKI, M., CHEMALE JR., F., VAN SCHMUS, W. R., HARTMANN, L. A., SILVA, L. C. 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. 1997.

CHEMALE JR., F. *Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense*. In: Michael Holz; Luiz Fernando de Ros. (Org.). *Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, p. 03-44. 2000.

COSTA, A. F. U. *Teste e Modelagem Geofísica da Estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no escudo Sul-Rio-Grandense*. Tese de Doutorado em Geociências - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1997. 291p.

FERNANDES, L. A. D., TOMMASI, A., PORCHER, C. C., KOESTER, E., KRAEMER, G., SCHERER, C. M., MENEGAT, R. Granitóides precoces do Cinturão Dom Feliciano: caracterização geoquímica e discussão estratigráfica. *Pesquisas*, v. 19, n. 2, p. 197-218. 1992.

FERNANDES, L. A. D., MENEGAT, R., COSTA, A. F. U., KOESTER, E., PORCHER, C. C., TOMMASI, A., KRAEMER, G., RAMGRAB, G. R., CAMOZZATO, E. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-riograndense: Parte II – Uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, n. 4, p. 375-384. 1995.

FIGUEIREDO, M. C. H., FRAGOSO-CESAR, A. R. S., KRONBERG, B. I. Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal - RN. *Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia - SBG*. v. 4. p. 1623-1638. 1990.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S., FIGUEIREDO, M. C. H., SOLIANI JR, E., FACCINI, U. F. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eopaleozóico) no escudo do Rio Grande do Sul. In: *XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia*, Goiânia. p. 1321-1342. 1986.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. *Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul*. Doutorado em Geociências (Geoquímica e Geotectônica), Universidade de São Paulo, USP, Brasil. 387 p. 1991.

HARTMANN, L. A., CHEMALE JR., F., PHILIPP, R. P. *Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré- Cambriano*. In: Ianuzzi, R.; Frantz, J.C.. (Org.). *50 anos de Geologia no Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências. Contribuições. 1ª ed. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, CIGO. IG-UFRGS, v. 1, p. 97-123. 2007.

HARTMANN, L. A., LOPES, W. R., SAVIAN, J. F. Integrated evaluation of the geology, aerogammaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-Riograndense Shield, southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. (no prelo).

KOESTER, E., PORCHER, C. C., FERNANDES, L.A.D., LENZ, C., MASQUELIN, E., GROSS, A. O. M. S. Crustal accretion at 800 Ma in the Eastern Domain of the Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. In: VIII South American Symposium on Isotope Geology, 2012, Medellin. *Resumenes*, v. CD-Rom. 2012.

- LENZ, C. *Evolução do magmatismo Neoproterozóico registrado nos Ortognaisses Cerro Bori, Cinturão Dom Feliciano no Uruguai*. Tese de Doutorado em Geoquímica - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 195 p. 2010.
- LENZ, C., FERNANDES, L. A. D., MCNAUGHTON, N. J., PORCHER, C. C., MASQUELIN, H. U Pb SHRIMP ages for the Cerro Bori Orthogneisses, Dom Feliciano Belt in Uruguay: Evidences of a ~800Ma magmatic and ~650Ma metamorphic event. *Precambrian Research*, p. 149-163, 2011.
- LENZ, C., PORCHER, C. C., FERNANDES, L. A. D., MASQUELIN, H., KOESTER, E., CONCEIÇÃO, R. V. Geochemistry of the Neoproterozoic (800-767 Ma) Cerro Bori orthogneisses, Dom Feliciano Belt in Uruguay: tectonic evolution of an ancient continental arc. *Mineralogy and Petrology*, v. 1, p. 10, 2012.
- LENZ, C., FERNANDES, L. A. D., KOESTER, E., PORCHER, C. C. Geoquímica e idades U-PB SHRIMP do magmatismo máfico sin a pós colisional registrado nos ortognaisses do Complexo Cerro Olivo, Uruguai. *Cadernos de Geociências (UFBA)*, v. 11, p. 49-60-60, 2014.
- MASQUELIN, H., FERNANDES, L. A. D., LENZ, C., PORCHER, C. C., MCNAUGHTON, N. J. The Cerro Olivo Complex: a pre-collisional Neoproterozoic magmatic arc in Eastern Uruguay. *International Geology Review*, v. 54, p. 1161-1183. 2012.
- NARDI, L. V. S.; BITENCOURT, M. F. *Magmatismo Granítico e Evolução Crustal no Sul do Brasil*. In: R. Ianuzzi; J.C. Frantz. (Org.). 50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, v. 2, p. 125-141. 2007.
- PHILIPP, R. P. *A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. Tese de Doutorado em Geoquímica e Geotectônica - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 269 p. 1998.
- PHILIPP, R. P., MACHADO, R. Ocorrência e significado dos septos do embasamento encontrados nas suítes graníticas do Batólito Pelotas, RS, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, ed. 29, v. 1, p. 43-57. 2002.
- PICADA, R. S. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-riograndense. *Anais, Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, SBG, 25, São Paulo*, p. 167-191. 1971.
- RAMGRAB, G. E., WILDNER, W. *Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha SH.22-Y-C*. CPRM, Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:250.000 – Brasília: CPRM, 1999.
- RAMGRAB, G. E., WILDNER, W., CAMOZZATO, E. *Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha SH.22-Y-B*. CPRM, Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul. Relatório Final. 1995.
- SAALMANN, K., GERDES, A., LAHAYE, Y., HARTMANN, L. A., REMUS, M. V. D., LÄUFER, A. Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de la Plata craton: the prolonged Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *International Journal of Earth Sciences*, ed. 2, v. 100, p. 355-378. 2011.
- SANTOS, E. L., RAMGRAB, G. E., MACIEL, L. A., MOSMANN, R. *Mapa Geológico do estado do Rio Grande do Sul*. 1º Distrito Regional, DNPM, escala 1:1.000.000. 1989.

SILVA, L. C., HARTMANN, L. A., MCNAUGHTON, N. J., FLETCHER, I. R. Shrimp U/Pb zircon timing of Neoproterozoic granitic magmatism and collision in the Pelotas Batholith in southernmost Brazil. *International Geology Review*, Estados Unidos da América, v. 41, p. 531-551. 1999.

WILDNER, W., RAMGRAB, G. E., LOPES, R. C., IGLESIAS, C. M. F. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750.000. 2005.

PARTE II

Brazilian Journal of Geology

Preview (BJGEO-2016-0019)

From: secretaria@zeppelinini.com.br

To: guilhermetambara@gmail.com

CC: guilhermetambara@gmail.com, koester@ufrgs.br, crislenz@yahoo.com.br, carla.porcher@ufrgs.br, ladfernandes@gmail.com

Subject: Brazilian Journal of Geology - Manuscript ID BJGEO-2016-0019

Body: 26-Jan-2016

Dear Mr. Tambara:

Your manuscript entitled "Geology of the Piratini Gneisses: medium-k calc-alkaline magmatism of 784 ma (U-Pb SHRIMP) on the southeastern of Dom Feliciano Belt, RS" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the Brazilian Journal of Geology.

Your manuscript ID is BJGEO-2016-0019.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc04.manuscriptcentral.com/bjgeo-scielo> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc04.manuscriptcentral.com/bjgeo-scielo>.

Thank you for submitting your manuscript to the Brazilian Journal of Geology.

Sincerely,
Brazilian Journal of Geology Editorial Office

Date Sent: 26-Jan-2016

Geology of the Piratini Gneisses: medium-K calc-alkaline magmatism of 784 Ma (U-Pb SHRIMP) on the southeastern of Dom Feliciano Belt, RS

Guilherme B. TAMBARA^{1*}, Edinei KOESTER², Cristine LENZ³, Carla C. PORCHER², Luiz A. D. FERNANDES²

1. Geosciences Post-Graduation Program (PPGGeo), Institute of Geosciences, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP: 91500-000, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: guilhermetambara@gmail.com

2. Geology Department, Institute of Geosciences, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mails: koester@ufrgs.br, carla.porcher@ufrgs.br, ladfernandes@gmail.com

3. Geology Core, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, CEP 49100-000, São Cristóvão, SE, Brasil. E-mail: crislenz@yahoo.com.br

Abstract – Various occurrences of xenoliths of metamorphic rocks are recognized in the Rio Grande do Sul state, eastern portion of Sul-rio-grandense Shield. Those xenoliths, also denominated basement septa of their respective regions, are in need of more detailed descriptions. The present paper has based on the study of some occurrences of metamorphic rocks xenoliths in the region of Piratini and Pinheiro Machado, southeastern Sul-rio-grandense Shield. From field studies realized on this area, together with optical microscopy, geochemistry of major and trace elements and U-Pb SHRIMP zircon geochronology, this association of gneissic rocks, named Piratini Gneisses, features an intermediate to felsic composition, predominantly granodioritic to tonalitic, medium-K calc-alkaline subalkaline, peraluminous to slightly metaluminous. These data, bind with the U-Pb SHRIMP geochronological determination of 784 ± 4 Ma, lead this association to be interpreted as descendant from an active magmatic arc environment, that shows na occurrence of crustal accretion on this domain at that time, where a subduction around 800 Ma and a final collision in 620 Ma could be the scenery of the amalgamation of western Gondwana and eastern Dom Feliciano Belt.

Keywords: geochemistry, U-Pb SHRIMP geochronology, Dom Feliciano Belt, Piratini Gneisses, basement

Resumo – GEOLOGIA DOS GNAISSES PIRATINI: MAGMATISMO CÁLCIO-ALCALINO MÉDIO-K DE 784 Ma (U-Pb SHRIMP) NO SE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS. Diversas ocorrências de xenólitos de rochas metamórficas são reconhecidas no Rio Grande do Sul, na porção oriental do Escudo Sul-rio-grandense. Estes xenólitos, também denominados septos do embasamento de suas respectivas regiões, no entanto, carecem de maiores descrições em detalhe. O presente artigo baseou-se no estudo de algumas ocorrências de xenólitos de rochas metamórficas na região de Piratini e Pinheiro Machado, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense. A partir de estudos de campo realizados nesta área, junto com microscopia ótica, geoquímica de elementos maiores e traços e geocronologia U-Pb (SHRIMP) em zircão, essa associação de rochas gnáissicas, denominada de Gnaisses Piratini, apresenta uma composição intermediária a ácida, predominantemente granodiorítica a tonalítica, subalcalina cálcio-alkalina médio-K, peraluminosa a levemente metaluminosa. Estes dados, em conjunto com a determinação geocronológica U-Pb (SHRIMP) em zircão de 784 ± 4 Ma, leva esta associação a ser interpretada como proveniente de ambiente do tipo granito de arco magmático continental, que mostra a ocorrência de uma acreção crustal neste domínio para esta época, onde uma subdução em torno de 800 Ma e uma colisão final em 620 Ma seriam o cenário de amalgamação do Gondwana ocidental e Cinturão Dom Feliciano oriental.

Palavras-chave: geoquímica, geocronologia U-Pb SHRIMP, Cinturão Dom Feliciano, Gnaisses Piratini, embasamento

1. INTRODUCTION

The study of the basement septa, metamorphic rocks that occur within and/or surround plutons and plutonic suites of batholiths, in the form of xenoliths and roof pendants, reveals important aspects of a geological evolution, providing a better understanding of events and tectonic processes operating in a particular region.

In the Sul-rio-grandense Shield, Dom Feliciano belt has described, in its eastern area, several occurrences of xenoliths of metamorphic rocks, e.g. Piratini, Vigia and Chanã Gneisses, Herval Quartzites and Schists (Fragoso César *et al.*, 1986). The basement of this portion of the shield is still little studied, being also called basement septa by Philipp (1998), Philipp & Machado (2002) and Wildner *et al.* (2005). Several intrusive suites studied in the eastern portion of the Dom Feliciano Belt, such as Pinheiro Machado (as part of the Pinheiro Machado Granite Gneiss Complex), Erval, Cordilheira, Viamão, Dom Feliciano, and Encruzilhada do Sul suites, present these septa (Fragoso César *et al.*, 1986; Fragoso César, 1991; Philipp, 1998; Philipp & Machado 2002).

This article focuses on one of the units that occur in the form of metamorphic septum that forms the basement of its region, the Piratini Gneisses. From field observations, optical microscopy and geochemical and geochronological analyses, a petrological evolution model was sought for this unit, contributing to the geological understanding of the eastern portion of the Pelotas Batholith. These pieces of information can also allow a comparison between this unit and the Cerro Bori Orthogneisses (Cerro Olivo Complex. Uruguay) studied by Lenz (2010) and Lenz *et al.* (2011, 2012, 2014).

2. ANALYTICAL METHODS

Twenty samples were collected in field studies, used for various analyses in laboratory through optical microscopy (10), geochemistry of major and trace elements (10) and geochronology (1). The preparation of thin sections for analyses on optical microscopy was done in the Laboratory of Analytical Support and Sample Preparation of the Centre of Studies on Petrology and Geochemistry (Institute of Geosciences of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Geochemical analyses

were performed by Acme Analytical Laboratories (Vancouver-Canada), by the fusion method by ICP-MS. The U-Pb analyses were made in zircon, on the SHRIMP II of Curtin University of Technology (Perth-Australia).

Petrographic analyses were performed in polarizing microscope *Leica* ® brand with camera attached. The geochemical analyses were worked through the specific software for bulk-rock geochemical data treatment *Geochemical Data Toolkit* ®-GCDkit ® (based on Janousek *et al.*, 2003, 2006). The U-Pb analyses are based on the analytical procedures of Compston *et al.* (1992). The standard used was the BR 266 (559 Ma, 903 ppm U), with beam size of analysis of approximately 20 µm and primary beam of O₂-approximately 1.8 nA. The data were then reduced and plotted in concordia with Squid and Isoplot (Ludwig, 2001). Results with more than 16% of contention (or that are not within the 2-sigma error) and over 65% of Pb were not used in the calculations of the ages, but are presented.

3. REGIONAL GEOLOGY

The area of study is located in the South-central portion of the Brazilian Dom Feliciano Belt, which constitutes in a record of an ancient orogen that covers vast area of outcrop on the Sul-riograndense Shield (Fig. 1). This orogenic collage originated during a convergence between the Rio de La Plata and the Kalahari cratons during the Neoproterozoic and comprises several petrotectonic associations of different ages (Fernandes *et al.*, 1995; Philipp, 1998; Chemale Jr., 2000; Nardi & Banerjee, 2007; Hartmann *et al.*, 2007; Saalman *et al.*, 2011). This belt is made up of elongated rock associations in a NE-SW direction that span more than 1200 km from Punta del Este (Uruguay) to the northeast of the State of Santa Catarina (Brazil).

Based in geophysical discontinuity in continental scale, Fernandes *et al.* (1995), Costa (1997) and Hartman *et al.* (in press) have structured the Dom Feliciano Belt in the State of Rio Grande do Sul in three major geotectonic units: western, central and eastern. In its eastern portion, the Sul-riograndense Shield is dominated mostly by granitoids over other lithologies. This eastern domain is represented by a continental magmatic arc evolved in 620 Ma (U-Pb zircon ages), dominated by high-

K calc-alkaline granitoids (Fernandes *et al.*, 1995; Babinski *et al.*, 1997; Philipp, 1998; Silva *et al.*, 1999).

The present study was developed in this eastern part of the belt, which, according to Costa (1997), corresponds to what chronologically were defined as: Canguçu Complex (Santos *et al.*, 1989); Association of Magmatic Arc I, excluding the Arroio dos Ratos Complex (Fernandes *et al.*, 1992); and Pinheiro Machado Granite Gneiss Complex (Ramgrab *et al.*, 1995). This eastern portion is also known as Pelotas Batholith, a term defined by Fragoso César *et al.* (1986) that designates a batholith of about 25000 km², composite, multi-intrusive and polyphasic, related to Brasiliano Orogenic Cycle. According to Fragoso Caesar (1991) and Philipp (1998), this batholith comprises several intrusive suites of various bodies, like Pinheiro Machado, Erval, Cordilheira, Viamão, Encruzilhada do Sul and Dom Feliciano, in addition to several centimetric to kilometeric xenoliths of metamorphic rocks, called septa of the basement, such as Herval Quartzites and Schists, Vigia and Chanã Gneisses, and the unit of interest, Piratini Gneisses.

Philipp & Machado (2002) and Wildner *et al.* (2005) still designate some of these basement septa as part of the Pinheiro Machado Granite Gneiss Complex, corresponding to xenoliths and megaxenoliths of calcissilicatic rocks, gneisses and biotite gneisses ranging between granodioritic and tonalitic compositions, tonalites, quartzites, schists, marbles and migmatized portions.

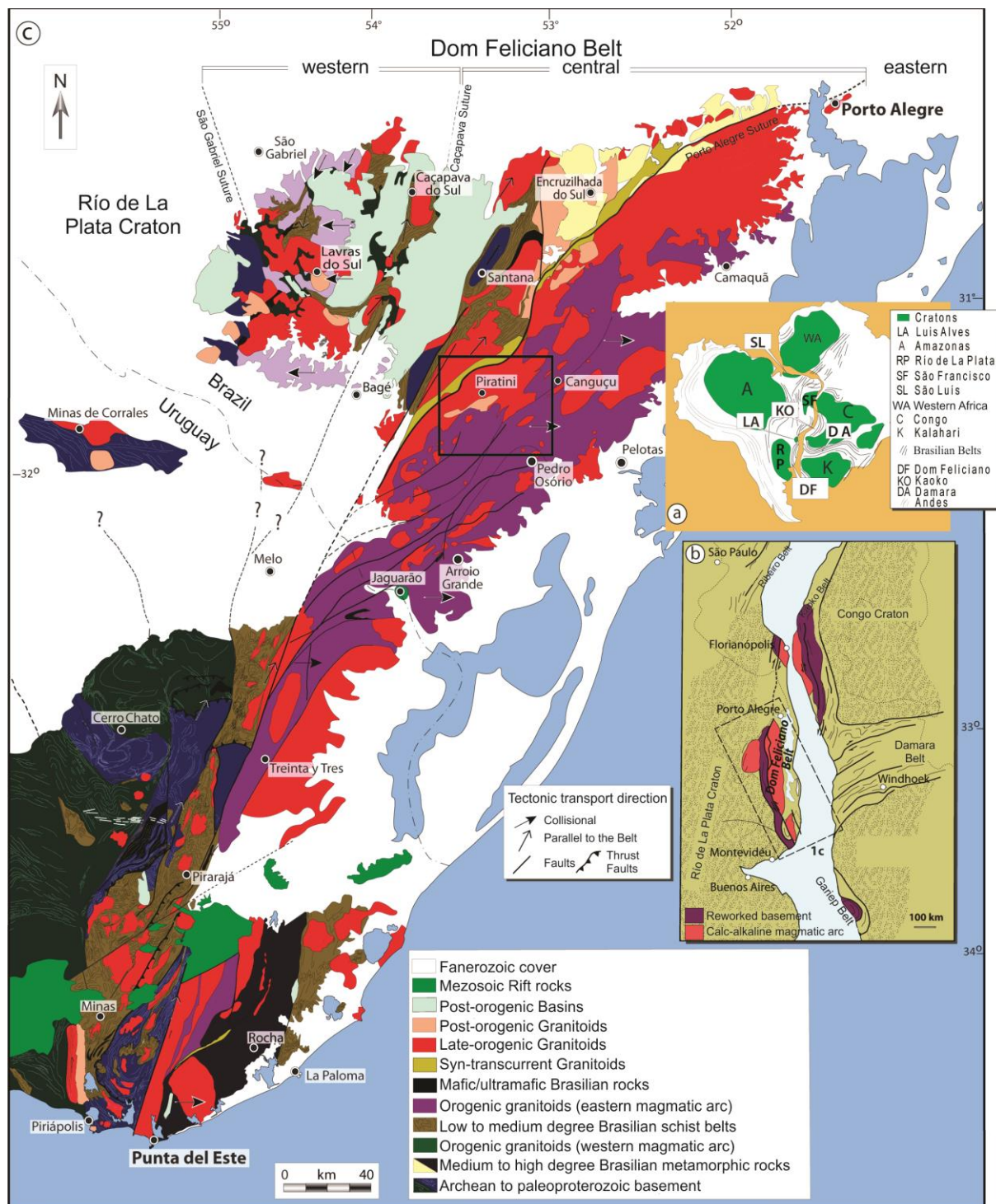


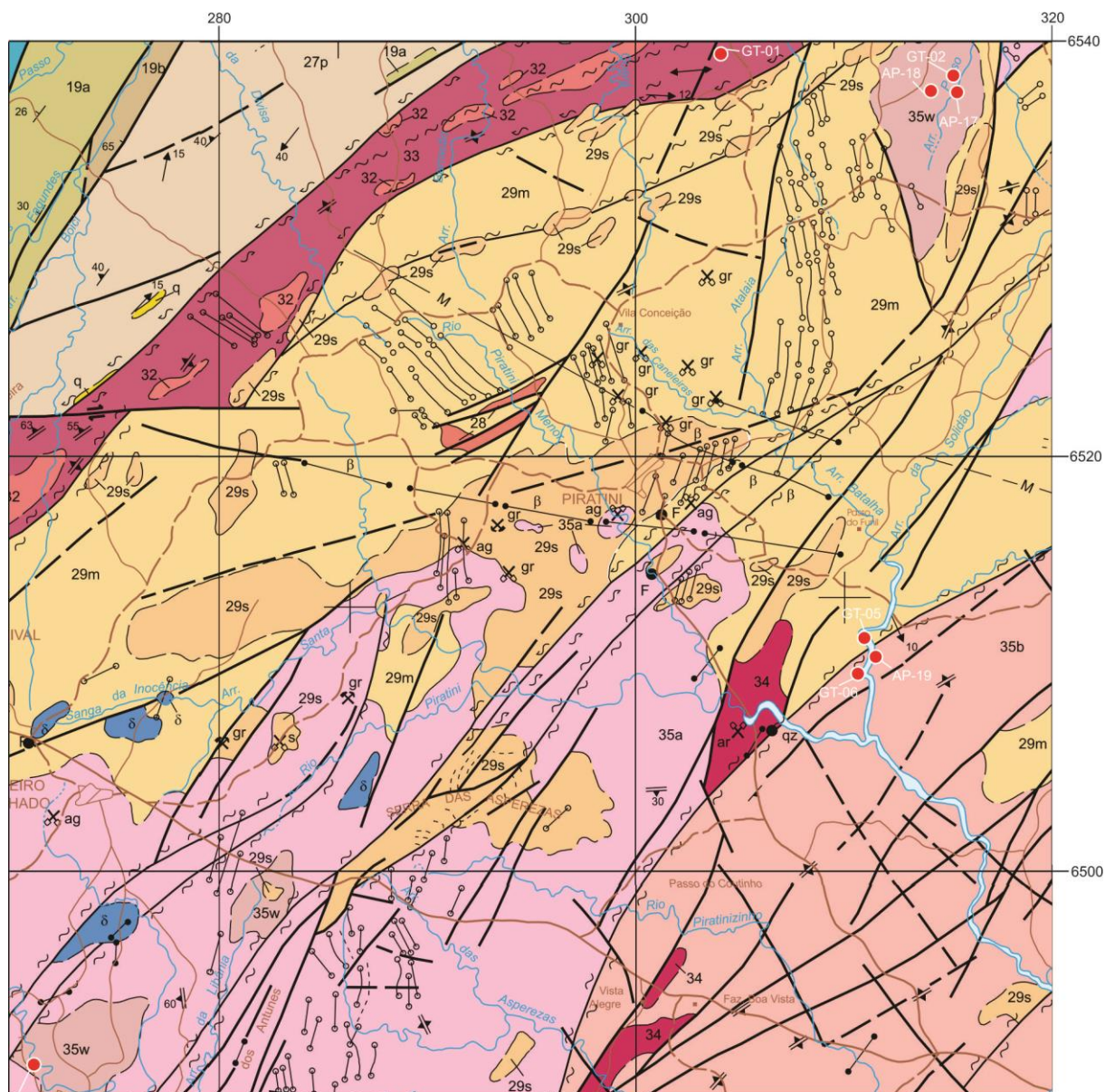
Figure 1: A) The Gondwana configuration with the main cratonic areas and belts related to Dom Feliciano Belt; B) Schematic geodynamic map of Dom Feliciano Belt and Rio de La Plata Craton in southern Brazil and Uruguay; C) Schematic geological map of the Dom Feliciano Belt, with approximate region of study in black rectangle (modified from Masquelin *et al.*, 2012).

4. LOCAL GEOLOGY

The Piratini Gneisses are a unit inserted into the Pinheiro Machado Granite Gneiss Complex (Fig. 2), outcropping mainly in the form of xenoliths. The term Piratini Gneisses was originally proposed by Fragoso César *et al.* (1986), designating the orthogneisses relatively well exposed found east of the city of Piratini, RS, in excerpts of the Piratini River, and as well as enclaves of various sizes inside the Pinheiro Machado Suite near Canguçu or Pinheiro Machado. Ribeiro (1977), however, had already quoted rocks with gneiss and migmatite characteristics in this same region.

Philipp & Machado (2002) define the various occurrences of basement septa as low to high degree metamorphic rocks, with occurrence in large areas north of the Pelotas Batholith and centimetric to decametric xenoliths in the central and south region of this study. The Piratini Gneisses, in particular, are found as centimetric to metric xenoliths in Pinheiro Machado Suite, subangular forms and distinct contacts of straight and curved boundaries with the host rock, and medium to high metamorphic grade (Philipp & Machado, 2002).

Structurally, Fragoso César *et al.* (1986) and Philipp & Machado (2002) describe the Piratini Gneisses as rocks with a band pattern defined by stromatolite structure of centimetric to decimetric bands, plus structures such as *schlieren*, *schollen*, nebulitic and agmatitic, affected by tight folds. Ribeiro (1977) and Philipp & Machado (2002) indicate that the Piratini Gneisses were granitoids whose metamorphic transformations show gneiss band formation in intermediate degree conditions, amphibolite facies. This banding, as described by Fragoso César *et al.* (1986), Philipp (1998) and Philipp & Machado (2002), presents a complex deformational pattern, with presence of tight to isoclinal redoubled intrafolial folds (D1), with sub-horizontal axis and strong surface-axial foliation (S2) concordant with the foliation of the earliest facies of Pinheiro Machado Suite.



Sheet localization



Sheet articulation



GEOLOGICAL MAP

Scale: 1:250,000



UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR PROJECTION

UTM Origin (km): Equator and Central Meridian 51° W.Gr.,

plus the constants: 10,000km and 500km, respectively.

Horizontal Datum: Córrego Alegre, MG.

Magnetic declination of the centre of the sheet in 1998: 11°34'W, raising 8,5' annually

Figure 2: Geological map of part of the Pedro Osório map – SH.22-Y-C, sampling places in red (adapted from Ramgrab & Wildner, 1999)

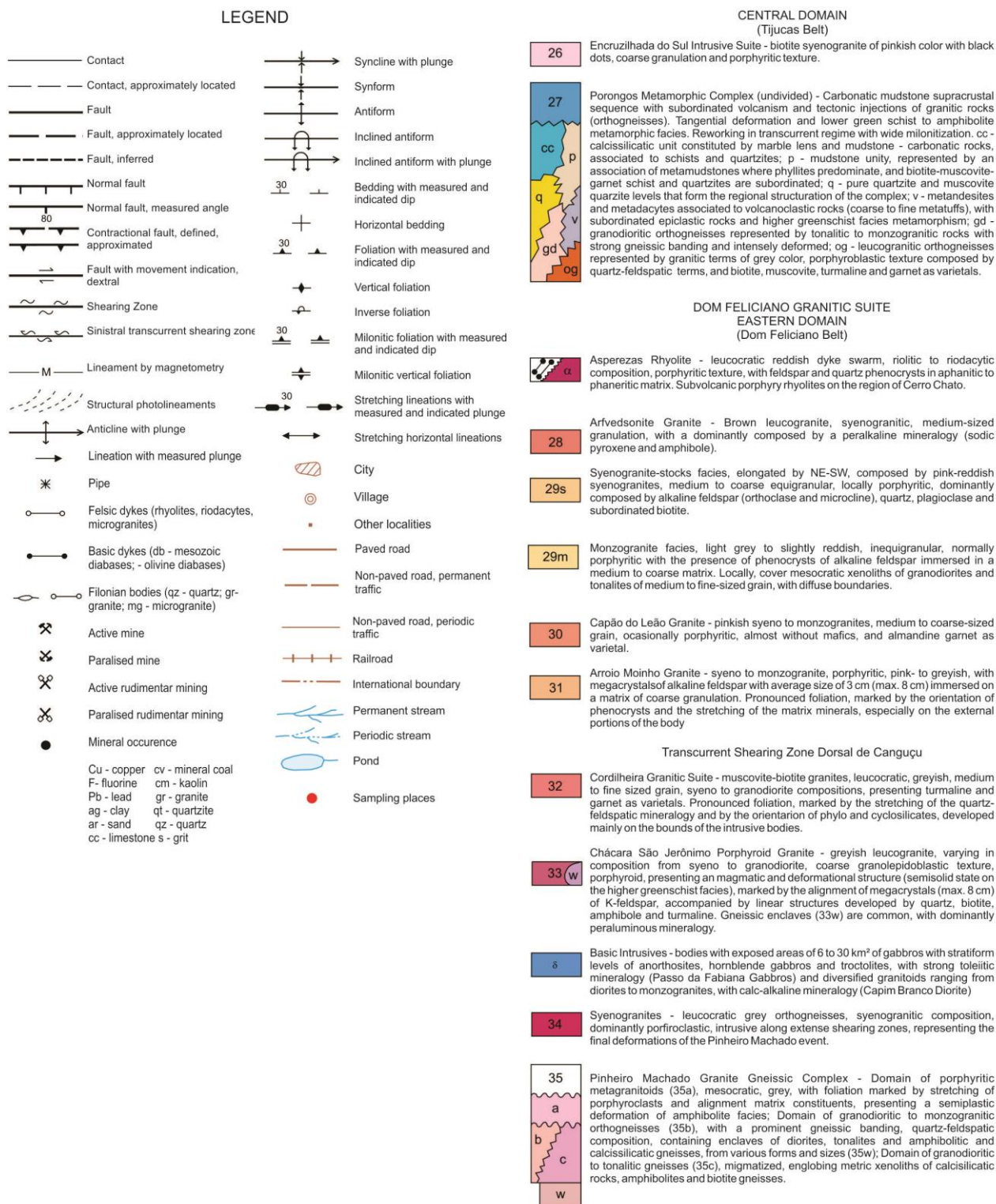


Figure 2: Continuation.

These gneisses are mainly constituted of biotite (\pm hornblende) orthogneisses derived from quartz-diorites, tonalites, thondjemites and granodiorites, with enclaves of subordinated diorites (Fragoso César *et al.*, 1986; Figueiredo *et al.*, 1990; Philipp & Machado, 2002). The wide

compositional variation of the rocks of this unit is supported by Figueiredo *et al.* (1990), which show a variation from gabbro-diorites to tonalite-granodiorites, with predominance of intermediate terms; the contents of trace elements define these granitoids as pre-collisional environment, related to the subduction of oceanic lithosphere under active continental margin, where the Piratini Gneisses would be raised by differentiation of basic magmas produced by partial melting of lithospheric Proterozoic mantle, induced by dehydration of the oceanic lithosphere in subduction. Figueiredo *et al.* (1990) suggests a crescent reworking of continental crust or mixture of crustal magmas until a post-collisional stage, to explain the granitoids of greater maturity.

Silva *et al.* (1999) presents an age of magmatic crystallization of 781 ± 5 Ma (U-Pb zircon ages) for this association, which would be the direct result from crustal melting of precursor paleoproterozoic rocks. Koester *et al.* (2012) suggest the presence of a basement in about 800 Ma represented by a continental magmatic arc that reveals a crustal accretion in this area at this time; a subduction zone starting at 800 Ma and a final collision at 620 Ma would be the main scenario of amalgamation of western Gondwana and eastern Dom Feliciano Belt.

For the Uruguayan portion of Dom Feliciano Belt, are described by Lenz (2010) and Lenz *et al.* (2011, 2012 and 2014) the Cerro Bori Orthogneisses (Cerro Olivo Complex), which are constituted of tonalitic and granodioritic gneisses, mafic gneisses and amphibolites, with medium to high metamorphic grade, plus some associated migmatites. Several geochemical similarities on the contents of major and trace elements and in the geochronological dating between these gneisses and the Piratini Gneisses might correlate the Brazilian unit with his Uruguayan counterpart.

5. RESULTS

5.1 Field characteristics

The Piratini Gneisses present compositions ranging from quartz dioritic, tonalitic and granodioritic terms in addition to some subordinated dioritic terms, with a predominance of the

intermediate terms. The crystals range in general from medium to fine grain size, with subhedric forms. On the figure 3 are shown general aspects of the gneisses.

5.2 Petrography

The rocks inserted in the Piratini Gneisses unit are composed mostly by plagioclase, quartz, biotite, and microcline, presenting as subordinated minerals muscovite, green hornblende and orthopyroxene. Granoblastic texture with interlobate contacts is visualized, marked by feldspar and quartz, and lepidoblastic texture marked by mica minerals, in particular biotite, that show the metamorphic character of these rocks. General aspects are shown in figure 4a (tonalitic gneiss with granoblastic texture) and 4b (ultrapotassic quartz dioritic gneiss with lepidoblastic texture).

Plagioclase occurs abundantly, with variable size between 1 and 6 mm (2 mm on average) and the crystals have subhedric shape. Granoblastic texture is easily visualized (fig. 4a). Deformational features are common, such as flame-shape twinning and subgrain formation. Exsolution and myrmekitic texture formation are less common.

Quartz occurs commonly, with variable size between 0.1 and 2 mm (1 mm on average) and the crystals have subhedric to anhedral shape, with comminuted crystals sometimes. The presence of undulose extinction and granoblastic texture are visualized (Fig. 4a); also notable but in a less common way, there is a strong formation of subgrain, as well as recrystallization on the edges and contacts between crystals.

Microcline has less common occurrence than plagioclase and quartz, with variable size between 0.5 to 3 mm (1 mm on average), and crystals of subhedric shape. Just as plagioclase, the crystals present deformational features such as flame-shape twinning.

Biotite, mafic mineral with highest occurrence, has light brown to reddish-brown color, with variable size between 0.1 to 2 mm (on average 0.5 mm), and the crystals have subhedric to euhedral shape. Presents well-developed foliation, marked by their mineral orientation (Fig. 4b). Sometimes forms inclusion in plagioclase and symplectic texture with quartz.

As accessory phases, iron oxides, apatite, allanite and zircon are found. Secondarily, there is formation of epidote and chlorite by alteration of plagioclase and biotite, respectively.

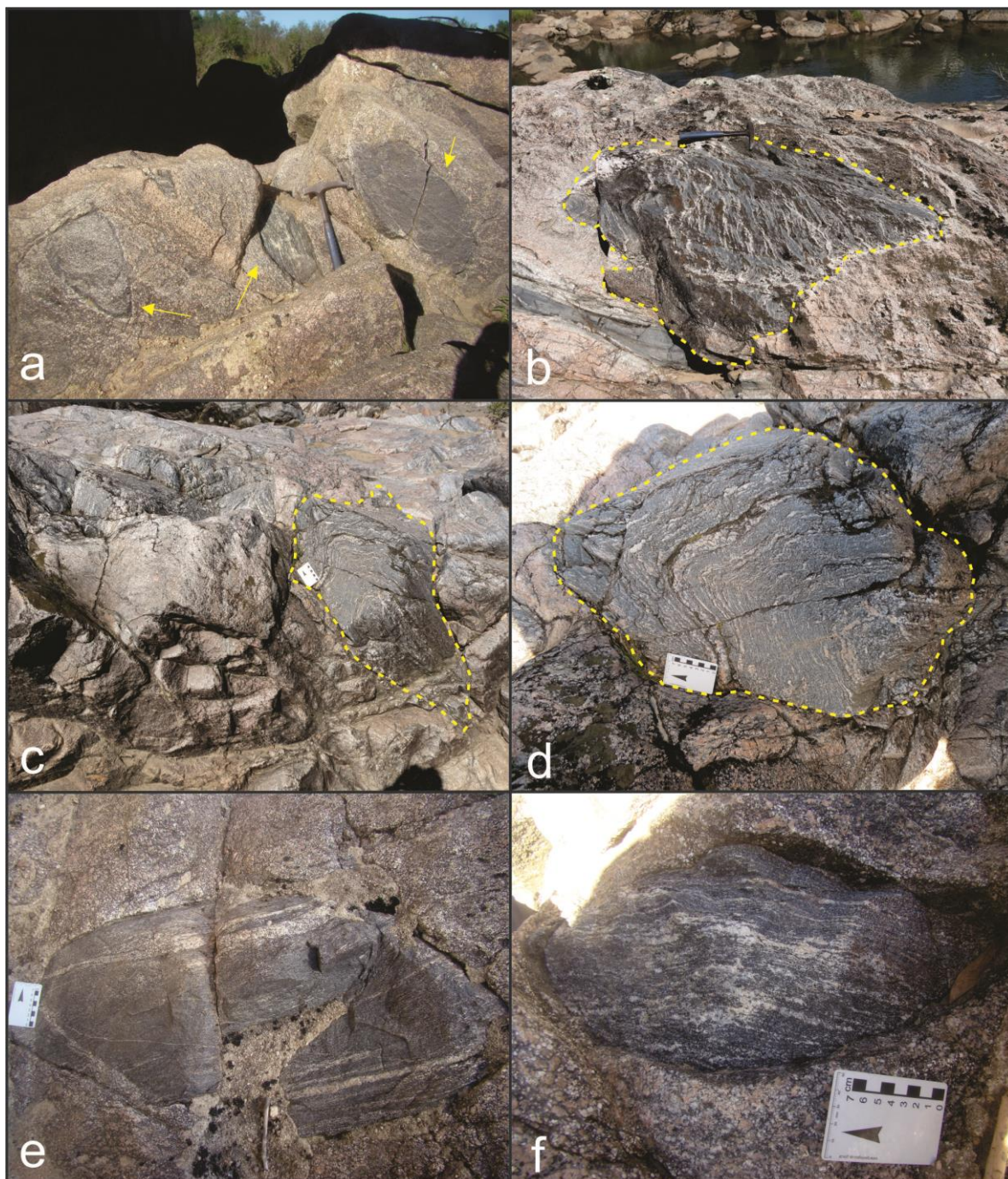


Figure 3: Field photographs: (A) Outcrop AP-19, various xenoliths of gneiss (UTM 6512649mN/312214mE, 22J fuse); (B, C and D) Outcrop GT-6, xenoliths of granodioritic gneiss (6509530mN/311000mE, 22J fuse); (E and F) Xenoliths in greater detail of the outcrop AP-19.

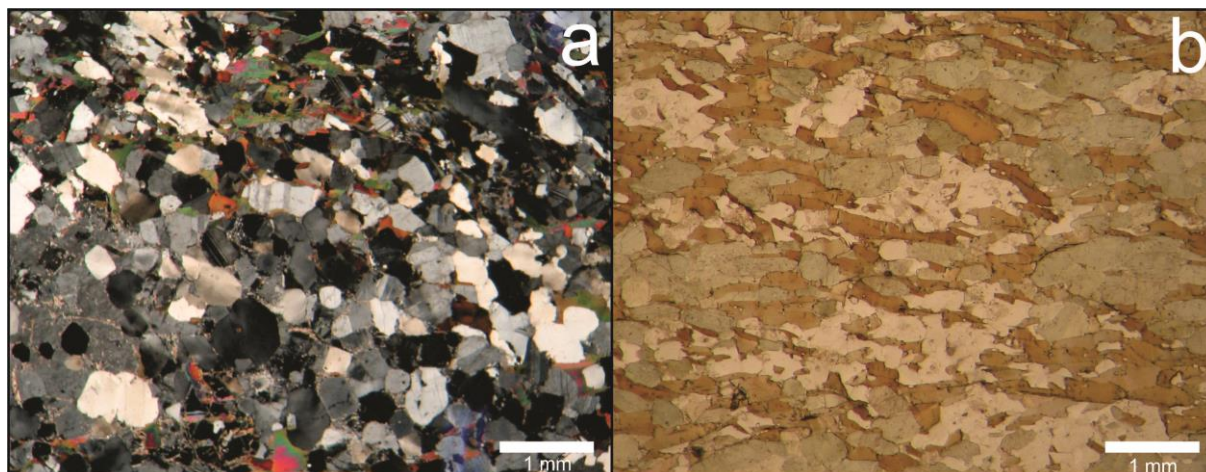


Figure 4: Photomicrographs. (A) General aspects in thin section (AP-18) of tonalitic gneiss under crossed nicols and increase of 5 x, showing granoblastic texture; (B) General aspects in thin section (AP-19-B) of ultrapotassic quartz dioritic gneiss under natural light and increase of 5 x, showing pronounced lepidoblastic texture.

5.3 Geochemistry

The results of geochemical analysis of Piratini Gneisses are shown in table 1, and the diagrams shown include data from Lenz *et al.* (2012, 2014) for further comparison between this unit and the Type-II and Type-III gneisses from Cerro Bori Orthogneisses (Cerro Olivo Complex, Uruguay). The data show that the rocks belonging to the Piratini Gneisses have intermediate to felsic contents of SiO_2 , ranging from 53.41 to 68.22 %. The alkali content ($\text{NaO}_2 + \text{K}_2\text{O}$) in average is 5.08%, ranging from 3.00% and 8.29%. In the diagrams of Figure 5, the major elements Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 and P_2O_5 present trends of negative correlation, showing depletion of these elements compared to the increase of silica, which suggests a consumption of these oxides to form mainly plagioclase, biotite and hornblende.

Table 1: Geochemistry data of the Piratini Gneisses.

Element	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ba	Be	Ce	Co	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd
Content	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
GT-2C	61.25	16.56	8.93	2.48	1.05	1.64	4.97	1.08	0.05	0.11	0.015	711,00	7,00	106.2	17.6	8.2	6.46	3.11	1.01	23.9	7.25
GT-3A	61.38	16.11	6.91	1.69	2.76	2.6	5.69	0.98	0.35	0.08	<0.002	939,00	4,00	129,00	11.3	6.8	6.45	2.35	1.31	21.4	9.17
GT-5A	61.03	14.17	8.45	3.81	5.49	2.85	1.53	0.9	0.11	0.16	0.016	265,00	3,00	48.8	21.4	3.7	4.12	2.43	1.01	14.9	4.36
GT-6B	61.06	14.96	8.35	3.71	3.45	1.47	3.83	0.89	0.1	0.13	0.013	557,00	2,00	35.3	20.1	6.6	1.66	1.03	1.12	17.8	2.07
GT-6C	62.9	15.47	7.45	2.94	4.69	1.81	2.33	0.85	0.09	0.13	0.01	467,00	8,00	45.8	17.5	4.9	4.55	2.74	1.16	16,00	4.44
GT-6D	60.98	16.05	7.82	3.63	4.74	1.85	2.68	0.8	0.06	0.15	0.014	494,00	6,00	46.4	18.9	4.9	2.95	2.01	1.08	18.9	2.88
AP-17-A	68.22	12.84	6.7	2.83	4.54	1.04	1.96	0.85	0.1	0.11	0.008	498,00	2,00	61.4	20.2	19.5	3.82	2.28	1.15	14.8	4.42
AP-17-B	62.1	15.33	6.78	4.27	5.62	1.31	2.35	0.76	0.16	0.13	0.012	385,00	2,00	47.3	22.2	3.9	3.6	2.05	1.03	17.2	3.9
AP-18	67.87	14.67	5.14	1.95	2.9	2.72	2.53	0.61	0.11	0.08	0.005	415,00	1,00	64,00	12.6	4,00	5.29	3.05	1.2	19.5	5.53
AP-19-A	57.17	15.04	9.08	4.02	6.38	3.22	1.57	0.86	0.15	0.18	0.014	220,00	6,00	78.3	19.5	5.1	4.05	2.45	0.95	22.9	5.15
AP-19-B	53.41	11.24	8.78	11.29	4.98	1.13	4.8	1.06	0.4	0.19	0.096	851,00	5,00	113.1	41.7	13.2	4.23	1.93	1.43	17.8	6.77
Element	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd	Ni	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb
Content	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
GT-2C	6.8	1.18	50.8	0.42	20.8	45,00	38,00	11.88	256.6	8.11	2,00	119.9	1.3	1.14	21.1	0.46	4.6	131,00	0.8	31.6	3,00
GT-3A	8.3	0.98	65.7	0.25	18.2	56.6	<20	15.05	264.4	11.2	9,00	249.9	1.4	1.27	36.7	0.32	2.3	89,00	0.5	27.4	1.82
GT-5A	6.3	0.79	21.6	0.4	10.2	23.5	38,00	5.46	103.8	4.46	5,00	325.2	0.6	0.7	3.6	0.38	0.4	141,00	0.5	23,00	2.54
GT-6B	4.9	0.34	19.2	0.19	8.6	16.9	33,00	4.21	311.1	2.78	4,00	226.2	0.6	0.29	0.7	0.17	0.6	138,00	0.7	10.3	1.24
GT-6C	5.7	0.99	21.8	0.43	8.6	20.2	26,00	5.37	147.8	3.92	5,00	337.5	0.3	0.8	1.3	0.46	0.4	107,00	<0.5	26.4	2.75
GT-6D	3.9	0.6	24.2	0.38	8.5	18.9	26,00	5.14	175.9	3.13	4,00	208.7	0.4	0.45	1.4	0.33	0.6	108,00	0.5	16.6	2.47
AP-17-A	6.1	0.78	30.2	0.35	12,00	28.7	15.4	7.34	132.2	5.03	3,00	171.9	0.8	0.69	8.7	0.35	1.5	130,00	1.2	22.2	2.24
AP-17-B	3.6	0.73	22.9	0.31	8.4	22.1	33.4	5.65	111.6	4.14	2,00	346.6	0.8	0.63	7.1	0.33	1.5	118,00	0.8	20.5	1.97
AP-18	5,00	1.05	30.8	0.44	14,00	29.7	13.6	7.72	165.8	5.96	1,00	157.5	1.2	1,00	13.2	0.46	2.8	79,00	0.6	29.6	2.79
AP-19-A	4.2	0.84	44.1	0.56	10.7	36.2	11.1	10.12	120.7	6.42	7,00	378.8	0.6	0.78	14.5	0.43	1.4	175,00	0.7	24.6	3.07
AP-19-B	11.3	0.75	50.4	0.3	23.4	55.2	278,00	13.87	369.6	9.71	11,00	168.2	1.5	0.88	24.2	0.3	4.9	148,00	1.1	22.5	2.05
Element	Zr	Aq	As	Au	Bi	Cd	Cu	Hq	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	Zn	LOI	Total	UTM			
Content	PPM	PPM	PPM	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%	22-J			
GT-2C	228.5	<0.1	1.3	1,00	<0.1	<0.1	39.8	<0.01	0.8	37.3	5.3	<0.1	<0.5	1.4	109,00	1.6	99.76	6538640mN/314470mE			
GT-3A	311.4	<0.1	<0.5	1,00	<0.1	<0.1	12.1	<0.01	<0.1	2.3	11.2	<0.1	<0.5	1.3	112,00	1.2	99.72	6490100mN/271380mE			
GT-5A	231.8	<0.1	<0.5	1.1	<0.1	<0.1	38.2	<0.01	0.3	33,00	4.1	<0.1	<0.5	0.6	76,00	1.3	99.78	6512640mN/312230mE			
GT-6B	175.9	<0.1	<0.5	0.5	<0.1	0.1	16,00	<0.01	0.2	31,00	4.4	<0.1	<0.5	1.3	98,00	1.8	99.78	6509530mN/311000mE			
GT-6C	202.6	<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	8,00	<0.01	0.2	23.6	4.7	<0.1	<0.5	0.9	84,00	1.1	99.79	6509530mN/311000mE			
GT-6D	144.8	<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	10.7	<0.01	0.1	25.1	5.5	<0.1	<0.5	1.1	89,00	1,00	99.81	6509530mN/311000mE			
AP-17-A	220.1	0.1	0.5	1.7	0.1	0.1	30.8	0.01	0.3	15.4	5.2	0.1	0.5	0.7	68,00	0.6	99.81	6538540mN/315539mE			
AP-17-B	123.4	0.1	0.5	0.6	0.1	0.1	12.2	0.01	0.1	33.4	10.7	0.1	0.5	0.5	57,00	1,00	99.87	6538540mN/315539mE			
AP-18	166.5	0.1	0.5	1.7	0.1	0.1	15,00	0.01	1.7	13.6	3.1	0.1	0.5	0.8	70,00	1.3	99.88	6538606mN/314429mE			
AP-19-A	155.4	0.1	0.8	0.5	0.1	0.1	4.3	0.01	0.1	11.1	6.2	0.1	0.5	0.4	103,00	2.1	99.75	6512649mN/312214mE			
AP-19-B	379.4	0.1	0.6	1.4	0.1	0.1	4.6	0.01	0.1	278,00	6.2	0.1	0.5	2,00	102,00	2.2	99.6	6512649mN/312214mE			

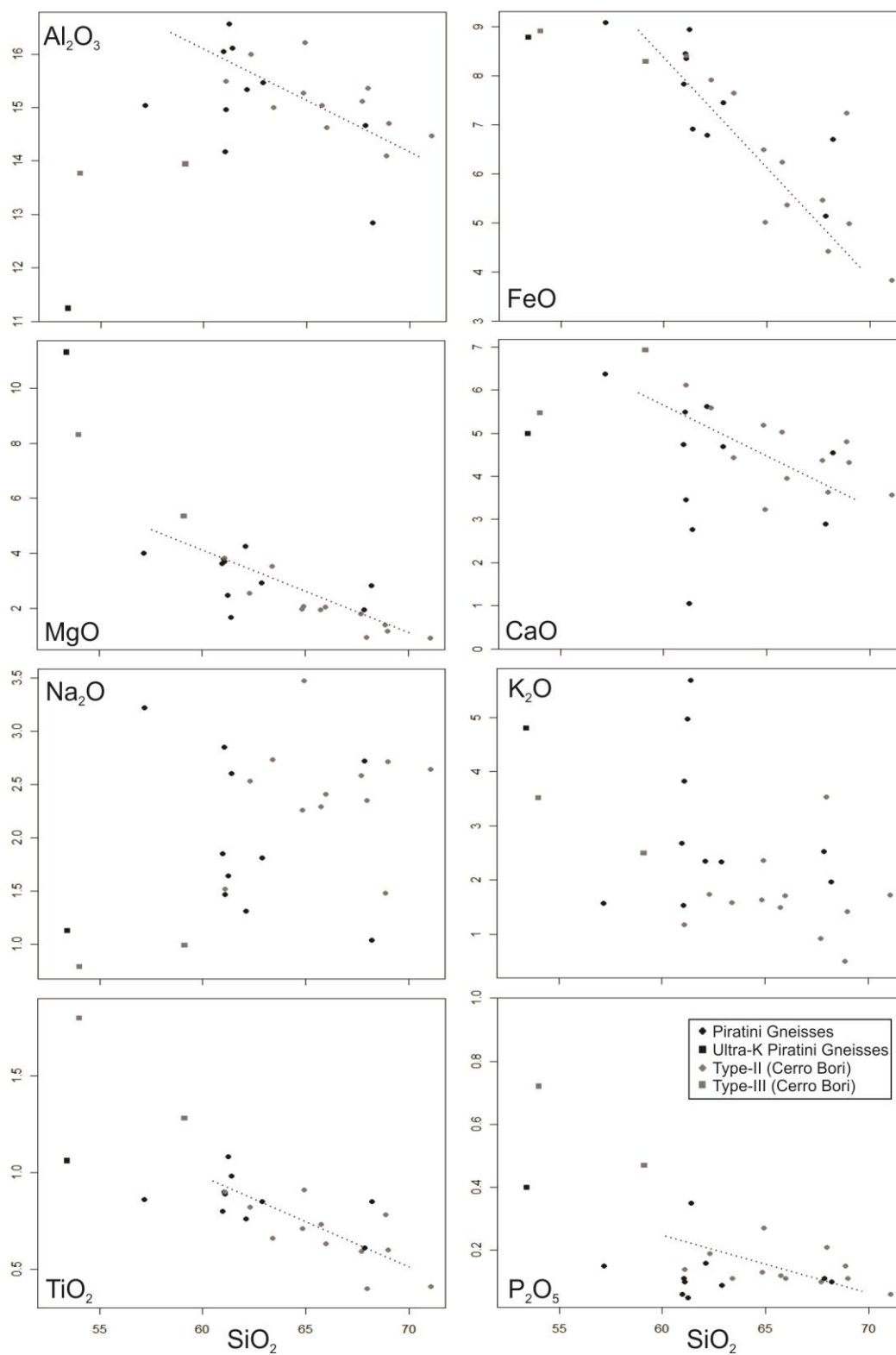


Figure 5: Diagrams of major oxides versus SiO₂. Data for Type-II and Type-III samples were extracted from Lenz (2010).

In the classification diagram of total alkali vs. silica – TAS (Le Maitre, 2002) the samples show a subalkaline composition, varying from dioritic to granodioritic terms (Fig. 6). The AFM (Irvine & Baragar, 1971) and $\text{SiO}_2\text{-FeO}_{\text{total}}/\text{MgO}$ (Miyashiro, 1974) diagrams in figure 7a and 7b show that the samples of Gneiss Piratini has a composition belonging to the calc-alkaline series, being peraluminous to slightly metaluminous. In the $\text{K}_2\text{O-SiO}_2$ diagram of Peccerillo & Taylor (1976) of Figure 8 is shown that the rocks of this unit are mostly medium-K calc-alkaline, with some samples containing a little higher content of K_2O . One of the samples (AP-19-B) has ultrapotassic features (considering $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 3$) and high MgO and P_2O_5 content, geochemically similar to the Type-III rocks samples of Lenz *et al.* (2012).

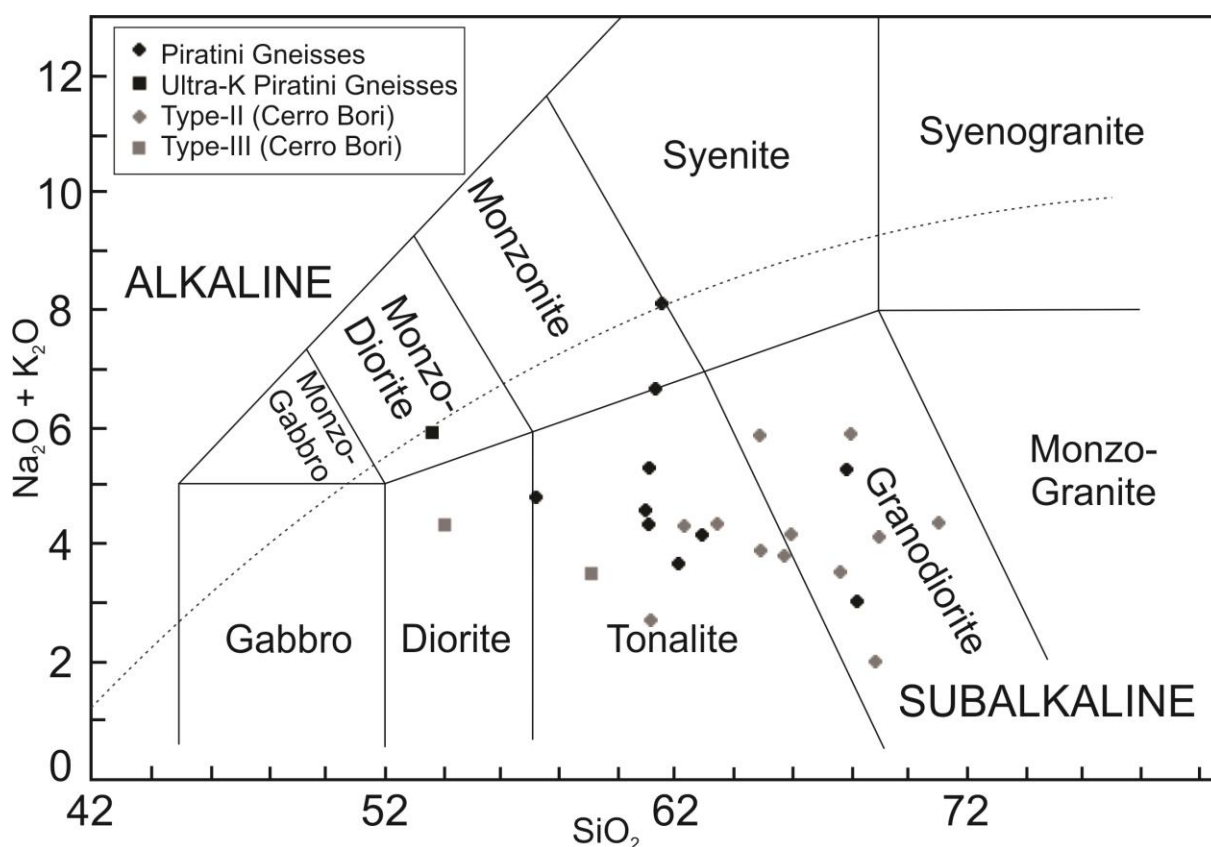


Figure 6: Total alkali versus SiO_2 diagram – TAS (Le Maitre, 2002). Data for Type-II and Type-III were extracted from Lenz (2010).

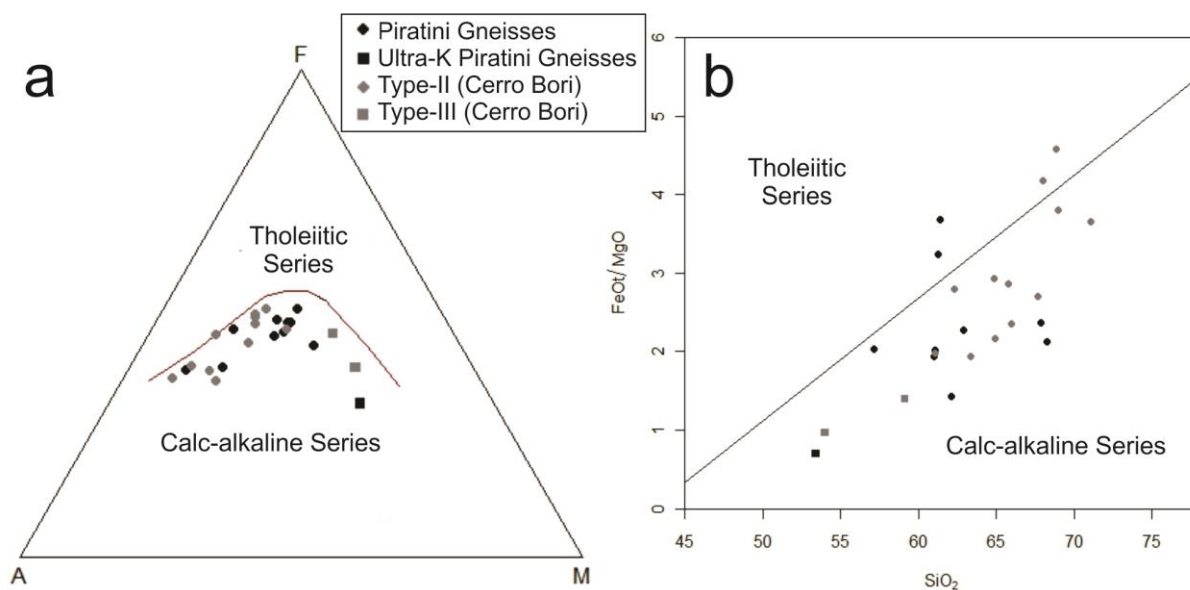


Figure 7: Classification diagrams: a) AFM (Irvine & Baragar, 1971); b) SiO_2 - $\text{FeO}_{\text{total}}/\text{MgO}$ (Miyashiro, 1974). Data for Type-II and Type-III were extracted from Lenz (2010).

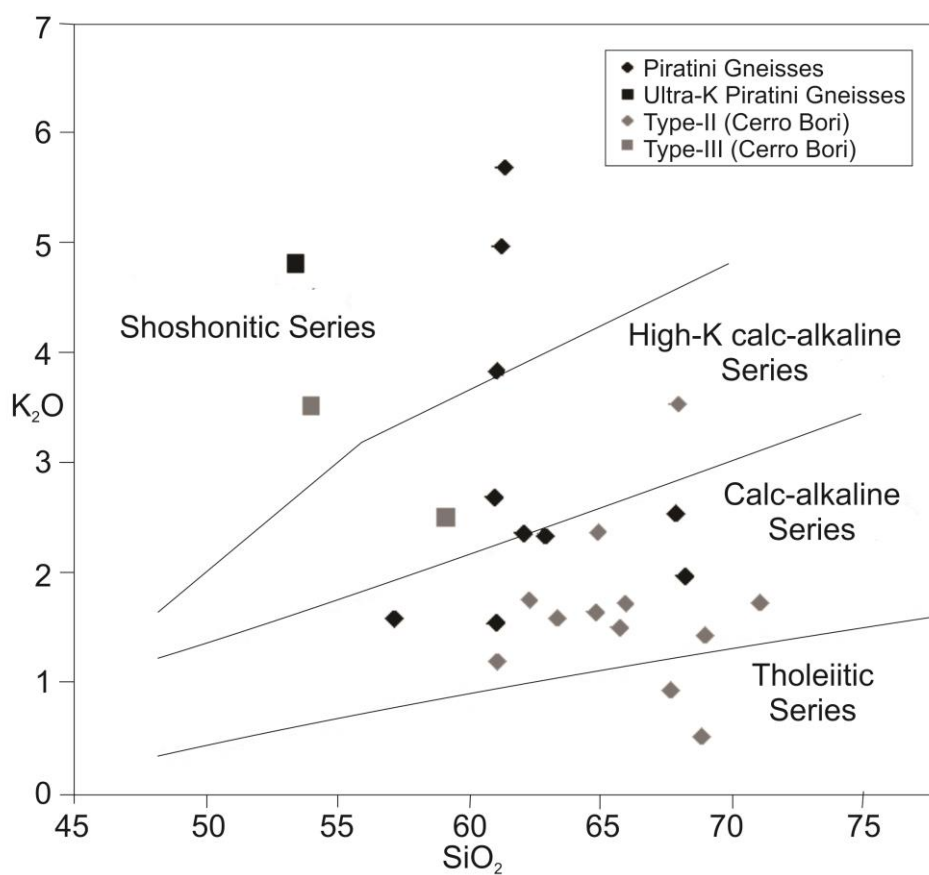


Figure 8: Classification diagram K_2O – SiO_2 from Peccerillo & Taylor (1976). Data for Type-II and Type-III were extracted from Lenz (2010).

Spidergrams are shown in figures 9a and 10a (Piratini Gneisses and Type-II Cerro Bori Orthogneisses) and 9b and 10b (ultrapotassic sample of Piratini Gneisses and Type-III Cerro Bori Orthogneisses). The figure 9, with normalized samples for the Nakamura chondrite (1974), shows a homogeneous trend, with the rare earth elements (REEs) presenting an enrichment in light REE and a high La/Lu ratio ($\frac{La}{Lu} = \frac{34,7}{0,366} = 94,80$). In Figure 10, with normalization for the upper continental crust of Taylor & McLennan (1995), the samples, despite featuring a trend apparently more dispersed, are more restricted logarithmically, and then closest to the pattern of normalization, which indicates that this gneissic association has a strong influence of crustal elements, possibly having gone through several events of crustal reworking. Accented negative anomalies of Nb and Ta observed in figure 9a and 9b are strong evidence of a domain under subduction zone regime. There is also an accented negative anomaly of Sr, showing its high consumption in the formation of plagioclase.

Geotectonic diagrams of Cabanis & Lecolle (1989) and Harris *et al.* (1986) are respectively used in figure 11a and 11b, along with comparative data of Australian granitoids of subduction zone of Winter (2011) and Andean volcanic zone rocks Varekamp *et al.* (2010). The diagrams suggest strong evidence that the Piratini Gneisses were formed on an environment of continental magmatic arc. In figure 12, the data applied to the diagram of Pearce (2008) corroborate this information, suggesting an active continental margin environment.

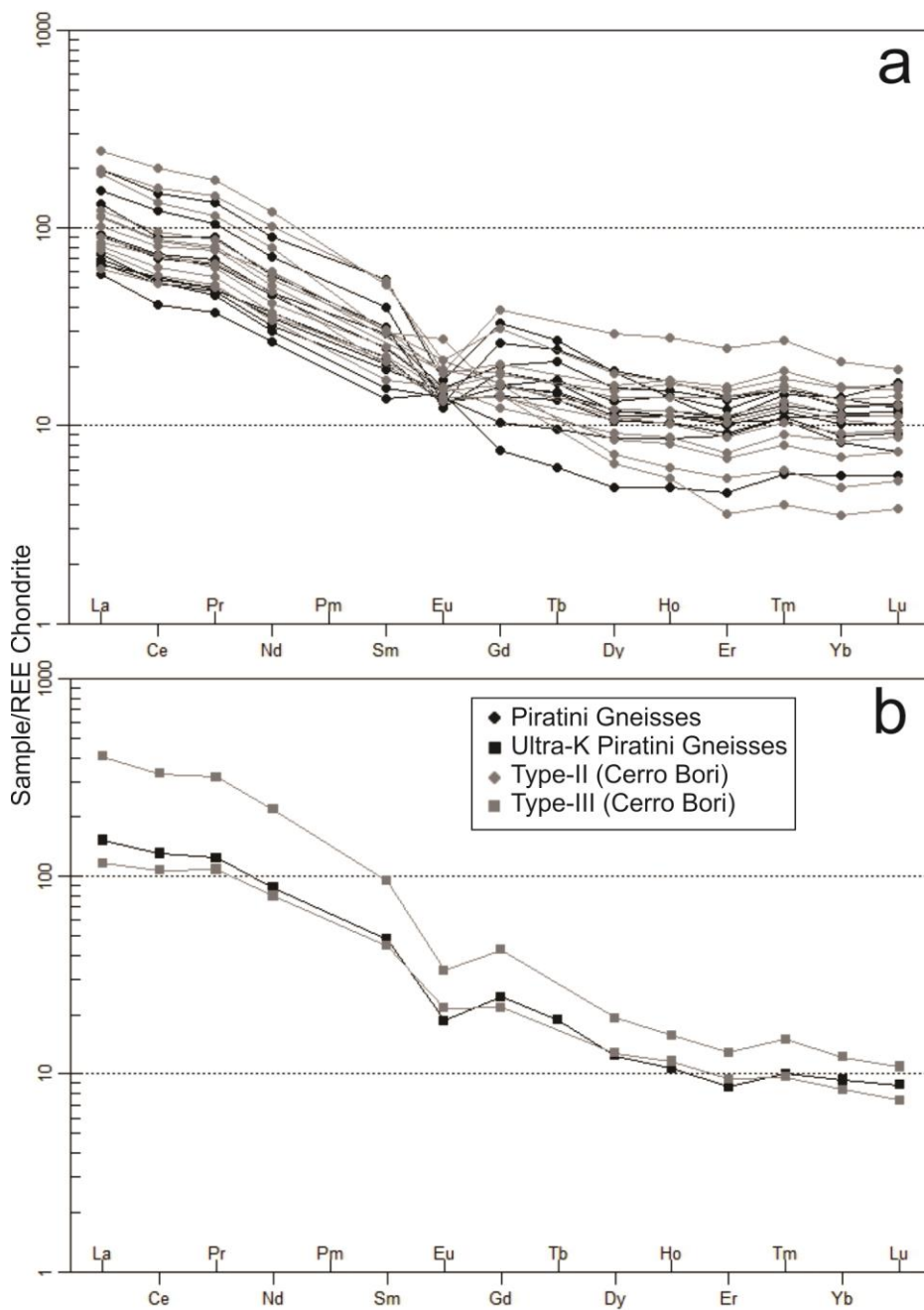


Figure 9: Normalized spidergrams to REE chondrite (Nakamura, 1974): a) Samples of Piratini Gneisses and Type-II Cerro Bori Orthogneisses; b) Ultrapotassic samples of Piratini Gneisses and Type-III Cerro Bori Orthogneisses. Data for Type-II and Type-III were extracted from Lenz (2010).

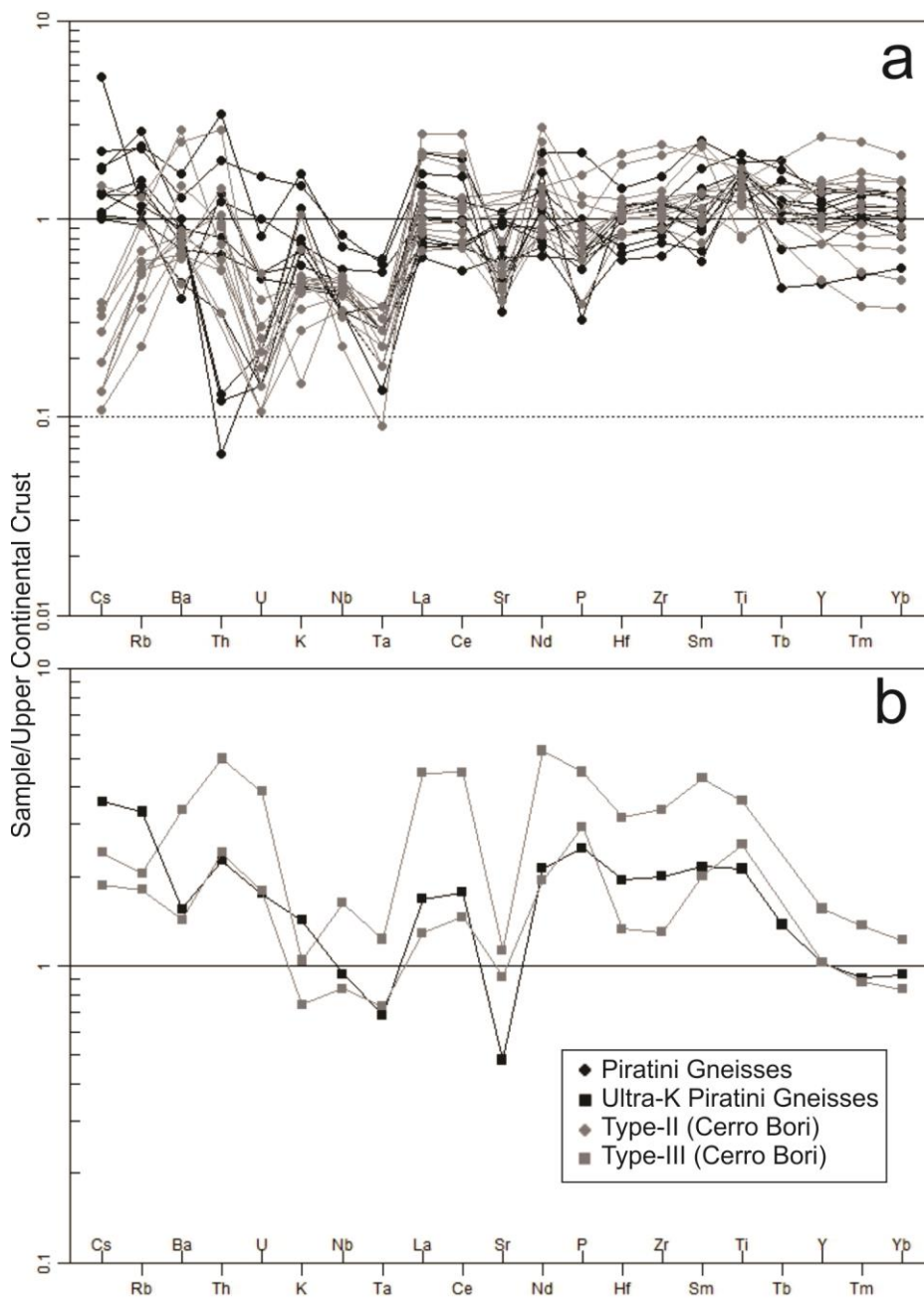


Figure 10: Normalized spidergrams to upper continental crust (Taylor & McLennan, 1995): a) Samples of Piratini Gneisses and Type-II Cerro Bori Orthogneisses; b) Ultrapotassic samples of Piratini Gneisses and Type-III Cerro Bori Orthogneisses. Data for Type-II and Type-III were extracted from Lenz (2010).

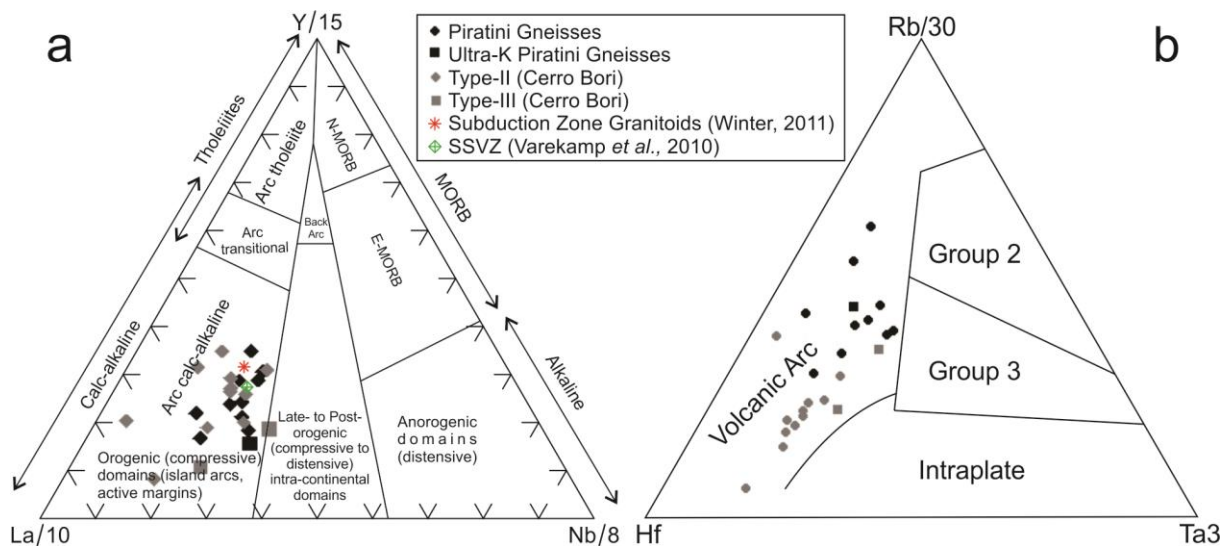


Figure 11: Geotectonic diagrams based on Cabanis & Lecolle (1989) and Harris *et al.* (1986). Data for Type-II and Type-III were extracted from Lenz (2010).

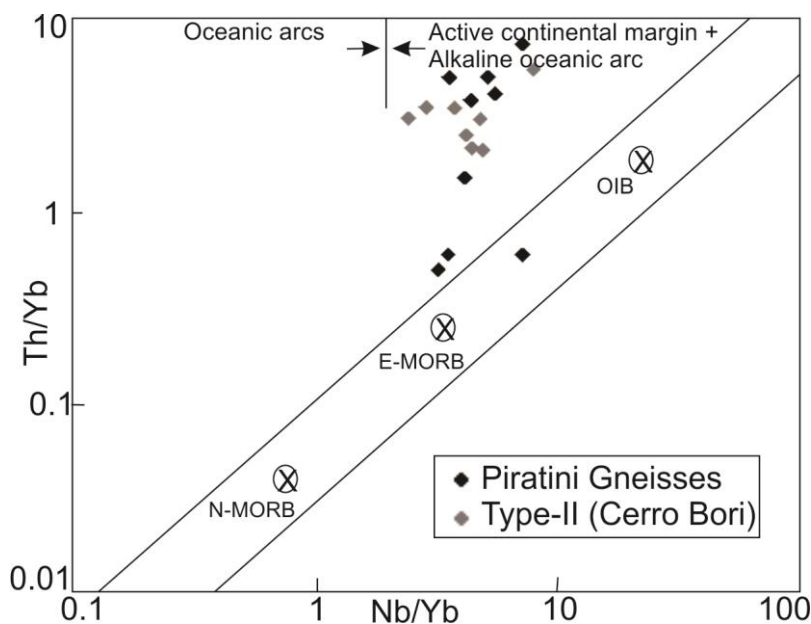


Figure 12: Geotectonic diagram based on Pearce (2008). Data for Type-II and Type-III were extracted from Lenz (2010).

5.4 U-Pb Geochronology

The study of texture through images of cathodoluminescence (CL) was of fundamental importance for the correct interpretation of the age obtained in zircons of Piratini Gneisses.

The zircons from the granodioritic gneiss of the AP-17-A sample (fig. 13) are predominantly euhedral, but usually occur surrounded by a border, giving to the crystal a rounded shape. The irregular oscillatory zonation is the predominant texture. The secondary domains found in these zircons are recrystallization fronts, depleted in U and REEs (brighter in CL). In addition, edges surrounding the oscillatory domains are found. The innermost edge occurs in virtually all zircons and is characterized by a high illumination of CL. Eventually can be recognized outermost edges with low CL light and high concentration of U and REEs. In this sample were also found a large amount of xenocrystals, with ages ranging from 2725 ± 28 Ma and 900 ± 11 Ma (Fig. 14a). The concentration of ages between 772 and 819 Ma is probably registering the age of magmatic crystallization of this rock in 784 ± 4 Ma (Fig. 14b). The younger ages were obtained on the zircon edges and reflect the high grade metamorphic event recorded in the sample.

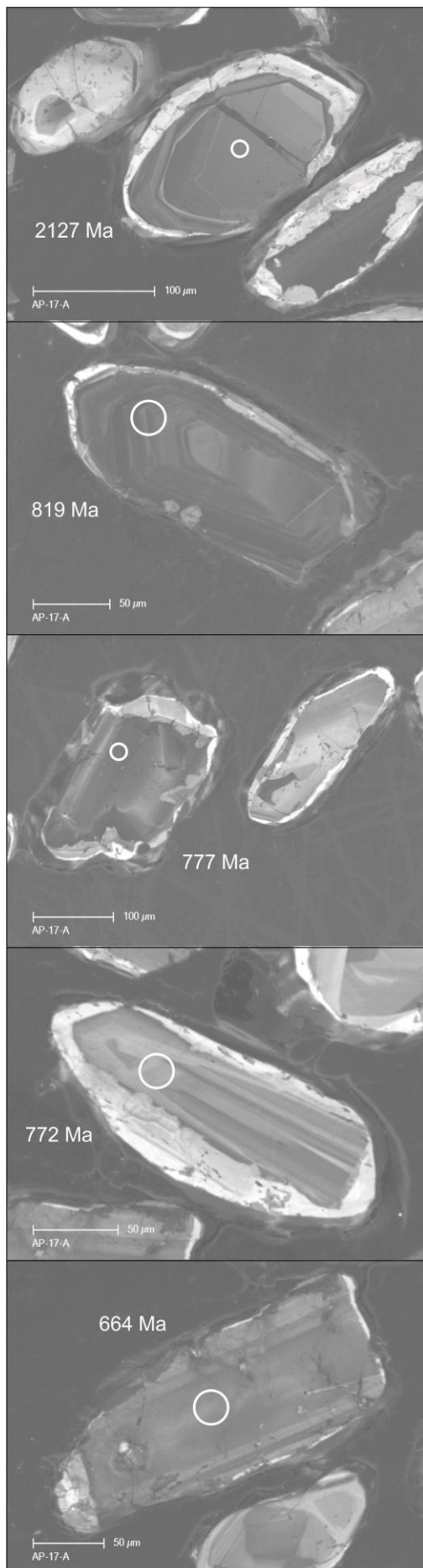


Figure 13: Secondary electron cathodoluminescence images from the sample AP-17-A for the textural study and identification of the analysis spot of SHRIMP.

Table 2: U-Pb isotopic data in zircon of granodioritic gneiss from Piratini Gneiss (sample AP-17-A). In gray, samples used on the determination of magmatic age. Corrected to c = 204Pb.

<i>Spot</i>	U (ppm)	Th (ppm)	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	% ^{206}Pb comum	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}^*}$	erro	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}^*}$	erro	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	erro	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ idade ^c	1σ erro	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ idade ^c	1σ erro	Concordância
A.19-1	115	44	0.39	0.20	0.1810	0.8	13.13	1.5	0.5261	1.2	2725	28	2662	13	102
A.11-1	229	98	0.44	0.06	0.1263	0.7	6.81	1.3	0.3909	1.1	2127	19	2047	12	104
A.13-1	160	154	0.99	0.14	0.1025	1.0	4.51	1.5	0.3190	1.1	1785	18	1669	19	107
A.2-1	214	131	0.63	0.21	0.0774	1.7	2.29	1.9	0.2151	1.0	1256	12	1131	33	111
A.24-1	156	92	0.61	0.22	0.0798	1.7	1.95	2.0	0.1774	1.2	1053	12	1192	33	88
A.8-1	170	80	0.48	0.43	0.0728	2.9	1.73	3.1	0.1719	1.2	1023	11	1009	59	101
A.23-1	148	117	0.82	0.47	0.0658	3.4	1.36	3.6	0.1500	1.3	901	11	801	71	112
A.14-1	275	81	0.30	0.16	0.0634	1.8	1.18	2.0	0.1330	1.0	819	8	721	37	114
A.10-1	149	79	0.54	0.20	0.0640	2.2	1.19	2.6	0.1300	1.3	813	10	742	47	110
A.3-1	129	64	0.51	0.27	0.0641	2.5	1.15	2.9	0.1301	1.4	790	10	745	54	106
A.16-1	119	68	0.59	0.47	0.0621	3.0	1.10	3.4	0.1290	1.4	782	11	676	65	116
A.1-1	397	262	0.68	0.17	0.0635	1.3	1.12	1.6	0.1281	0.9	777	7	725	27	107
A.5-1	96	62	0.66	0.28	0.0637	5.5	1.12	5.7	0.1272	1.6	772	12	732	117	105
A.22-1	256	26	0.10	0.14	0.0609	1.6	0.94	2.0	0.1126	1.1	688	7	634	35	108
A.6-1	157	85	0.56	0.00	0.0595	3.4	0.89	3.6	0.1086	1.3	664	8	585	73	113

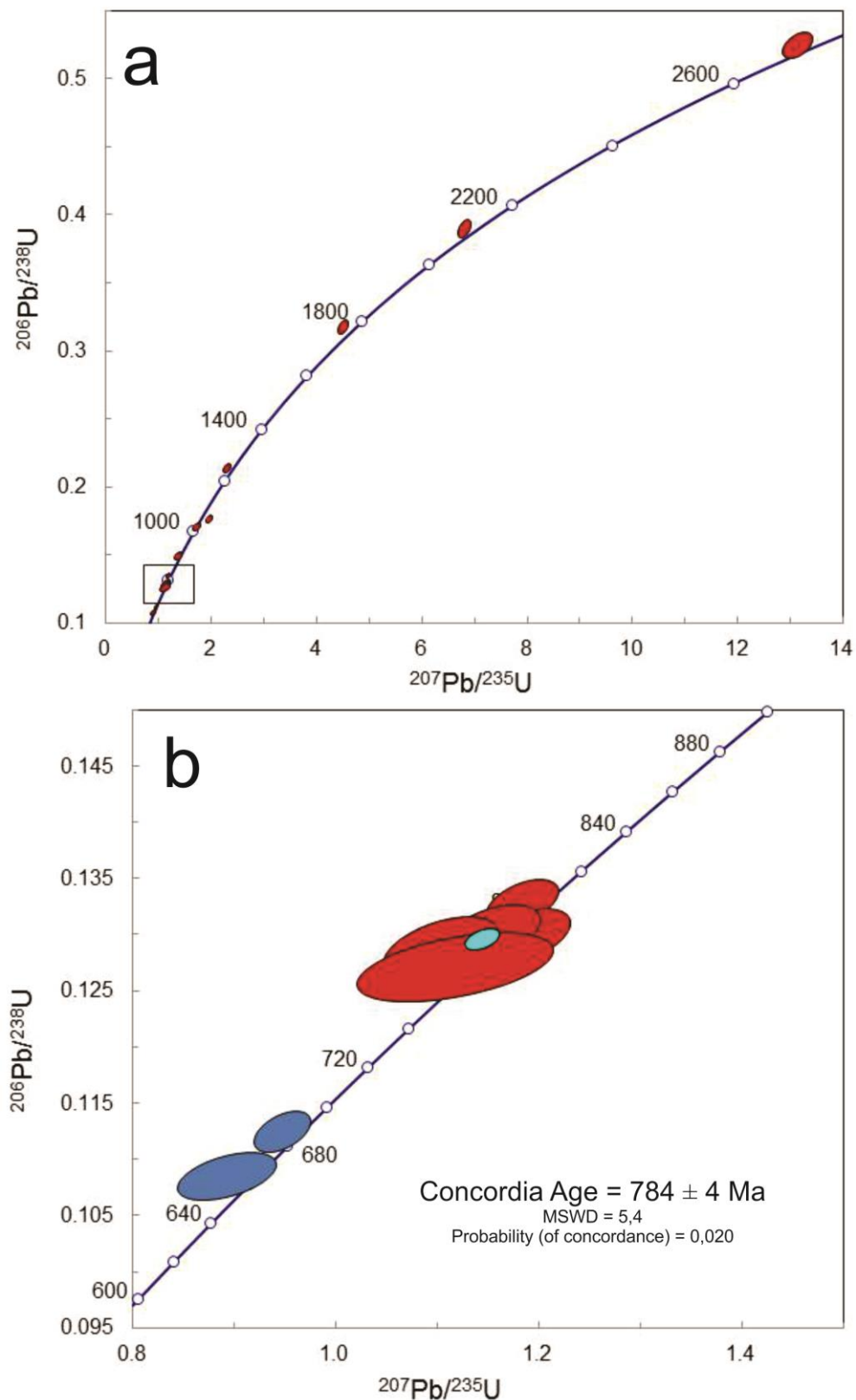


Figure 14: Concordia diagram (AP-17-A sample): A) General diagram, with all points analyzed. Zircons between 901 and 2725 Ma interpreted as xenocrystals; zircons between 772 and 819 Ma (rectangle shown in figure B) interpreted as magmatic; and zircons between 664 and 688 Ma

interpreted as metamorphic; B) In red, zircons used on the magmatic age calculation, and in blue, zircons suggesting an age of metamorphism.

6. DISCUSSIONS

The rocks belonging to the Piratini Gneisses are mainly composed of gneisses with intermediate to felsic compositions, with plagioclase, quartz, microcline and biotite as primary mineralogy, and muscovite, green hornblende and orthopyroxene subordinated. Granoblastic and lepidoblastic textures visualized in microscopy, as well as textural analyses of zircons borders, indicate the medium to high metamorphic grade of these rocks. These gneisses range from quartz dioritic to granodioritic terms, medium-K calc-alkaline subalkaline, peraluminous to slightly metaluminous character. Geochemically, the studied gneisses can be correlated with the tonalite gneisses from Type-II Cerro Bori Orthogneisses described by Lenz (2010), with only one of the samples studied (AP-19-B) being considered ultrapotassic, and thus of great similarity with gneisses from Type-III of Cerro Bori Orthogneisses.

The great resemblance with the normalized standard of upper continental crust observed in the spidergrams of figure 9 shows that the rocks of this unit have large crustal contribution and are possibly originated from reworked protoliths. The different geotectonic diagrams and the anomalies of Nb and Ta of spidergrams show strong evidences that the Gneisses Piratini were formed in an environment associated with subduction zone, involving continental and oceanic crust.

The U-Pb isotopic data in zircon allowed to set the magmatic age of the Piratini Gneisses in 784 ± 4 Ma, corroborating the age of 781 ± 5 Ma (also U-Pb zircon ages) from Silva *et al.* (1999) in a xenolith of tonalitic gneiss of this unit. Those data suggest a geochronological correlation between Piratini Gneisses with the Cerro Bori Orthogneisses in Uruguay, where the magmatic ages range from 767 to 800 Ma, as described by Lenz (2010) and Lenz *et al.* (2014). A medium to high grade metamorphic event at approximately 664 Ma is inferred through the recrystallization ages on the edges of the zircons, which indicates that this metamorphic event presents metamorphism ages similar to

those found for the Cerro Bori Orthogneisses of 641 ± 17 Ma from Oyhantçabal *et al.* (2009) and ~ 676 Ma from Lenz (2010).

7. CONCLUSIONS

The Piratini Gneisses, because of its generally restricted occurrence in the form of xenoliths inserted in other units, are difficult to study and compare. However, this unit is correlated to the rocks from Type-II and Type-III of the Cerro Bori Orthogneisses (Uruguay) described by Lenz (2010), with geochronological, geochemical and geotectonical similarities.

The data obtained on the Piratini Gneisses enabled to set the rocks of this unit as intermediate to felsic, varying from quartz dioritic to granodioritic terms, medium-k (with an ultrapotassic sample as exception) calc-alkaline subalkaline, peraluminous to slightly metaluminous, with textural analysis at the edges of zircons setting conditions for high-grade metamorphism and P/T.

The geotectonic environment of this rock association, as well as the counterpart found in Uruguay, is continental magmatic arc, where ages obtained in zircon also corroborate the relation between the two associations, with magmatic age 784 ± 4 Ma, and the age of metamorphism at around 664 Ma. Thus, it is suggested a subduction starting around 800 Ma, pointing to the existence of an ocean between the Rio de La Plata Craton and other surrounding cratons during the breaking of the Rodinia supercontinent, and a final collision at about 620 Ma culminating with the amalgamation of the western and eastern portions of Gondwana and Dom Feliciano Belt, respectively.

References

- 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.
- Cabanis, B., Lecolle, M. 1989. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: unoutil pour la discrimination de las series volcaniques et la mise em evidence des processus de mélange et/ou dès contamination crustal. *C.R Academie Science Paris* v. 309, p. 2023-2029.
- Chemale Jr., F. 2000. *Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense*. In: Michael Holz; Luiz Fernando de Ros. (Org.). *Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, p. 03-44.

Compston, W., Willians, I. S., Kirschvink, J. L., Zhang, Z., Ma, G. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale. *Journal of the Geological Society of London*, v. 149, p. 171-194.

Costa, A.F.U. 1997. *Teste e Modelagem Geofísica da Estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no escudo Sul-Rio-Grandense*. Tese de Doutorado em Geociências - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 291p.

Fernandes, L. A. D., Menegat, R., Costa, A. F. U., Koester, E., Porcher, C. C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G. R., Camozzato, E. 1995. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-riograndense: Parte II – Uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, n. 4, p. 375-384.

Fernandes, L. A. D., Tommasi, A., Porcher, C. C., Koester, E., Kraemer, G., Scherer, C. M., Menegat, R. 1992. Granitóides precoces do Cinturão Dom Feliciano: caracterização geoquímica e discussão estratigráfica. *Pesquisas*, v. 19, n. 2, p. 197-218.

Figueiredo, M. C. H., Frago-Cesar, A. R. S., Kronberg, B. I. 1990 Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal - RN. *Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia - SBG*. v. 4. p. 1623-1638.

Fragoso-Cesar, A. R. S., Figueiredo, M. C. H., Soliani Jr, E., Faccini, U. F. 1986. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eopaleozóico) no escudo do Rio Grande do Sul. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia. p. 1321-1342.

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*. Doutorado em Geociências (Geoquímica e Geotectônica), Universidade de São Paulo, USP, Brasil. 387 p.

Harris, N. B. W., Pearce, J. A., Tindle, A. G. 1986. Geochemical characteristics of collision- zone magmatism. In: Coward M P, Ries A C (eds) Collision Tectonics. *Geological Society of London*, Special Publication 19, p 67-81.

Hartmann, L. A., Chemale Jr., F, Philipp, R. P. 2007. *Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré- Cambriano*. In: Ianuzzi, R.; Frantz, J.C.. (Org.). 50 anos de Geologia no Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Contribuições. 1ª ed. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, CIGO. IG-UFRGS, v. 1, p. 97-123.

Hartmann, L. A., Lopes, W. R., Savian, J. F. (in press) Integrated evaluation of the geology, aerogammaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-Riograndense Shield, southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência* (in press).

Irvine, T. M. & Baragar, W. R. 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* v. 8, p. 523-548.

Janousek, V., Farrow, C. M., Erban, V. 2003. GCDkit: new PC software for interpretation of whole-rock geochemical data from igneous rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67, A186. Abstracts of the Goldschmidt Conference, Kurashiki, Japan.

Janousek, V., Farrow, C. M., Erban, V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology* v. 47, p. 1255-1259.

Koester, E., Porcher, C. C., Fernandes, L.A.D., Lenz, C., Masquelin, E., Gross, A. O. M. S. 2012. Crustal accretion at 800 Ma in the Eastern Domain of the Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. In: VIII South American Symposium on Isotope Geology, 2012, Medellin. *Resumenes*, v. CD-Rom.

- Le Maitre, R. W. 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press, 236 p., Cambridge. 2002.
- Lenz, C. 2010. *Evolução do magmatismo Neoproterozóico registrado nos Ortognaisses Cerro Bori, Cinturão Dom Feliciano no Uruguai*. Tese de Doutorado em Geoquímica - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 195 p.
- Lenz, C., Fernandes, L. A. D., Mcnaughton, N. J., Porcher, C. C., Masquelin, H. 2011. U Pb SHRIMP ages for the Cerro Bori Orthogneisses, Dom Feliciano Belt in Uruguay: Evidences of a ~800Ma magmatic and ~650Ma metamorphic event. *Precambrian Research*, p. 149-163.
- Lenz, C., Porcher, C. C., Fernandes, L. A. D., Masquelin, H., Koester, E., Conceição, R. V. 2012. Geochemistry of the Neoproterozoic (800-767 Ma) Cerro Bori orthogneisses, Dom Feliciano Belt in Uruguay: tectonic evolution of an ancient continental arc. *Mineralogy and Petrology*, v. 1, p. 10.
- Lenz, C., Fernandes, L. A. D., Koester, E., Porcher, C. C. 2014. Geoquímica e idades U-PB SHRIMP do magmatismo máfico sin a pós colisional registrado nos ortognaisses do Complexo Cerro Olivo, Uruguai. *Cadernos de Geociências (UFBA)*, v. 11, p. 49-60-60.
- Ludwig, K. R. 2001. User's manual for Isoplot/Ex Version 2.49. *A geochronological toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley, USA, Berkeley Geochronological Center, 55 p.
- Masquelin, H., Fernandes, L. A. D., Lenz, C., Porcher, C. C., Mcnaughton, N. J. 2012. The Cerro Olivo Complex: a pre-collisional Neoproterozoic magmatic arc in Eastern Uruguay. *International Geology Review*, v. 54, p. 1161-1183.
- Miyashiro, A. 1974, Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274, p. 321-355.
- Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim Cosmochim Acta* v. 38, p. 757-775.
- Nardi, L. V. S.; Bitencourt, M. F. 2007. *Magmatismo Granítico e Evolução Crustal no Sul do Brasil*. In: R. Ianuzzi; J.C. Frantz. (Org.). 50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, v. 2, p. 125-141.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., Frei, R., Layer, P. 2007. Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Brasiliano-Pan-African, Uruguay). *Lithos*, v. 98, p 141-159.
- Pearce, J. A. 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, v. 100, p. 14-48.
- Peccerilo, A., Taylor, S. R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, p. 63-81.
- Philipp, R. P. 1998. *A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. Tese de Doutorado em Geoquímica e Geotectônica - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 269 p.
- Philipp, R. P., Machado, R. 2002. Ocorrência e significado dos septos do embasamento encontrados nas suítes graníticas do Batólito Pelotas, RS, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, v. 29, p. 43-57.
- Ramgrab, G. E., Wildner, W. 1999. *Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha SH.22-Y-C*. CPRM, Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:250.000 – Brasília: CPRM.

Ramgrab, G. E., Wildner, W., Camozzato, E. 1995. *Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha SH.22-Y-B*. CPRM, Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul. Relatório Final.

Ribeiro, M. 1977. Mapa geológico da quadrícula de Piratini, RS. *Fundação Zoobotânica do RS, Publicação Especial n° 2*, escala 1:50.000, Porto Alegre.

Saalmann, K., Gerdes, A., Lahaye, Y., Hartmann, L. A., Remus, M. V. D., Läufer, A. 2011. Multiple accretions at the eastern margin of the Rio de la Plata craton: the prolonged Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *International Journal of Earth Sciences*, ed. 2, v. 100, p. 355-378. 2011.

Santos, E. L., Ramgrab, G. E., Maciel, L. A., Mosmann, R. 1989. *Mapa Geológico do estado do Rio Grande do Sul*. 1° Distrito Regional, DNPM, escala 1:1.000.000.

Silva, L. C., Hartmann, L. A., Mcnaughton, N. J., Fletcher, I. R. 1999. Shrimp U/Pb zircon timing of Neoproterozoic granitic magmatism and collision in the Pelotas Batholith in southernmost Brazil. *International Geology Review*, Estados Unidos da América, v. 41, p. 531-551.

Taylor, S. R., McLennan, S. M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, p 1-312.

Varekamp, J. C., Hesse, A., Mandeville, C. W. 2010. Back-arc basalts from the Loncopue graben (Province of Neuquen, Argentina). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* v. 197, p. 313-328.

Wildner, W., Ramgrab, G. E., Lopes, R. C., Iglesias, C. M. F. 2005. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750.000.

Winter, J. D. 2009. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, Estados Unidos da América, ed. 2, 766p.