

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

**COMPLEXO OFIOLÍTICO ARROIO GRANDE, SUDESTE DO
ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE: CARACTERIZAÇÃO E
DISCUSSÕES DAS UNIDADES ORTODERIVADAS**

RODRIGO CHAVES RAMOS

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

Porto Alegre – 2014

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

**COMPLEXO OFIOLÍTICO ARROIO GRANDE, SUDESTE DO
ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE: CARACTERIZAÇÃO E
DISCUSSÕES DAS UNIDADES ORTODERIVADAS**

RODRIGO CHAVES RAMOS

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Carla Cristine Porcher – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Dr. Henri Masquelin – Facultad de Ciencias, Universidad de la Republica, Uruguai

Prof. Dr. Viter Magalhães Pinto – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2014

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

Ramos, Rodrigo Chaves

Complexo ofiolítico Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense: caracterização e discussões das unidades ortoderivadas. / Rodrigo Chaves Ramos. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014.
[43 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2014.

Orientador(es): Edinei Koester

1. Petrologia. 2. Metaultramáficas. 3. Escudo Sul-rio-grandense. 4. Ofiolitos. I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Veleida Ana Blank CRB 10/571

RESUMO

O presente trabalho é a continuação das pesquisas anteriores relacionadas às rochas metamáficas e metaultramáficas da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense. A partir de estudos de campo, microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios X, essa associação de rochas (anfíbolitos, serpentinitos cromíferos, xistos magnesianos, micaxistos, quartzitos e mármore) foi interpretada como possíveis fragmentos de crosta oceânica relacionados ao encerramento de um paleo-oceano durante o ciclo orogênico Brasileiro/Pan-Africano no Neoproterozoico e denominada de Complexo Ofiolítico Arroio Grande. Nesta dissertação é apresentada uma breve descrição deste complexo ofiolítico e o seu contexto geológico, além de breves considerações sobre sua importância do ponto de vista da evolução do paleocontinente Gondwana Ocidental durante o Neoproterozoico. Em seguida, é apresentado o artigo denominado “Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense”, aceito para publicação no periódico Pesquisas em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no qual são caracterizadas as unidades metamáficas e metaultramáficas do referido complexo. Tais pesquisas têm como principal objetivo adicionar novos dados aos já existentes na literatura, aquecendo as discussões acerca da existência ou não de possíveis ofiolitos na porção oriental do Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense relacionados à ocorrência do paleo-oceano Adamastor, e dos modelos evolutivos para a reconstrução do paleocontinente Gondwana Ocidental.

Palavras-chave: petrologia, metaultramáficas, Escudo Sul-rio-grandense, ofiolitos.

ABSTRACT

The present work is the continuation of previous researches related to the meta-mafic and meta-ultramafic rocks located near the town of Arroio Grande, southeastern Sul-rio-grandense Shield. Through fieldwork, optical microscopy, scanning electron microscopy and X-ray diffraction, this rock association (amphibolites, chromian serpentinites, magnesian schists, mica schists, quartzites and marbles) was interpreted as possible slices of an oceanic crust related to the closure of a paleo-ocean during the Brasiliano/Pan-African orogenic cycle and called Arroio Grande Ophiolitic Complex. A brief description of this ophiolitic complex and his geological setting is presented in this dissertation, with brief considerations on their importance, from the point of view of the Western Gondwana paleocontinent evolution during the Neoproterozoic Era. Subsequently, the article entitled "Geology of the Arroio Grande meta-mafic-ultramafic association, southeastern Sul-rio-grandense Shield", accepted for publication in the *Pesquisas em Geociências* Journal of the Rio Grande do Sul Federal University is presented, where the meta-mafic and meta-ultramafic units of the aforesaid complex are characterized. Such researches have as main objective to add new data to existing literature, promoting discussions about the possible existence of ophiolites related to the occurrence of the Adamastor paleo-ocean in the eastern portion of the Uruguaio-Sul-rio-grandense Shield and about geologic evolution models for the reconstruction of Western Gondwana paleocontinent.

Keywords: petrology, meta-ultramafics, Sul-rio-grandense Shield, ophiolites.

SUMÁRIO

PARTE I

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Localização e geologia regional	7
1.2 Geologia local	10
1.3 Correlação com o Complexo La Tuna (Uruguai) e Terreno Marmora (Namíbia)	11
REFERÊNCIAS	13

PARTE II

Artigo: Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense.	18
---	----

PARTE III

Anexos	42
--------------	----

Estrutura da dissertação:

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno do artigo “*Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense*” submetido ao periódico “*Pesquisas em Geociências*”. Sua organização compreende as seguintes partes principais:

Parte I) Introdução sobre o tema e descrição do objeto de pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvidos, o estado da arte sobre o tema da pesquisa;

Parte II) Artigo publicado em periódico ou submetido a periódico com corpo editorial permanente e revisores independentes, escritos pelo autor durante o desenvolvimento do mestrado;

Parte III) Anexos.

PARTE I

1 INTRODUÇÃO

No Escudo Sul-rio-grandense foram descritos ofiolitos nas suas porções central e ocidental. Na porção ocidental, a Sequência Cerro Mantiqueiras (Leite, 1997), uma associação ofiolítica de arco magmático juvenil, é constituída por harzburgitos, serpentinitos e seus produtos de transformação metassomática, além de metabasaltos. O complexo ofiolítico está encaixado em uma associação tonalito-trondhjemito-granodiorítica, sendo ambos foram deformados e metamorizados na fácies anfibolito médio (Hartmann & Remus, 2000). Na porção central do Escudo, região da Antiforme Capané no Complexo Porongos, rochas metavulcânicas e metaultramáficas foram interpretadas como remanescentes ofiolíticos (Marques, 1996) obductados e agregados ao Complexo Porongos durante o ciclo orogênico Brasileiro. Para a porção oriental, a possibilidade da presença de um complexo ofiolítico surgiu em Ramos (2011), onde um conjunto de rochas metamáficas, metaultramáficas e metassedimentares foi reconhecido e interpretado como um complexo ofiolítico.

A presente dissertação dá continuidade às pesquisas sobre o Complexo Ofiolítico Arroio Grande (Ramos, 2011; Ramos & Koester, 2013a, b; Ramos *et al.*, 2013), onde será apresentada uma breve descrição do mesmo e seu contexto geológico, além de breves considerações sobre sua importância do ponto de vista da evolução do paleocontinente Gondwana Ocidental durante o ciclo orogênico Brasileiro/Pan-africano. Em seguida, é apresentado o artigo denominado “Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense”, aceito para publicação no periódico “Pesquisas em Geociências” da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde são caracterizadas as unidades metamáficas e metaultramáficas do referido complexo através de estudos de campo e petrologia (microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios X).

1.1 Localização e geologia regional

A área de estudo localiza-se na região sul do estado do Rio Grande do Sul, aproximadamente 340 km da capital Porto Alegre, entre os municípios de Arroio Grande e Jaguarão. O principal acesso à região dá-se através da rodovia BR 116, sentido sul. Os afloramentos investigados encontram-se na zona rural de Arroio Grande e de Jaguarão. As estradas vicinais que cruzam os arroios alimentadores da Lagoa Mirim e que ligam as zonas rurais dos dois municípios, juntamente com o leito da antiga ferrovia federal desativada, dão acesso aos principais afloramentos.

A região está situada no extremo sul da porção brasileira do Cinturão Dom Feliciano, cinturão orogênico neoproterozoico desenvolvido durante o ciclo orogênico Brasiliano/Pan-Africano, o qual resultou na amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental (Heilbron *et al.*, 2004). O Cinturão Dom Feliciano estende-se por aproximadamente 1200 km desde Punta del Este, no Uruguai, até o nordeste do estado de Santa Catarina no Brasil.

No estado do Rio Grande do Sul este configura quase a totalidade do Escudo Sul-rio-grandense (porções oriental, central e ocidental), excluindo-se o extremo oeste (Cráton Río de La Plata) (figura 1). As três porções do Cinturão Dom Feliciano foram delimitadas a partir de discontinuidades geofísicas de escala continental (Fernandes *et al.*, 1995; Costa, 1997). A porção oriental, onde desenvolveu-se a presente pesquisa, corresponde em relação a unidades petrotectônicas (conforme Costa, 1997) ao Complexo Canguçu de Santos *et al.* (1989), ao Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado de Ramgrab *et al.* (1995) e à Associação de Arco Magmático I de Fernandes *et al.* (1992 a, b), excluindo-se o Complexo Arroio dos Ratos. A porção leste do Cinturão Dom Feliciano também é conhecida na literatura como Batólito Pelotas (Fragoso César *et al.*, 1986).

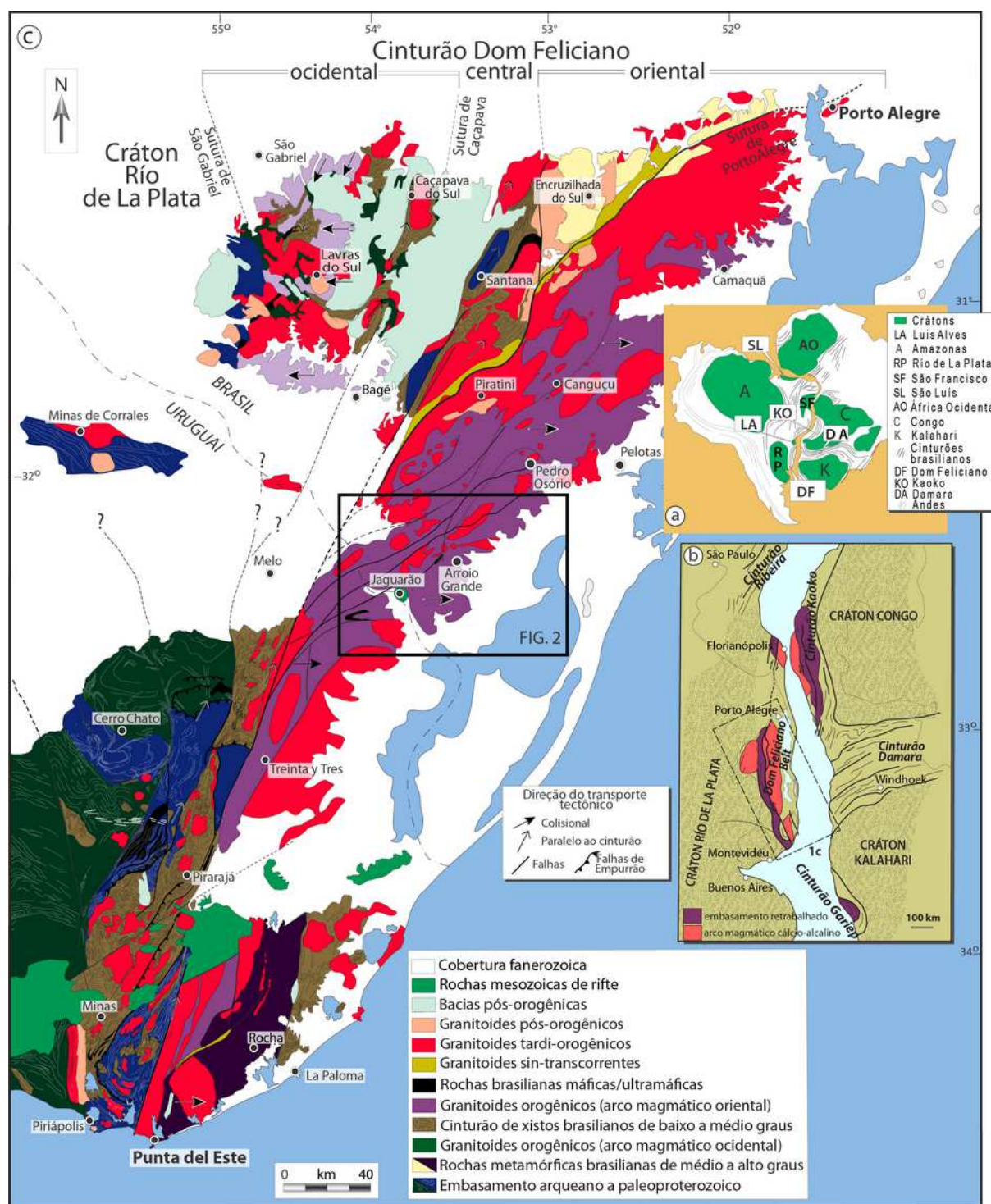


Figura 1. A) Configuração do Gondwana com as principais áreas cratônicas e cinturões relacionados ao Cinturão Dom Feliciano; B) Mapa geológico do Cinturão Dom Feliciano e do Cráton Rio de La Plata no sul do Brasil e Uruguai; C) Localização do Cinturão Dom Feliciano e cinturões africanos adjacentes na configuração do Gondwana (Modificado de Masquelin *et al.*, 2012).

Na porção oriental do Escudo Sul-rio-grandense predominam granitoides em relação a outros tipos de litologias. No extremo sul da porção oriental, região do presente estudo, o Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado (Complexo Pinheiro Machado) representa quase a totalidade da área aflorante do escudo (figura

2) e é representado por granitoides cinzentos equigranulares a porfíricos de composição predominantemente granodiorítica, com idades U-Pb em zircão de 610 ± 5 e 612 ± 2 Ma, interpretados como granitoides de margem continental ativa com evolução associada à subducção de crosta oceânica sob margem continental espessada (Babinski *et al.*, 1997; Philipp *et al.*, 2001; Ramos & Koester, 2013a).

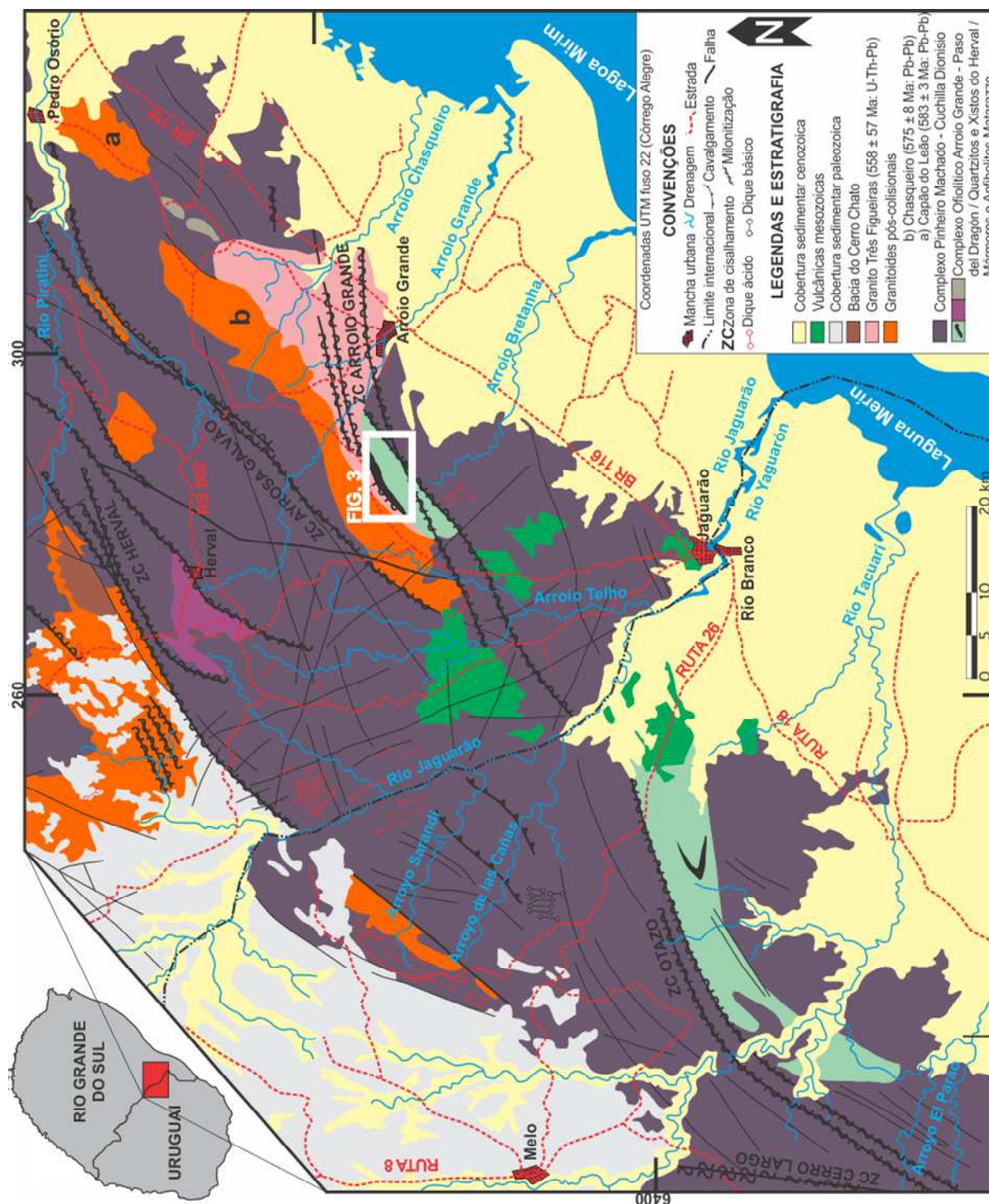


Figura 2. Mapa geológico do extremo sul do Escudo Sul-rio-grandense e nordeste do Escudo Uruguaio. Idades: Granito Três Figueiras, Tickyj *et al.* (2004); granitos Chasqueiro e Capão do Leão, Philipp *et al.* (2002).

1.2 Geologia local

O Complexo Ofiolítico Arroio Grande é uma associação de rochas metaultramáficas, metamáficas e metassedimentares, limitada a norte e oeste pelo granito Três Figueiras e a leste e sul por granitoides do Complexo Pinheiro Machado (figura 3). A região é afetada por um sistema de zonas de cisalhamento com direções N50-80°E e E-W e condições dúcteis de alta temperatura. As duas maiores zonas de cisalhamento são a denominada Zona de Cisalhamento Arroio Grande e a Zona de Cisalhamento Ayrosa Galvão (Machado *et al.*, 1995), responsáveis pela milonitização e pela forma alongada NE-SW das litologias presentes na área de estudo.

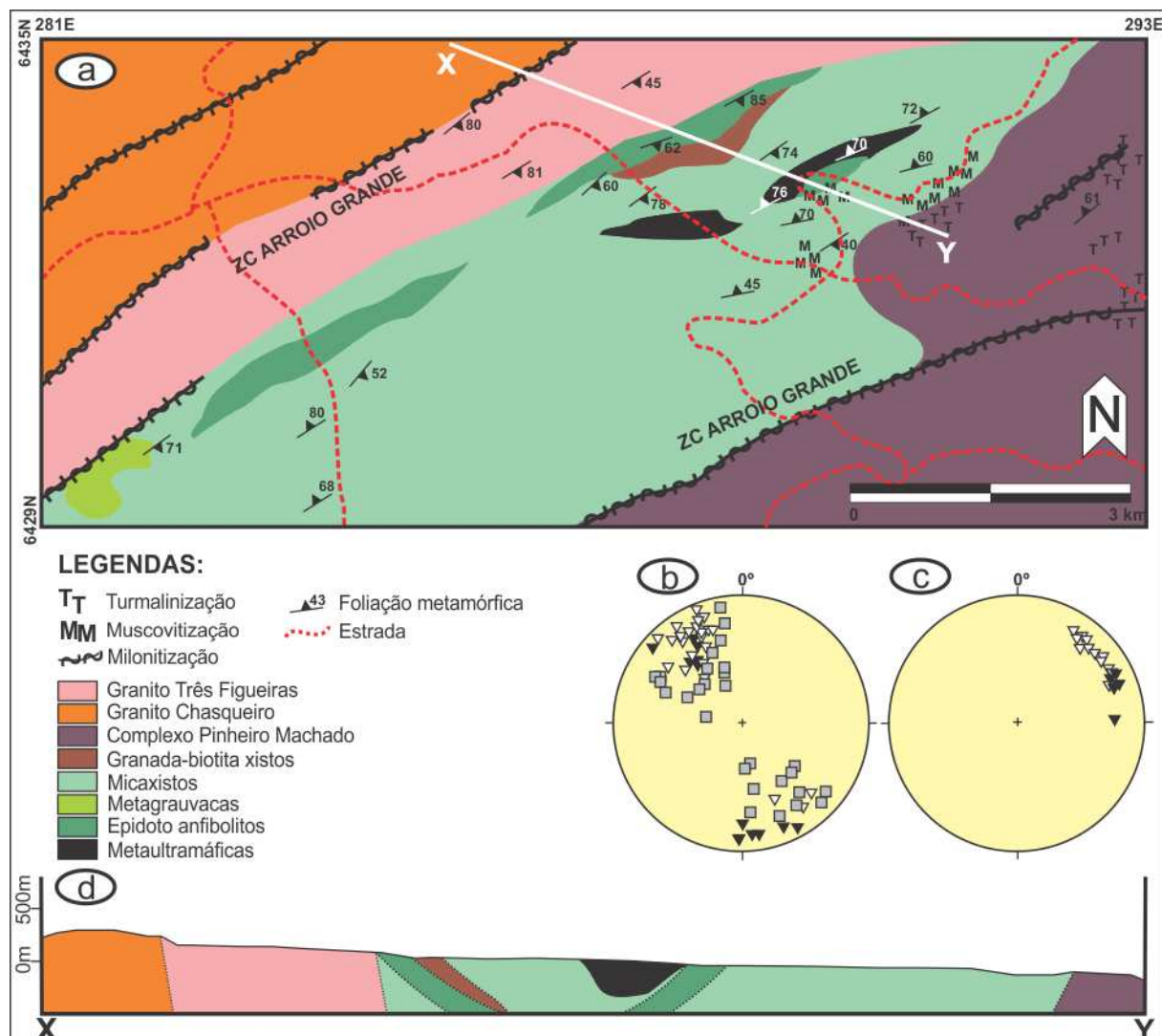


Figura 3. A) Mapa geológico da área estudada. B) diagrama equiárea (hemisfério inferior) com os pólos das foliações das rochas metaultramáficas (triângulos brancos), metamáficas (triângulos pretos) e metassedimentares (quadrados brancos) (N = 70); C) diagrama equiárea (hemisfério inferior) das lineações minerais das rochas metaultramáficas (triângulos brancos) e metamáficas (triângulos pretos) (N = 37); D) Seção geológica esquemática XY.

Ao longo da Zona de Cisalhamento Arroio Grande ocorrem intensas zonas de muscovitização e turmalinização, possivelmente relacionadas com o posicionamento do Granito Três Figueiras (Ramos, 2011). Os hidrotermalitos encontrados (muscovititos e turmalinitos) cortam litologias do Complexo Pinheiro Machado, bem como os micaxistos da região. Os muscovititos formam veios de dimensões métricas a decamétricas de rocha monominerálica, formada por muscovita com cristais de até 5 cm. Os turmalinitos são encontrados nas formas maciças e estratiformes, constituindo corpos métricos alongados e descontínuos, com espessuras centimétricas a métricas, formados por 50 a 90 % de turmalina negra de granulação fina a média, sendo o restante composto por quartzo \pm muscovita e/ou biotita (Ramos & Koester, 2013a).

1.3 Correlação com o Complexo La Tuna (Uruguai) e Terreno Marmora (Namíbia)

Devido à proximidade geográfica (figura 2) e semelhanças litológicas (serpentinitos cromíferos ortoderivados, transformados em xistos cloritíticos e tremolitíticos, além de anfibolitos e metabasaltos, em contato com micaxistos e quartzitos), o Complexo Ofiolítico Arroio Grande foi interpretado em Ramos & Koester (2013a, b) como a continuidade em território brasileiro do Complexo La Tuna (Peel *et al.*, 2009), Formação Paso del Dragón. Esta formação, localizada na porção nordeste do Cinturão Dom Feliciano uruguaio, foi definida por Preciozzi *et al.* (1985) como uma associação de micaxistos, anfibolitos, migmatitos e xistos quartzofeldspáticos, com metamorfismo de médio grau, limitada a norte pelos milonitos de Cerro de Amaro (Bossi & Navarro, 1991) e alinhadas na direção N70°E com a Zona de Cisalhamento Otazo (Gomez Rifas, 1995).

Bossi & Navarro (1988) descreveram dentro da Formação Paso del Dragón corpos de serpentinitos cromíferos interpretados como injeções ultrabásicas. Posteriormente, Bossi & Gaucher (2004) relataram a possibilidade de os serpentinitos e anfibolitos do Complexo La Tuna representarem remanescentes de crosta oceânica, o que foi levantado e discutido novamente por Peel *et al.* (2009), que apontavam inicialmente uma natureza ofiolítica para esse complexo, através de petrografia, química mineral e de rocha total. Embora atualmente a tese de Peel

(2012) denegue a natureza ofiolítica do Complexo La Tuna e também a ocorrência de uma *mélange*, a geoquímica e as associações de campo do Complexo Ofiolítico Arroio Grande permitem manter um alvo para a discussão (Ramos *et al.*, 2013).

Frimmel *et al.* (2011) discutem a possibilidade de correlação entre o Complexo La Tuna e as rochas de crosta oceânica do Terreno Marmora, na porção ocidental do Cinturão Gariep na Namíbia. Nesse terreno são encontradas rochas metavulcânicas máficas capeadas por carbonatos, interpretados como antigos montes submarinos, dolomitos estromatolíticos e oolíticos, rochas metassedimentares turbidíticas contendo carbonatos e cherts, clorita xistos, além de uma *mélange* com rochas máficas metavulcânicas e rochas metassedimentares carbonáticas e siliciclásticas.

A partir da possível correlação do Complexo Ofiolítico Arroio Grande com o Complexo La Tuna no Uruguai, e a possível correlação deste último com rochas do Terreno Marmora na Namíbia, Ramos *et al.* (2013) apresentaram um modelo da possível evolução tectônica desta porção do paleocontinente Gondwana Ocidental (figura 4). Neste modelo, o rifteamento da Bacia Gariep com formação de crosta oceânica ocorreria entre 771 – 740 Ma, resultando na geração do paleo-oceano Adamastor. Posteriormente, entre 650-595 Ma, inicia-se uma subducção, gerando o arco magmático Dom Feliciano (granitoides cálcico-alcálicos relacionados à subducção atualmente representados pelo Complexo Pinheiro Machado). Entre 595 – 540 Ma ocorreria o encerramento transpressivo do paleo-oceano Adamastor, formando nesse mesmo período o Cinturão Gariep. Um evento datado em 575 Ma registrado em rochas máficas do Terreno Marmora pode representar a idade de acreção da crosta oceânica, com o pico da atividade orogênica acontecendo em 545 Ma. Em 540 Ma ocorreu reativação das zonas de cisalhamento e geração de granitoides sintranscorrentes, possivelmente representados pelas zonas de cisalhamento Arroio Grande (Brasil) e Otazo (Uruguai). Este período marca a aglutinação final e estabilização do Gondwana Ocidental (Basei *et al.*, 2005; Frimmel, 2011; Frimmel *et al.*, 2011; Ramos & Koester, 2013).

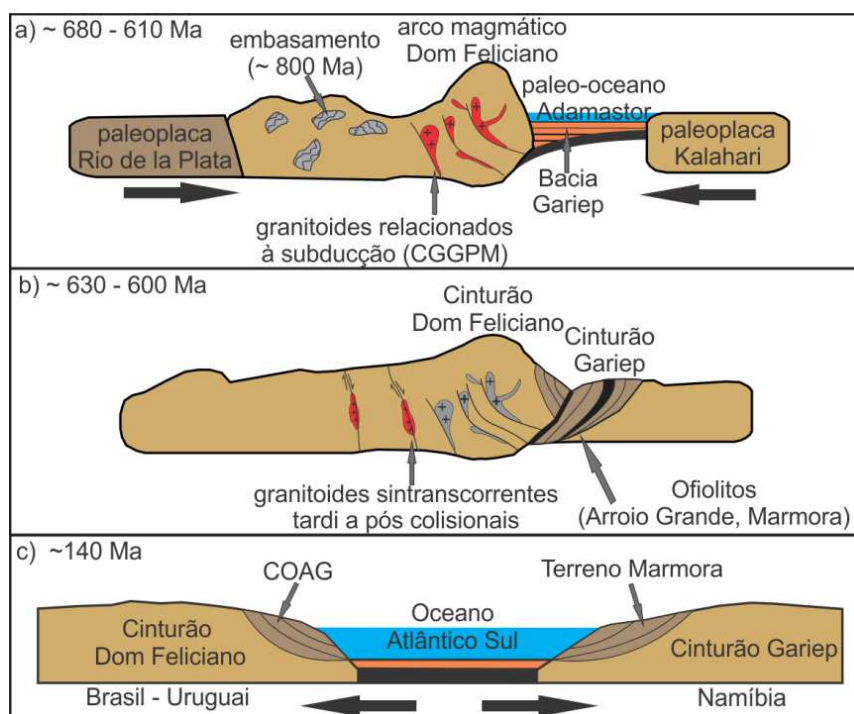


Figura 4. A e B) Modelo de possível evolução tectônica da porção E do Escudo Uruguaio-Sul-Rio-Grandense e do Cinturão Gariep durante a amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental; C) situação após a fragmentação do Gondwana e abertura do atual oceano Atlântico Sul (Ramos *et al.*, 2013).

REFERÊNCIAS

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.

BASEI, M.A.S.; FRIMMEL, H.E.; NUTMAN, A.P.; PRECIOZZI, F.; JACOB, J. 2005. A connection between the Neoproterozoic Dom Feliciano (Brazil/Uruguay) and Gariep (Namibia/South Africa) orogenic belts – evidence from a reconnaissance provenance study. **Precambrian Research**, v. 139, p. 195-221.

BOSSI, J.; GAUCHER, C. 2004. The Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay: An allochthonous block accreted in the Cambrian to SW-Gondwana. **Gondwana Research**, v.7, n. 3, p. 661-674.

BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1988. Serpentinitas cromíferas pre-orogénicas en el Ciclo Orogénico Moderno de Uruguay. **6º Panel de Geología del Litoral y 1ª Reunión de Geología del Uruguay**. Salto, p.91-95.

BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1991. **Geología del Uruguay**. Universidad de la República, Montevideo, 839p.

COSTA, A.F.U. 1997. **Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense**. Porto Alegre, 291f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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

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.

FRAGOSO CÉSAR, 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, 1986, Goiânia. **Anais...** Goiânia, SBG, v. 3, p. 1322-1343.

FRIMMEL, H.E. 2011. The Chameis Gate Member, Chameis Group, Marmora Terrane, Namibia. In: ARNAUD, E.; HALVERSON, G. P.; SHIELDS-ZHOU, G. (Eds.). **The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations**. Geological Society of London, Memoirs, v. 36, p. 217–221.

FRIMMEL, H.E.; BASEI, M.S.; GAUCHER, C. 2011. Neoproterozoic geodynamic evolution of SW-Gondwana: a southern African perspective. **International Journal of Earth Sciences**, v. 100, p. 323-354.

GOMEZ RIFAS, C. 1995. **A Zona de Cisalhamento Sinistral de Sierra Ballena no Uruguai**. São Paulo, 243f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

HARTMANN, L.A.; REMUS, M.V.D. 2000. Origem e evolução das rochas ultramáficas do Rio Grande do Sul desde o Arqueano até o Cambriano. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, edição CIGO/UFRGS, p. 53-78.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J. 2004. A Província Mantiqueira. In: MANTESSO NETO, A.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (Eds.). **O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Beca, p. 203-234.

LEITE, J.D. 1997. **A origem dos harzburgitos da Sequência Cerro Mantiqueiras e implicações tectônicas para o desenvolvimento do Neoproterozóico da porção oeste do Escudo Sul-Rio-Grandense.** Porto Alegre, 224f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MACHADO, R.; PHILIPP, R.P.; MELLO, F. 1995. Reconhecimento de zonas de cisalhamento dúcteis de alto ângulo com cinemática superposta na extremidade sul do Batólito Pelotas, RS. **V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos**, Gramado, Boletim de Resumos Expandidos, p. 52-53.

MARQUES, J.C. 1996. **Petrologia e metalogênese da sequência metaultramáfica da Antiforme Capané, Suíte Metamórfica Porongos, Cachoeira do Sul, RS.** Porto Alegre, 196f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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.

PEEL, E.; BASEI, M.; SÁNCHEZ BETTUCCI, L. 2009. La Tuna Complex: a possible neoproterozoic ophiolite. In: American Geophysical Union Joint Assembly, 2009, Toronto, **Resumos**.

PEEL, E. 2012. **Petrografia, geoquímica e geocronologia do Complexo Paso del Dragón (NE do Uruguai): implicações geotectônicas na evolução do Cinturão Dom Feliciano.** São Paulo. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; NARDI, L.V.S.; LAFON, J.M. 2001. 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.; NARDI, L.V.S.; LAFON, J.M. 2002. 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.

PRECIOZZI, F.; SPOTURNO, J.; HEINZEN, W.; ROSSI, P. 1985. **Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a la escala 1:500.000.** MIE, DINAMIGE, Montevideú, 90p.

RAMGRAB, G.E.; WILDNER, W.; CAMOZZATO, E. 1995. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha SH.22-Y-B.** CPRM, Porto Alegre, Relatório Final.

RAMOS, R.C. 2011. **Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, RS**. Porto Alegre, 94f. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RAMOS, R.C.; KOESTER, E. 2013a. Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. **Pesquisas em Geociências**, submetido.

RAMOS, R.C.; KOESTER, E. 2013b. O Complexo Ofiolítico Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. **VIII Simpósio Sul-brasileiro de Geologia**, Porto Alegre, Resumos.

RAMOS, R.C.; KOESTER, E.; MASQUELIN, H. 2013. Significado tectônico do Complexo Arroio Grande (Brasil) – La Tuna (Uruguai) e seus possíveis equivalentes neoproterozoicos namibianos. **VII Congreso Uruguayo de Geología y I Simposio de Minería y Desarrollo del Cono Sur**. Montevideú, Actas, p. 138-143.

SANTOS, E.L.; RAMGRAB, G.E.; MACIEL, L.A.; MOSMANN, R. 1989. **Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul**. 1º Distrito Regional, DNPM, escala 1:1.000.000.

TICKYJ, H.; HARTMANN, L.A.; VASCONCELLOS, M.A.Z.; PHILIPP, R.P.; REMUS, M.V.D. 2004. Electron microprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian shield. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 16, p. 699-713.

PARTE II

Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense

Rodrigo Chaves RAMOS¹ & Edinei KOESTER²

1. Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGeo), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP: 91500-000, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: rodrigo.chaves@ufrgs.br

2. Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves 9500, Prédio 43126 Sala 202, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: koester@ufrgs.br

Recebido em / Aceito para publicação em /

Resumo - No Rio Grande do Sul são reconhecidas e descritas diversas ocorrências de rochas ultramáficas nas porções central e ocidental do Escudo Sul-rio-grandense. No entanto, para a porção oriental, nenhum trabalho de cunho científico fez referência a esse tipo de litologia até o momento. No presente artigo é apresentado o estudo de uma associação de rochas máficas e ultramáficas metamorfizadas, localizada no extremo sul da porção oriental do Escudo, nas proximidades do município de Arroio Grande. Através das investigações de campo realizadas nessa área em conjunto com petrografia, microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios-X foram identificados anfíbolitos à base de hornblenda, plagioclásio e epidoto, e serpentinitos cromíferos e seus produtos metassomáticos (tremolititos, clorititos e talco xistos). Foram caracterizadas paragéneses de fácies anfíbolito tanto para os epidoto anfíbolitos como para os metassomatitos. A associação de rochas de Arroio Grande foi interpretada como fragmentos de um antigo assoalho oceânico obductado durante o fechamento de um paleo-oceano no Neoproterozoico, pela possível colisão das paleoplacas Kalahari e Río de La Plata nos estágios finais da amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental.

Palavras-chave: anfíbolitos, metaultramáficas, Arroio Grande, Escudo Sul-rio-grandense.

Abstract - GEOLOGY OF THE ARROIO GRANDE METAMAFIC-ULTRAMAFIC ASSOCIATION, SOUTHEASTERN SUL-RIO-GRANDENSE SHIELD. In Rio Grande do Sul State (southern Brazil) several occurrences of ultramafic rocks are recognized and described in the central and western portions of the Sul-rio-grandense Shield. However, no scientific work referred to this type of rock association for the eastern portion of the Shield. In this paper, a study of a metamafic-ultramafic rock association is shown, located at the southern end of the eastern portion of the Sul-Rio-Grandense Shield, near the town of Arroio Grande. Through field investigation, petrography, scanning electron microscopy and X-ray diffraction hornblende-plagioclase-epidote rich amphibolites, chromian serpentinites and his metasomatic products (tremolitites, chloritites and talc schists) were identified. Amphibolite facies paragenesis were characterized for both epidote amphibolites and metasomatites. The Arroio Grande rock association was interpreted to represent fragments of an ancient ocean floor obducted during the closure of a paleo-ocean in Neoproterozoic times, possibly due to collision of the Kalahari and Río de La Plata paleoplates in the final stages of Western Gondwana assembly.

Keywords: amphibolites, metaultramafic, Arroio Grande, Sul-rio-grandense shield.

1. Introdução

O estudo das rochas ultramáficas revela importantes aspectos da evolução geológica de uma região, indicando ambientes-chave para o entendimento de eventos e processos tectônicos através das informações nelas contidas sobre sua origem e evolução. A maior parte das exposições dessas rochas são fragmentos oriundos do manto litosférico, tectonicamente alojados na crosta durante as orogêneses (Bucher & Frey, 2002).

No Escudo Sul-rio-grandense foram descritas diversas ocorrências de rochas ultramáficas nas suas porções ocidental e central (Villwock & Loss, 1970; Jost & Hartmann, 1979; Garcia, 1981; Rego, 1981; Chemale Jr., 1982; Bitencourt, 1983; Jost & Hartmann, 1984; Naumann, 1985; Zarpelon, 1986; Remus, 1990; Santos *et al.*, 1990; Wildner, 1990; Hartmann & Remus, 2000). Entretanto, para a porção oriental do Escudo não existiam trabalhos em escala de detalhe sobre esse tipo de litologia até o apresentado em Ramos (2011), onde foi descrita uma associação de rochas metaultramáficas, metamáficas e metassedimentares, encontrada na região sul do estado do Rio Grande do Sul, nas proximidades do município de Arroio Grande.

O presente artigo dá continuidade ao estudo dessa associação. A partir das observações de campo e da identificação das paragêneses encontradas nas litologias através de microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios X, se buscou entender as potenciais fontes e processos geradores das rochas metamórficas investigadas. Essas novas informações, juntamente com as já existentes na bibliografia, permitem a ampliação da discussão sobre a evolução geotectônica do Escudo Sul-rio-grandense durante a convergência das paleoplacas Río de La Plata e Kalahari no Neoproterozoico.

2. Métodos analíticos

As amostras coletadas em campo foram analisadas através de microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia por dispersão de energia (MEV-EDS) e difratometria de raios X. A confecção das lâminas delgadas para análises na microscopia óptica e MEV-EDS e a preparação das amostras para a difratometria de raios X foram feitas no laboratório de apoio analítico e preparação de amostras do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A petrografia foi realizada com auxílio de um microscópio de polarização *Leica*® com câmera fotográfica acoplada. As análises no MEV-EDS foram feitas no Centro de Microscopia Eletrônica do Instituto de Física da UFRGS, utilizando-se microscópio eletrônico *JEOL-JSM 5800*®. As análises de difração de raios X foram realizadas no Laboratório de Difratometria de Raios X (Instituto de Geociências, UFRGS), com auxílio de um difratômetro *SIEMENS-D 5000*®.

3. Geologia regional

A região estudada situa-se na porção sul do Cinturão Dom Feliciano, desenvolvido no Neoproterozoico durante o Ciclo Orogênico Brasileiro-Panafricano, o qual resultou na amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental (Heilbron *et al.*, 2004). Este cinturão se estende por aproximadamente 1.200 km desde Punta del Este, no Uruguai, até o nordeste do estado de Santa Catarina.

No Rio Grande do Sul o Cinturão Dom Feliciano está estruturado em três unidades geotectônicas principais, ocidental, central e oriental, (Fig. 1) delimitadas a partir de descontinuidades geofísicas de escala continental (Fernandes *et al.*, 1995; Costa, 1997). A porção oriental, onde se desenvolveu este trabalho, é também conhecida como Batólito Pelotas, termo definido por Fragozo César *et al.* (1986) para designar um batólito composto, multi-intrusivo e polifásico, correspondendo à zona central do Cinturão Dom Feliciano, com evolução relacionada ao Ciclo Brasileiro. O Batólito seria composto por corpos graníticos das suítes intrusivas Pinheiro Machado, Encruzilhada do Sul, Cordilheira e Dom Feliciano, e, ainda, por xenólitos centimétricos a quilométricos de rochas

metamórficas que foram denominados de Septos do Embasamento (Quartzitos e Xistos do Herval, Xistos do Grupo Porongos, Gnaisses Vigia, Gnaisses Chanã e Gnaisses Piratini).

inserir Figura 1

Em trabalhos mais recentes, Philipp & Machado (2002) caracterizaram as principais ocorrências dos Septos do Embasamento que, nas proximidades de Arroio Grande, correspondem a gnaisses (Ortognaisses Arroio Pedrado), lentes calcárias e margas (Mármore e Anfibolitos vilas Matarazzo e Pedreiras), intercalações de xistos pelíticos e quartzitos (Quartzitos e Xistos do Herval) e xenólitos centimétricos a métricos de anfibolitos (Anfibolitos Alto Alegre). Para Wildner *et al.* (2005), a unidade Septos do Embasamento faz parte do Complexo Granito-Gnássico Pinheiro Machado e corresponde a megaxenólitos de rochas calcissilicáticas, biotita gnaisses, tonalitos, quartzitos, xistos, mármore e migmatitos.

Por se tratar de fragmentos em meio aos granitoides do Complexo Pinheiro Machado (Fig. 2), a associação metamórfica composta por anfibolitos, xistos magnesianos e pelíticos descrita em Ramos (2011) e, até então desconhecida, foi classificada como pertencente à unidade Septos do Embasamento. Nesta região, o Complexo Pinheiro Machado é representado por granitoides cinzentos equigranulares a porfiríticos de composição predominantemente granodiorítica, com idades U-Pb em zircão de 610 ± 5 e 612 ± 2 Ma (Babinski *et al.*, 1997) e interpretados como granitoides de margem continental ativa com evolução associada à subducção de crosta oceânica sob margem continental espessada (Philipp *et al.*, 2001).

inserir Figura 2

4. Geologia local

Na região de estudo, as rochas metamáficas são representadas por ortoanfibolitos, que afloram como corpos métricos a quilométricos, alongados e descontínuos (Fig. 3). O corpo de anfibolito na porção leste encontra-se em contato com as rochas metaultramáficas. O corpo situado a sudoeste encontra-se em contato com mica xistos. O corpo a norte está em contato tectônico com o leucogranito a duas micas Três Figueiras. A figura 4A mostra um aspecto geral de campo da unidade metamáfica.

As rochas metaultramáficas são representadas por serpentinitos, talco xistos, esteatitos, tremolititos e clorititos. Constituem corpos alongados métricos a decamétricos, descontínuos, sendo comum a ocorrência de duas ou até três dessas litologias associadas espacialmente em um mesmo afloramento, com contatos gradacionais e lineações de estiramento subhorizontais. O corpo principal localizado no nordeste da área estudada encontra-se em contato com mica xistos e com um corpo de anfibolito (Fig. 3). As figuras 4B e C mostram aspectos gerais de campo das unidades metaultramáficas.

As rochas metassedimentares da região, representadas por mica xistos intercalados com lentes centimétricas a métricas de quartzito são a litologia mais abundante da área. Os afloramentos constituem coxilhas com centenas de metros de extensão, cuja característica principal é o intenso grau de intemperismo dos mica xistos e o relevo sustentado pelas cristas de quartzito. Os mica xistos são limitados a sul, oeste e leste pelo Complexo Pinheiro Machado, sendo o contato sul de natureza tectônica, balizado por uma zona de cisalhamento. Ao norte os xistos estão em contato tectônico com o Granito Três Figueiras (Fig. 3). A figura 4D mostra um aspecto geral de campo da unidade metassedimentar.

“inserir Figura 3”

Na porção noroeste da área de estudo aflora o Granito Chasqueiro, um corpo granítico com aproximadamente 500 km² composto por rocha cinza clara, de textura porfirítica grossa contendo

fenocristais de feldspato alcalino que variam de 1 a 6 cm em matriz equigranular média a grossa de quartzo, feldspato, biotita ± hornblenda. O granito Chasqueiro se encontra em contato com o granito Três Figueiras em suas porções nordeste e sudeste. No contato entre ambos são encontradas frequentemente porções com textura protomilonítica marcada pelo estiramento e deformação dos fenocristais de K-feldspato do granito Chasqueiro.

A região é afetada por uma zona de cisalhamento de direção N50-80°E a E-W e condições dúcteis de alta temperatura, denominada de Zona de Cisalhamento Arroio Grande (Machado *et al.*, 1995), responsável pela milonitização e forma alongada das litologias presentes na área de estudo. Ao longo desta zona de cisalhamento ocorre intensa muscovitização e turmalinização, relacionadas com o posicionamento do Granito Três Figueiras (Ramos, 2011). Os hidrotermalitos encontrados (muscovititos e turmalinitos) cortam litologias do Complexo Pinheiro Machado e também os mica xistos da região. Os muscovititos formam veios de dimensões métricas a decamétricas de rocha monominerálica formada por muscovita, com cristais de até 5 cm. Os turmalinitos são encontrados nas formas maciças e estratiformes, constituindo corpos métricos alongados e descontínuos, com espessuras centimétricas a métricas, formados por 50 a 90 % de turmalina negra de granulação fina a média e o restante de quartzo ± muscovita e/ou biotita.

inserir Figura 4

5. Caracterização das unidades

5.1 Rochas metamáficas

Epidoto Anfibolitos - A olho nu foram identificados minerais prismáticos milimétricos de cor verde escura a preta, formando textura nematoblástica, além da presença de bandas milimétricas, irregulares e descontínuas de minerais de coloração esbranquiçada. Com o auxílio de lupa é possível identificar anfibólio prismático e plagioclásio. Ao microscópio apresentam mineralogia composta por hornblenda (~ 55 %), plagioclásio (~ 20 %), quartzo (5 – 10 %), epidoto (10 – 15 %) e como acessórios, apatita, titanita e opacos (Fig. 5, Tab. 1). Os minerais apresentam granulação fina, forma anédrica a subédrica e orientação preferencial marcada pelos cristais prismáticos alongados de hornblenda e epidoto. O epidoto tem granulação fina a média, grãos predominantemente anédricos. O quartzo encontra-se recristalizado. Os grãos de hornblenda e de epidoto formam bandas máficas. O difratograma de rocha total da figura 5D mostra picos compatíveis com hornblenda, quartzo e plagioclásio, confirmando a presença destes minerais vistos em lâmina delgada.

“inserir Figura 5”

5.2 Rochas metaultramáficas

Serpentinitos – Macroscopicamente apresentam coloração cinza esverdeada e granulação muito fina a fina. Ao microscópio, apresentam mineralogia composta por serpentina (~ 50 %) e < 50 % de talco + tremolita, além de opacos (Fig. 6, Tab. 1). A serpentina apresenta granulação fina, com grãos anédricos formando agregados fibrosos. Em meio à massa de serpentina são encontrados cumulados de talco e tremolita, ambos de granulação fina a muito fina. Os opacos têm granulação fina a média, forma anédrica a subédrica, encontrando-se disseminados por toda a amostra.

inserir Figura 6

Talco Xistos – Macroscopicamente apresentam coloração cinza claro a cinza esverdeado quando estão sãos, e cor alaranjada quando alterados, granulação muito fina a fina. Os representantes com estrutura maciça foram chamados de esteatitos. Ao microscópio foi descrito talco (70 a 80 %) e massas de tremolita, clorita e opacos (Fig. 7, Tab. 1). O talco tem grãos anédricos, com granulação

fina a média e orientação preferencial marcada pelos grãos fibrosos alongados. A tremolita tem granulação fina e forma anédrica a subédrica. Em alguns grãos de tremolita, é possível identificar talco nas fraturas e bordas. O difratograma de rocha total da figura 7D confirma composição mineralógica rica em talco e clorita.

inserir Figura 7

Tremolititos – Macroscopicamente apresentam cor verde em amostras sãs e cor alaranjada quando alterados. A olho nu, foram identificados cristais centimétricos prismáticos e fibrorradiais de tremolita e, em algumas porções da rocha, agregados de clorita com granulação fina a média. Ao microscópio, mostram mineralogia composta por tremolita (~ 90 %), clorita, talco e opacos (Fig. 8, Tab. 1). A tremolita forma megacristais subédricos alongados. Talco e clorita ocorrem em meio às fraturas e contatos nos grãos de tremolita. Com auxílio de MEV-EDS (Fig. 8C) foram identificados Cr e Fe na composição dos opacos (cromitas). O difratograma de rocha total da figura 8D mostra picos correspondentes à apatita, calcita e goethita, além dos minerais já encontrados em lâmina delgada. A clorita é do tipo clinocloro.

inserir Figura 8

Clorititos – Macroscopicamente têm cor verde escura a cinza esverdeada. São compostos por massas de clorita fibrosa e lamelar, com granulação fina a média e estrutura maciça. Ao microscópio apresentam mineralogia composta por mais de 95 % de clorita e o restante de serpentina, tremolita e opacos (Fig. 9, Tab.1). Os grãos de clorita apresentam pseudomorfismo, com a forma de grãos de tamanho médio a grosso, anédricos a subédricos, de tremolita. A serpentina ocorre como agregados amorfos de granulação fina entre alguns grãos de clorita. A tremolita tem granulação muito fina a fina, inclusa em alguns grãos de clorita. Os opacos ocorrem disseminados, com cristais subédricos de granulação fina a média. A difratometria de raios X (Fig. 9D) indica Cr-clorita.

inserir Figura 9

5.3 Rochas metassedimentares

Mica xistos – Macroscopicamente apresentam coloração marrom avermelhada, sendo possível identificar composição rica em muscovita, além de quartzo, feldspato e biotita subordinada. A muscovita é milimétrica (2 a 7 mm) e encontra-se orientada, com lineação mineral sub-horizontal. A foliação da rocha é marcada por lamelas milimétricas de muscovita e biotita. Ao microscópio foram identificados quartzo, plagioclásio, feldspato, biotita e muscovita (Fig. 10, Tab. 1). O quartzo tem granulação muito fina a fina e encontra-se recristalizado. A biotita e a muscovita apresentam granulação fina e estão orientadas, formando agregados e bandas de segregação mineral. A textura principal da amostra é granoblástica. Localmente os agregados e bandas de micas apresentam textura lepidoblástica. O difratograma de rocha total da figura 10D mostra picos de muscovita, quartzo e albita.

inserir Figura 10

Intercaladas com os xistos são encontradas lentes centimétricas a métricas de quartzito. Os quartzitos foram estudados macroscopicamente, e identificou-se cerca de 80% de quartzo, além de cristais milimétricos de feldspato e muscovita. A textura geral é granoblástica.

inserir Tabela 1

6. Discussões

6.1 Metamorfismo dos serpentinitos e anfibolitos

Serpentinitos são produtos da hidratação de olivinas magnesianas e piroxênios presentes em peridotitos (Spear, 1995; Bucher & Frey, 2002). Os protólitos das rochas metultramáficas estudadas são possivelmente peridotitos do manto litosférico. A serpentinização de peridotitos mantélicos pode ocorrer em centros de expansão de assoalho oceânico de baixa velocidade, na crosta continental, durante formação de cinturões orogênicos, e também no próprio manto. Os serpentinitos se formam em temperaturas que variam desde condições de baixa temperatura presentes na superfície terrestre até temperaturas mais elevadas em eventos hidrotermais (Bucher & Frey, 2002; Guillot & Hattori, 2013; Evans *et al.*, 2013). Com os dados coletados até o momento ainda não é possível afirmar em qual ambiente e em que momento ocorreu a serpentinização dessas rochas: se foram serpentinizadas durante o metamorfismo regional decorrente da interação entre as paleoplacas Kalahari e Río de La Plata, ou se os peridotitos foram alojados já serpentinizados na crosta continental.

Clorititos, tremolititos e talco xistos são rochas tipicamente metassomáticas originadas a partir do metassomatismo de serpentinitos posicionados junto a tipos incompatíveis e contrastantes de rochas como, por exemplo, granitos e gnaisses (Brady, 1977; Strieder, 1992; Hartmann & Remus, 2000). Em Arroio Grande, as reações metassomáticas podem ter ocorrido entre serpentinitos e litologias do Complexo Pinheiro Machado e/ou também o granito Três Figueiras, gerando desequilíbrios químicos durante o metamorfismo regional atuante naquela porção crustal, formando zonas minerais de reação (Brady, 1977; Bucher & Frey, 2002; Vernon & Clarke, 2008) e conseqüentemente as diferentes rochas metassomáticas encontradas junto aos serpentinitos como resposta a esse desequilíbrio. No Escudo Sul-rio-grandense, há ocorrência de metassomatitos semelhantes (clorititos, tremolititos e talco xistos) localizados no Ofiolito Cerro Mantiqueiras (Hartmann & Remus, 2000) formados a partir de protólito harzburgítico.

Assembleias minerais contendo tremolita, talco, clorita e cromita indicam condições de metamorfismo na fácies anfibolito para rochas ultramáficas (Spear, 1995). Nos anfibolitos de Arroio Grande são também encontradas paragêneses que indicam metamorfismo na fácies anfibolito, pela presença de plagioclásio + hornblenda + quartzo + epidoto (Bucher & Frey, 2002). Os protólitos dos anfibolitos provavelmente são rochas básicas, como basaltos e gabros.

6.2 Rochas metassedimentares associadas

Os mica xistos e quartzitos de Arroio Grande são, à primeira vista, semelhantes macroscópica e geomorfologicamente à intercalação de xistos intensamente alterados e quartzitos encontrados a oeste do município de Herval. Essas litologias foram primeiramente descritas por UFRGS (1972) como sendo representantes de uma sequência metamórfica de baixo grau pertencente ao Grupo Porongos. Essa sequência de rochas metassedimentares supracrustais foi posteriormente descrita por Fragozo César *et al.* (1986), sendo denominada de Quartzitos e Xistos do Herval. Entretanto, essas rochas nunca passaram por um estudo detalhado, sendo apenas descritas macroscopicamente.

Conforme Hartmann *et al.* (2000), os xistos de Herval podem corresponder a fragmentos de uma unidade maior, anterior à formação do Complexo Pinheiro Machado, sendo essa unidade maior possivelmente o Complexo Porongos. Philipp & Machado (2002) também apontam similaridades composicionais, estruturais e metamórficas dos Quartzitos e Xistos do Herval com rochas do Complexo Porongos. São ainda necessários estudos comparativos entre os xistos de Arroio Grande, Quartzitos e Xistos do Herval e metassedimentares do Complexo Porongos para esclarecer suas semelhanças e diferenças petrológicas, além da proveniência dos sedimentos.

As outras rochas metassedimentares encontradas na região são os Mármore e Anfibolitos Vilas Matarazzo e Pedreiras, localizados 20 km a nordeste de Arroio Grande. Conforme Philipp & Machado (2002) essas rochas correspondem a intercalações de mármore, rochas calcissilicáticas e

para-anfibolitos, cortadas por injeções graníticas ocorridas em condições de epizona. As paragêneses de metamorfismo nas rochas metassedimentares correspondem à fácies anfibolito.

6.3 A hipótese do ofiolito

Associações de rochas metaultramáficas semelhantes às aqui investigadas foram estudadas em outras regiões do Brasil e classificadas como pertencentes a associações do tipo *greenstone belt* (e.g. Lamim/MG, Jordt-Evangelista & da Silva, 2005) e também a complexos ofiolíticos (e.g. Abadiânia/GO, Strieder & Nelson, 1992 e Lavras do Sul/RS, Hartmann & Remus, 2000). As rochas da região de Arroio Grande podem representar fragmentos de um complexo ofiolítico, principalmente em virtude da associação geológica presente nesta área com rochas ultramáficas relacionadas espacialmente a rochas interpretadas como de arcos magmáticos (Complexo Pinheiro Machado, Philipp *et al.*, 2001), anfibolitos (metabasaltos) e rochas metassedimentares clásticas (mica xistos) e químicas (Mármore Vila Matarazzo).

Conforme Kusky *et al.* (2011), ofiolitos são uma associação distintiva de rochas formadas em uma variedade de ambientes geotectônicos como centros de expansão do assoalho oceânico, bacias de *back arc*, *forearcs*, arcos e outros ambientes extensionais e convergentes. As variações entre os diferentes ofiolitos são tão significantes quanto às suas similaridades, sendo difícil definir uma sucessão-tipo para ofiolitos. De acordo com o ambiente tectônico, diferentes tipos de sequências de rochas presentes nos ofiolitos se formarão, conforme alguns exemplos mostrados na figura 11. Sequências ofiolíticas pré-cambrianas de maneira geral são incompletas e intensamente deformadas e retrabalhadas, dificultando ainda mais o seu estudo e compreensão.

inserir Figura 11

Em Arroio Grande, as rochas metaultramáficas podem representar fragmentos de serpentinitos cujo protólito são ultramáficas pertencentes a um complexo ofiolítico. As metamáficas podem representar fragmentos metamorfizados das rochas básicas de ofiolitos. Já as rochas metassedimentares podem representar fragmentos metamorfizados de rochas sedimentares clásticas e químicas pertencentes às camadas mais superiores de uma sequência ofiolítica (Fig. 12).

inserir Figura 12

6.4 Correlação com o Complexo Ofiolítico La Tuna, NE do Uruguai

Conforme Peel *et al.* (2009), existe, na região nordeste do Uruguai, uma associação de anfibolitos e serpentinitos em meio a mica xistos, denominada de Complexo Ofiolítico La Tuna. Esse complexo, descrito anteriormente por Bossi & Navarro (1988) como sendo um maciço predominantemente serpentinitico com cromita e bandas tremolitíticas, indicativas de ambiente fortemente magnésiano, é constituído por rochas máficas e ultramáficas altamente tectonizadas, incluindo serpentinitos, anfibolitos e metabasaltos (Peel *et al.*, 2009). Em contato com as rochas máficas-ultramáficas se encontram mica xistos e quartzitos. Os serpentinitos apresentam, como minerais acessórios, magnetita e cromita. Os anfibolitos têm coloração verde escura e granulação fina a média, e estão geralmente associados aos serpentinitos. Os metabasaltos ocorrem como rochas afaníticas de cor verde acinzentada com textura maciça ou fracamente foliada, geralmente transformados em clorita xistos ou tremolita-actinolita xistos (Peel *et al.*, 2009). O metamorfismo do Complexo La Tuna é de fácies xisto verde a anfibolito inferior, e o complexo é cortado por zonas de cisalhamento de direção E-W e W-NW. Para esses autores, o Complexo La Tuna pode representar fragmentos de um assoalho oceânico destruído em algum estágio durante a amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental.

O conjunto de rochas encontrado em Arroio Grande poderia representar a continuação, em território brasileiro, do Complexo La Tuna. A associação de rochas descritas no Uruguai é muito

semelhante à que se encontra em Arroio Grande, tanto nas litologias e presença de cromita disseminada como no fato de ambos os complexos estarem encaixados em zona de cisalhamento dúcteis. Futuros estudos poderão confirmar ou desmentir a hipótese de uma origem em complexos ofiolíticos para as rochas estudadas em Arroio Grande, porém, com as informações coletadas até o presente, a partir das ferramentas utilizadas neste trabalho, esta parece ser a hipótese mais apropriada para a origem e evolução dessas rochas.

7. Conclusões

A partir do estudo das rochas metamáficas, metaultramáficas e metassedimentares encontradas na região de Arroio Grande foi possível identificar orto-anfibolitos, serpentinitos cromíferos e seus produtos metassomáticos (talco xistos, esteatitos, tremolititos e clorititos), além de mica xistos. Através de petrografia, microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios X, foi possível identificar assembleias minerais que indicam condições metamórficas de fácies epidoto-anfibolito para os orto-anfibolitos e de fácies anfibolito para os metassomatitos.

As rochas metamáficas-ultramáficas foram interpretadas como fragmentos metamorizados de um complexo ofiolítico, ou seja, remanescentes de uma placa oceânica que foi obductada e que, juntamente com sedimentos carbonáticos (Mármore Matarazzo) e terrígenos (mica xistos), foram intercalados tectonicamente a granitoides, provavelmente de arco magmático relacionado à subducção de crosta oceânica sob margem continental (Complexo Pinheiro Machado).

A colisão de duas paleoplacas, possivelmente Kalahari e Río de La Plata, foi responsável pela geração de eventos tectonomagmáticos do paleocontinente Gondwana Ocidental no Neoproterozoico. Após e/ou concomitante à colisão dessas paleoplacas, eventos deformacionais foram responsáveis pela formação de zonas de cisalhamento dúcteis a dúctil-rúpteis que afetaram o Cinturão Dom Feliciano, gerando magmatismo granítico relacionado à formação de zonas de cisalhamento sub-verticais com direção preferencial NE-SW. Neste contexto ocorreu o posicionamento do Granito Três Figueiras ao longo da Zona de Cisalhamento Arroio Grande, com geração dos hidrotermalitos que cortam os mica xistos e os granitoides do Complexo Pinheiro Machado.

As rochas estudadas em Arroio Grande podem representar a continuação, em território brasileiro, do Complexo La Tuna, encontrado no nordeste do Uruguai e interpretado como fragmentos remanescentes de uma crosta oceânica obductada nos estágios finais das colagens orogênicas relacionadas ao paleocontinente Gondwana Ocidental.

Agradecimentos- À Renata da Silva Schmitt (Instituto de Geociências - UFRJ) pelas críticas e sugestões na revisão do manuscrito. Ao PPGeo/UFRGS, FAPERGS e CNPq pelo apoio de infraestrutura e financiamento do projeto.

Referências

- 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*, **10(3/4)**: 263-274.
- Bitencourt, M.F. 1983. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: geologia e relações com o corpo granítico. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1, 1983, Porto Alegre. *Atas...*Porto Alegre, SBG, p. 37-48.
- Bossi, J. & Navarro, R. 1988. Serpentinitas cromíferas pre-orogênicas en el Ciclo Orogénico Moderno de Uruguay. *6º Panel de Geología del Litoral y 1ª Reunión de Geología del Uruguay*. Salto, Uruguay, p.91-95.
- Brady, J.B. 1977. Metasomatic zones in metamorphic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 41: 113-125.
- Bucher, K. & Frey, M. 2002. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Berlin, Springer, 318p.
- Chemale Jr., F. 1982. *Geologia da região de Palma, São Gabriel, Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 136p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Costa, A.F.U. 1997. *Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense*. Porto Alegre, 291p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Evans, B.W., Hattori, K. & Baronnet, A. 2013. Serpentine: what, why, where? *Elements*, 9: 99-106.
- 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 II – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 375-384.
- Fragoso César, 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, 1986, Goiânia. *Anais...* Goiânia, SBG, v.3, p.1322-1343.
- Garcia, M.A.M. 1981. *Petrologia do Complexo Palma, Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 133p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Guillot, S. & Hattori, K. 2013. Serpentinites: essential roles in geodynamics, arc volcanism, sustainable development, and the origin of life. *Elements*, 9: 95-98.
- Hartmann, L.A. & Remus, M.V.D. 2000. Origem e evolução das rochas ultramáficas do Rio Grande do Sul desde o Arqueano até o Cambriano. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, edição CIGO/UFRGS, p.53-78.
- Hartmann, L.A., Porcher, C.C. & Remus, M.V.D. 2000. Evolução das rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, edição CIGO/UFRGS, p.79-118.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M., Silva, L.C. & Trouw, R.A.J. 2004. A Província Mantiqueira. In: Mantesso Neto, A., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito Neves, B.B. (Eds.). *O desvendar de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, ed. Beca, p.203-234.
- Jordt-Evangelista, H. & da Silva, M.E. 2005. Rochas metaultramáficas de Lamim, sul do Quadrilátero Ferrífero, MG: contribuição ao conhecimento do protólitos da pedra-sabão. *Revista Escola de Minas*, 58(1): 11-20.
- Jost, H. & Hartmann, L.A. 1979. Rodingitos do Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*, 3(6): 77-91.
- Jost, H. & Hartmann, L.A. 1984. Província Mantiqueira – Setor Meridional. In: Almeida, F.F.M & Hasui, Y. (Eds.). *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, ed. Edgard Blücher, p. 345-367.
- Kusky, T.M., Wang, L., Dilek, Y., Robinson, P., Peng, S. & Huang, X. 2011. Application of the modern ophiolite concept with special reference to Precambrian ophiolites. *Science China, Earth Sciences*, 54(3): 315-341.
- Machado, R., Philipp, R.P. & 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, *Resumos Expandidos*, p.52-53, Gramado, RS.
- Masquelín, 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*, 54: 1161- 1183.
- Naumann, M.P. 1985. *O complexo vulcano-sedimentar-ultramáfico e granitóides da região de Ibaré/RS*. Porto Alegre, 161p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Peel, E., Basei, M. & Sanchez Bettucci, L. 2009. La Tuna Complex: a possible neoproterozoic ophiolite. In: AMERICAN GEOPHYSICAL UNION JOINT ASSEMBLY, 2009, *Resumos*, Toronto, Canadá,
- Philipp, R.P. 1998. *A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. São Paulo, 255p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- 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*, 29 (1): 43-57.
- Philipp, R.P., Machado, R., Nardi, L.V.S. & Lafon, J.M. 2001. O magmatismo granítico neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2): 277-290.
- Ramos, R.C. 2011. *Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, RS*. Porto Alegre, 94p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Rego, I.T.S.F. 1981. *Complexo básico-ultrabásico de Pedras Pretas, RS: aspectos petrológicos e geoquímicos*. Porto Alegre, 98p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Remus, M.V.D. 1990. *Geologia e geoquímica do Complexo Cambaizinho, São Gabriel-RS*. Porto Alegre, 267p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Santos, E.L., Azevedo, G.C., Maciel, L.A.C., Mossmann, R. & Remus, M.V.D. 1990. Mapeamento geológico de sequências metavulcano-sedimentares do oeste do escudo Sul-rio-grandense, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. *Anais...* Natal, SBG, v.6, p.2976-2990.
- Spear, F.S. 1995. *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*. Mineralogical Society of America, 799p.
- Strieder, A.J., 1992. Serpentinização e metassomatismo em rochas ultramáficas: discussão das características e recomendações para o tratamento geoquímico. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(3): 329-337.
- Strieder, A.J. & Nelson, A.A. 1992. Estudo petrológico de alguns fragmentos tectônicos da mélange ofiolítica em Abadiânia (GO): I – o protólito dos corpos de serpentinito. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(3): 338-352.
- UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1972. *Geologia das Folhas Arroio Grande, Erval, Basílio e Cêrro Chato*. Porto Alegre. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Vernon, R.H. & Clarke, G.L. 2008. *Principles of metamorphic petrology*. Cambridge University Press, 446p.
- Villwock, J.A. & Loss, E.L. 1970. Um novo tipo de complexo básico-ultrabásico na faixa serpentínica do Pré-Cambriano do Rio Grande do Sul. *Notas e Estudos da Escola de Geologia*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2(1): 15-22.
- Wildner, W. 1990. *Caracterização geológica e geoquímica das sequências ultramáfica e vulcano-sedimentares da região de Bossoroca, RS*. Porto Alegre, 170p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 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.
- Zarpelon, P.R. 1986. *Geologia estrutural, estratigrafia e petrologia de uma parte do greenstone belt Cerrito do Ouro, município de São Sepé, RS*. Porto Alegre, 203p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Legenda das Figuras

Figura 1. (A) Configuração do Gondwana com as principais áreas cratônicas e cinturões relacionados ao Cinturão Dom Feliciano; (B) mapa geológico do Cinturão Dom Feliciano e Cráton Rio de La Plata no sul do Brasil e Uruguai; (C) localização do Cinturão Dom Feliciano e cinturões africanos adjacentes na configuração do Gondwana. (Modificado de Masquelin *et al.*, 2012).

Figura 2. (A) Mapa do Rio Grande do Sul, destacando a região do Escudo Sul-rio-grandense em cinza escuro. (B)- Mapa geológico da região de Arroio Grande (modificado de Wildner *et al.*, 2005) indicando a área estudada neste trabalho (retângulo branco) e correspondente à figura 3A. Zonas de cisalhamento modificadas de Philipp (1998).

Figura 3. (A) Mapa geológico da área estudada. (B) Diagrama equiárea (hemisfério inferior) com os pólos das foliações dos serpentinitos e metassomatitos (triângulos brancos), anfibolitos (triângulos pretos) e xistos (quadrados brancos) (n = 70); (C) Diagrama equiárea hemisfério inferior das lineações minerais dos serpentinitos e metassomatitos (triângulos brancos) e anfibolitos (triângulos pretos) (n = 37); (D) Seção geológica esquemática XY.

Figura 4. (A) Afloramento PU-2, epidoto anfibolitos (UTM 6.433.538 N / 289.544 E, fuso 22J); (B) Afloramento PU-3, metassomatitos (UTM 6.433.610 N / 289.779 E), contendo três rochas metaltramáficas em contato difuso (1 - tremolítico, 2 - cloritito, 3 - esteatito); (C) Afloramento PU-1, bloco de esteatito. As faces retas foram cortadas com serrote de mão para uso da rocha em artesanato (UTM 6.433.454 N / 289.285 E); (D) Afloramento PU-34, mica xistos (UTM 6.430.983 N / 284.245 E).

Figura 5. Fotomicrografias dos epidoto anfibolitos. (A) Aspecto geral da lâmina PU-2A em luz polarizada e aumento de 2.5 x, mostrando o bandamento irregular e descontínuo da rocha; (B) Aspecto geral da lâmina PU-20 em luz polarizada e aumento de 2.5 x; (C) Detalhe das bandas máficas da lâmina PU - 2A, em aumento de 10 x e nicóis cruzados, mostrando grãos finos de epidoto agregados a grãos de hornblenda; (D) Difratoograma de rocha total da amostra PU - 2B. Abreviações: Ep = epidoto, Hb = hornblenda, Qz = quartzo; Pl = plagioclásio.

Figura 6. Fotomicrografias dos serpentinitos. (A) Aspecto geral da lâmina PU - 1B em nicóis cruzados e aumento de 2.5 x; (B) Detalhe dos grãos de talco presentes na lâmina PU - 1B, nicóis cruzados e aumento de 5 x. Abreviações: Ser = serpentina; Tlc = talco.

Figura 7. Fotomicrografias da amostra PU - 3B. (A) Aspecto geral da amostra em aumento de 2.5 x, mostrando massas de talco ± serpentina e clorita, com granulação muito fina e massas de talco, tremolita e clorita de granulação fina, em nicóis cruzados; (B) Grãos de cromita (opacos) envoltos pela massa de talco, tremolita e clorita, em aumento de 2.5 x e nicóis cruzados; (C) Detalhe de grãos de tremolita e cromita em aumento de 20 x e nicóis cruzados; (D) Difratoograma de rocha total da amostra PU - 3B. Abreviações: Cr = cromita, Cl = clorita, Tr = tremolita, Tlc = talco.

Figura 8. Fotomicrografia da amostra PU - 3A. (A) massas de clorita e talco nos contatos entre grãos de tremolita (nicóis cruzados, aumento de 2.5 x); (B) Detalhe dos cumulados de cromita (opacos) encontrados em alguns grãos de tremolita da mesma lâmina (luz polarizada, aumento de 10 x); (C) Gráfico da composição química obtida pela análise em MEV-EDS em grão de opaco da lâmina PU-3A; (D) Difratoograma de rocha total da amostra PU - 3A. Abreviações: Tr = tremolita, Tlc = talco, Cr = cromita, Cl = clorita.

Figura 9. Fotomicrografias da lâmina delgada da amostra PU - 3E. Figuras (A) e (B) Aspecto geral da amostra, com grandes cristais de cloritas pseudomórficas sem orientação preferencial e grande quantidade de opacos (cromita) anédricos a subédricos disseminados por toda a amostra (em luz polarizada, aumento de 2.5 x e 5 x respectivamente); (C) Imagem em nicóis cruzados da figura (B); (D) Difratoograma de rocha total da amostra PU - 3E.

Figura 10. Fotomicrografias da lâmina delgada da amostra PU - 14. (A) Aspecto geral da amostra, em luz polarizada e aumento de 2.5 x, mostrando a orientação preferencial dos minerais e a grande quantidade de micas presente na composição mineralógica da rocha; (B) Mesma seção da figura (A), em nicóis cruzados; (C) Detalhe da amostra em aumento de 5 x e nicóis cruzados; (D) Difratoograma de rocha total da amostra PU - 14. Abreviações: Qz = quartzo, Bt = biotita, Mus = muscovita, Pl = plagioclásio.

Figura 11. Seções magmatoestratigráficas simplificadas de alguns tipos de seqüências ofiolíticas de acordo com determinado ambiente tectônico. (A) Cordilheira meso-oceânica de rápida expansão; (B) Sistema de lenta expansão, onde a extensão tectônica é mais rápida do que a ascensão do magma ao assoalho oceânico, resultando em uma crosta oceânica altamente falhada e atenuada; (C) Intra-arco; (D) Platô oceânico de *hot spot*; (E) Ofiolitos transicionais ou de margem continental, formados na transição de margens continentais rifteadas para centros de expansão de assoalho oceânico, nos estágios iniciais da abertura de um oceano (modificado de Kusky *et al.*, 2011).

Figura 12. Esquema mostrando as rochas metamáficas, metaultramáficas e metassedimentares da região de Arroio Grande aplicadas à hipótese de transformação metamórfica/metassomática das rochas de um complexo ofiolítico. Abreviação: sed. = sedimentares. Coluna e legendas do ofiolito adaptadas de Kusky *et al.* (2011).

Tabela 1. Minerais identificados nas rochas estudadas através de petrografia, MEV-EDS e difratometria de raios X.

Figura 1

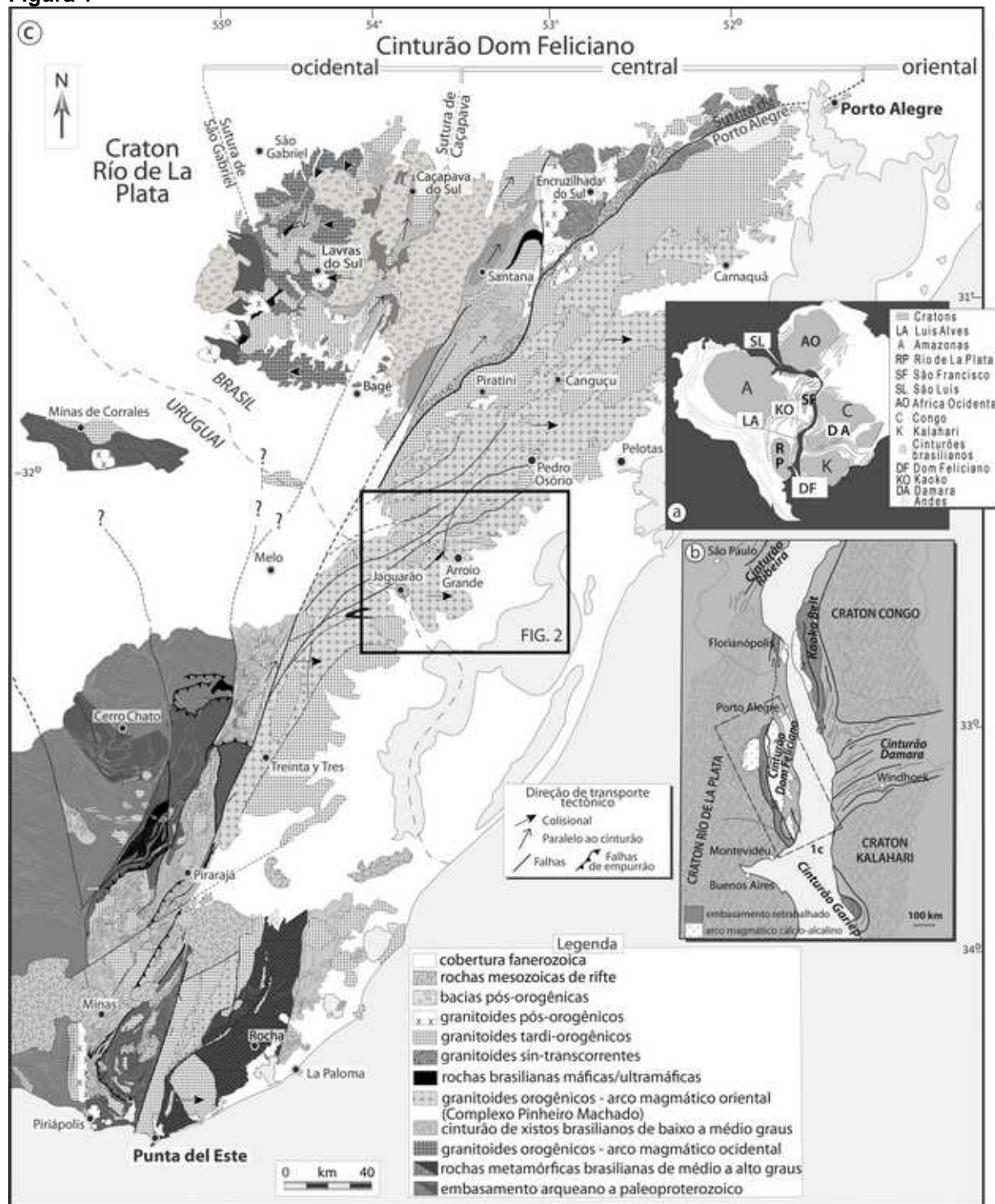


Figura 2

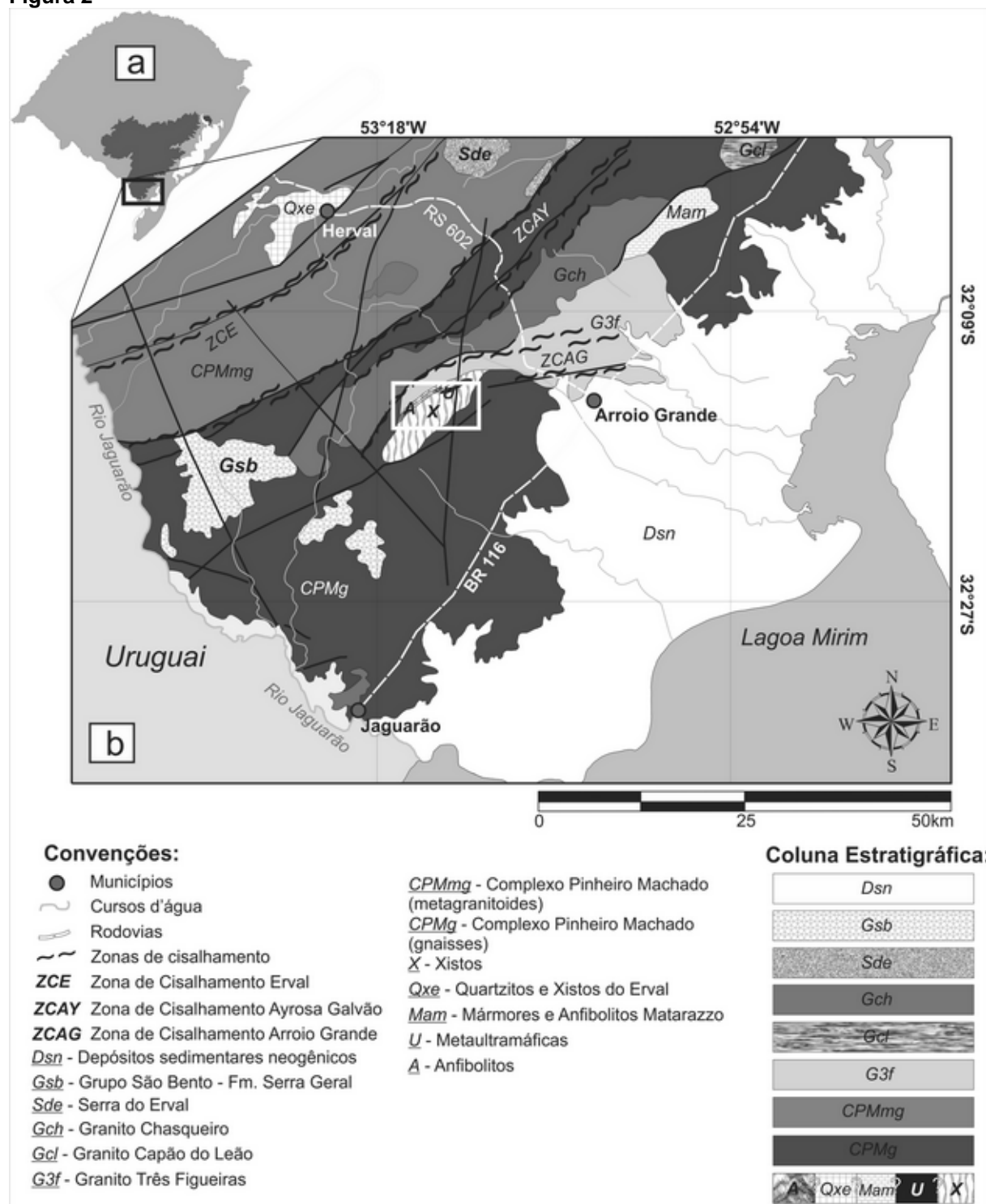


Figura 4



Figura 5

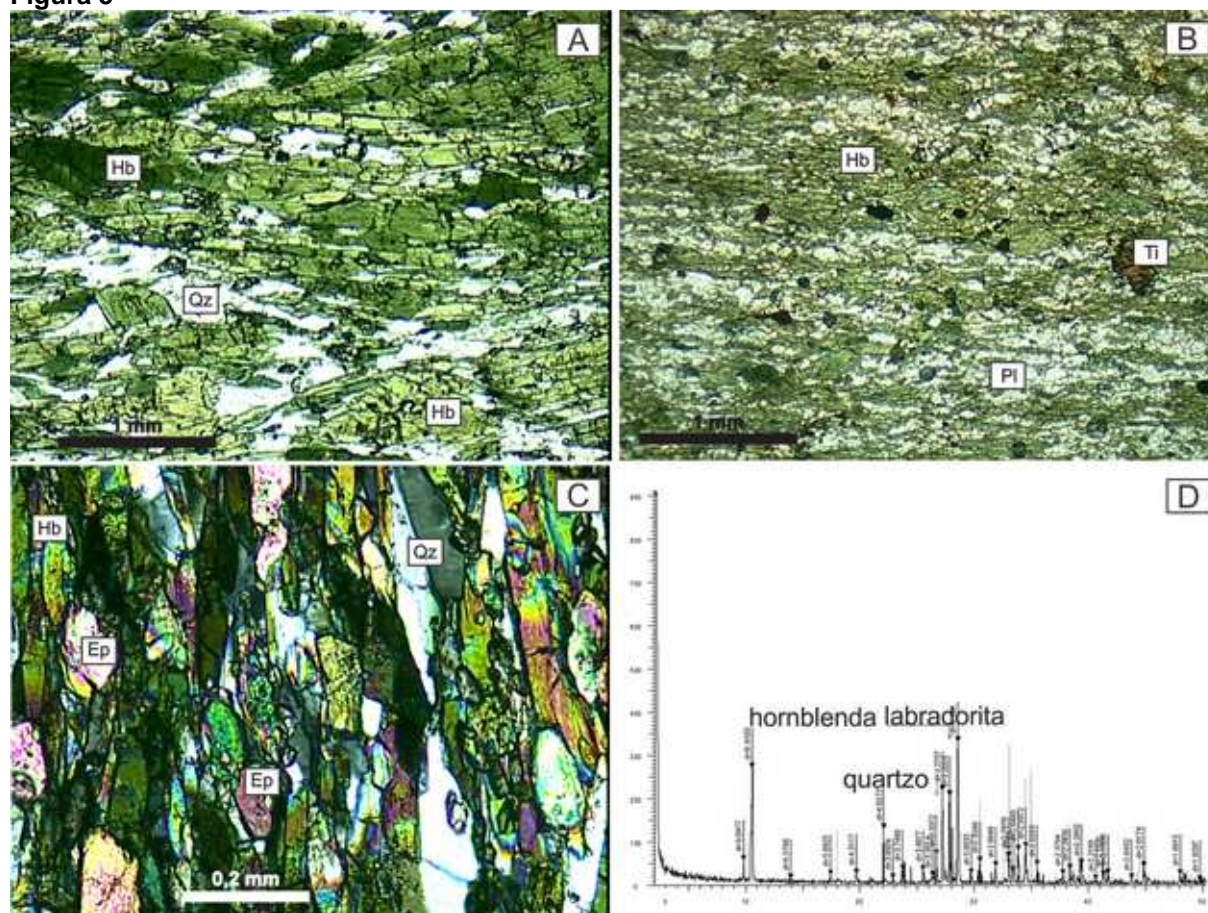


Figura 6

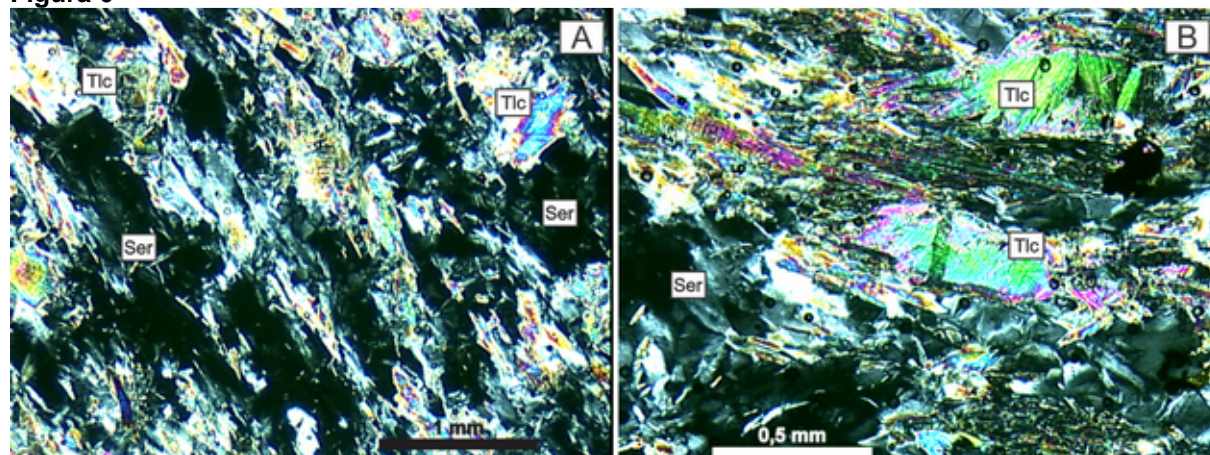


Figura 7

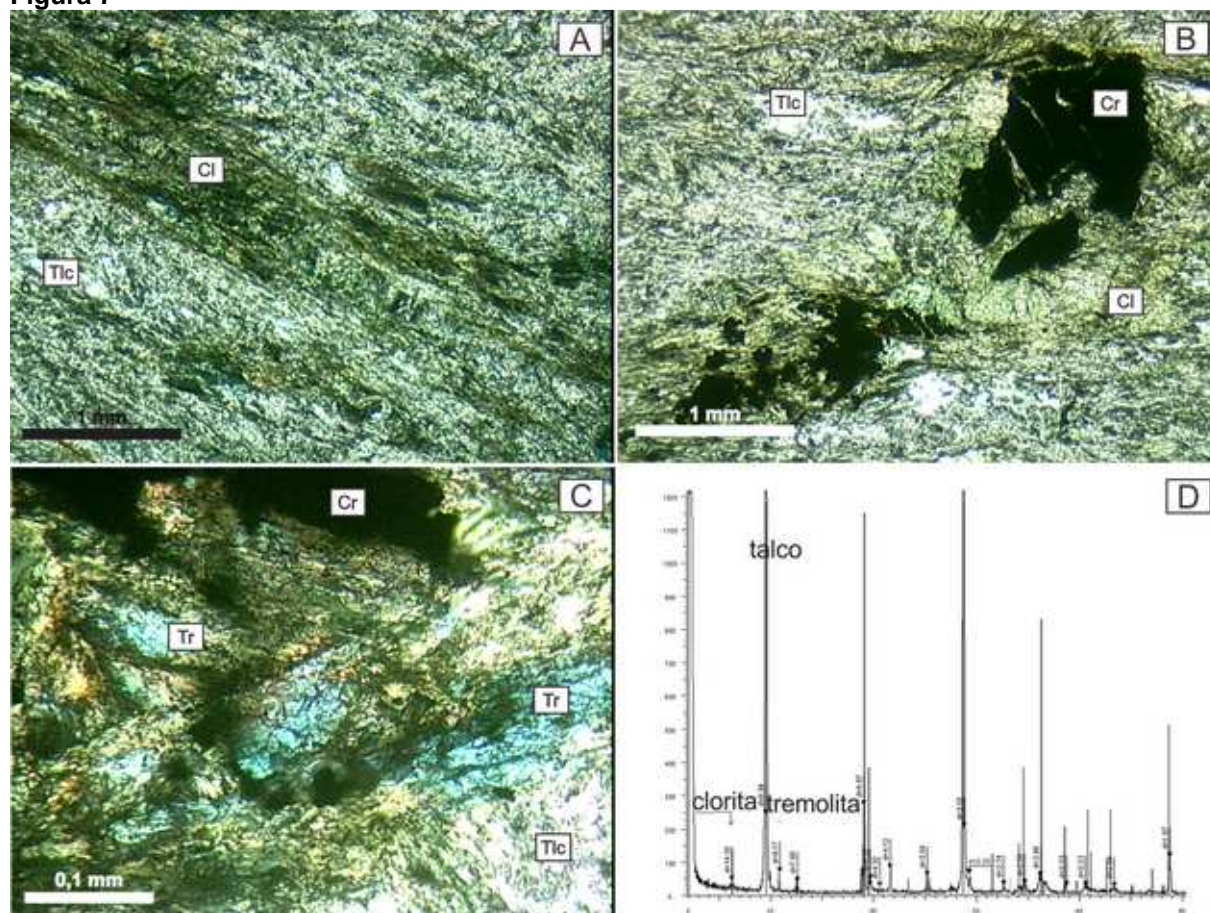


Figura 8

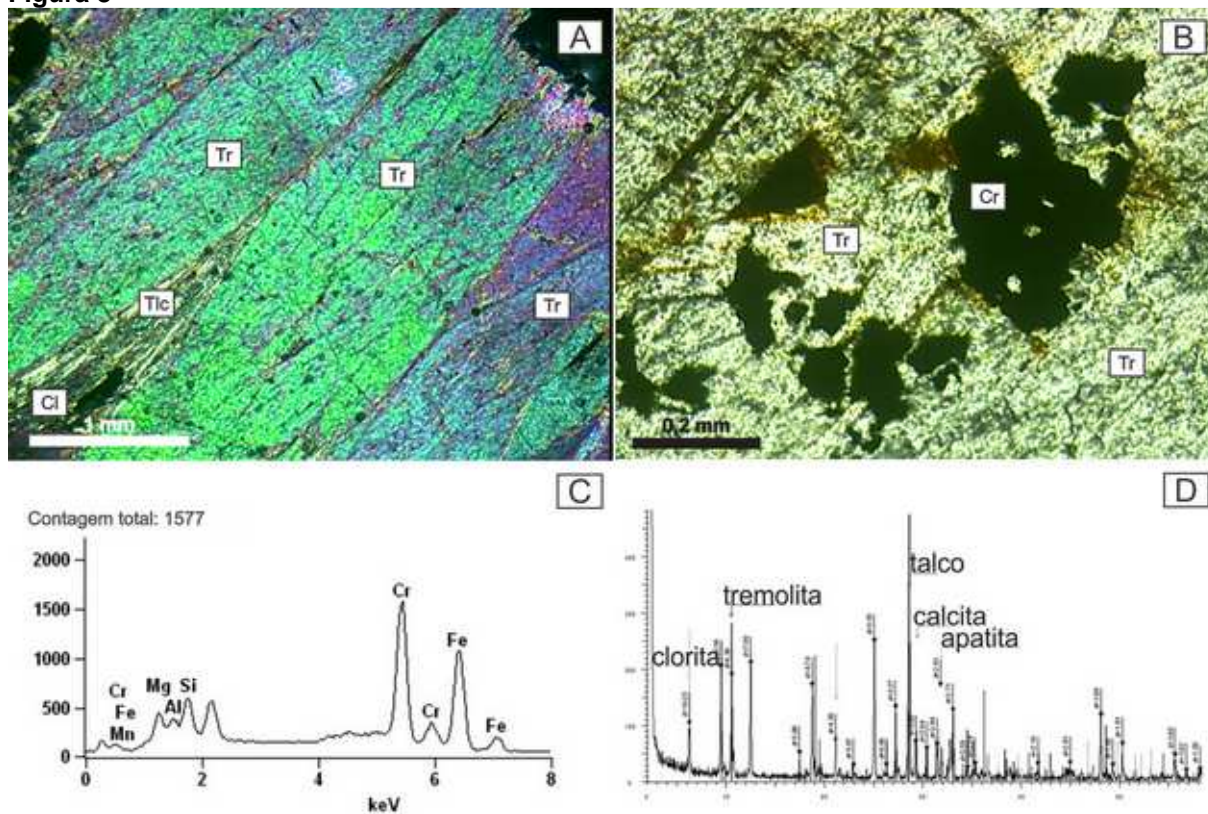


Figura 9

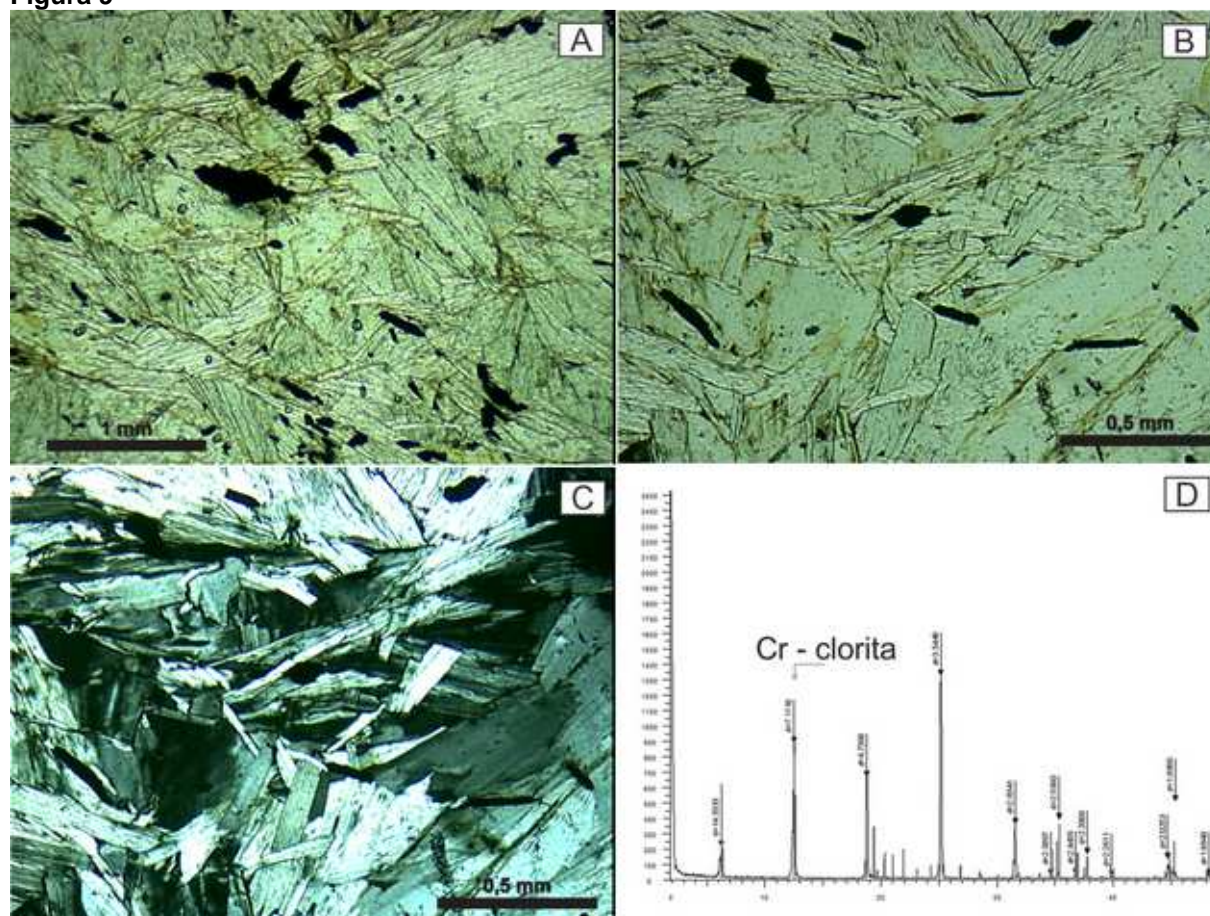


Figura 10

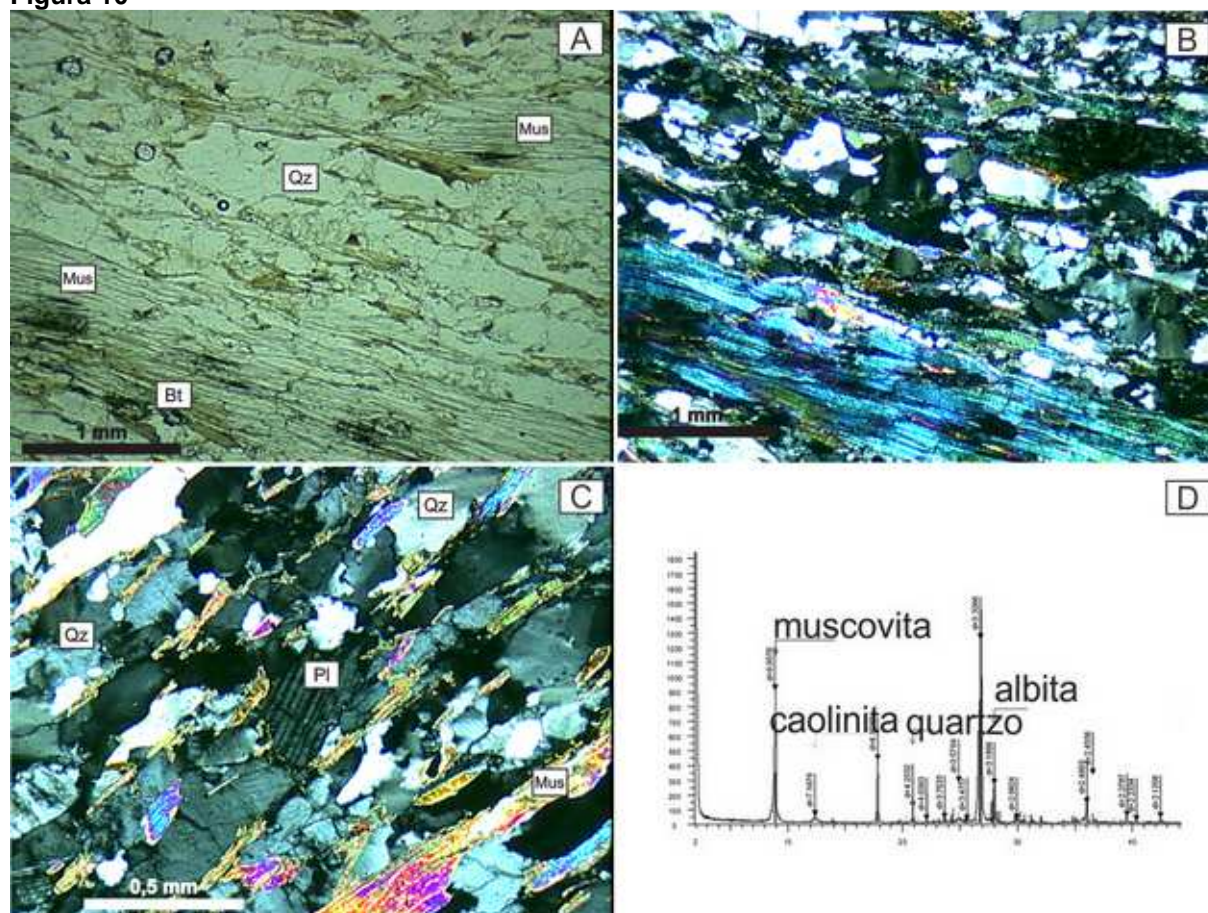


Figura 11

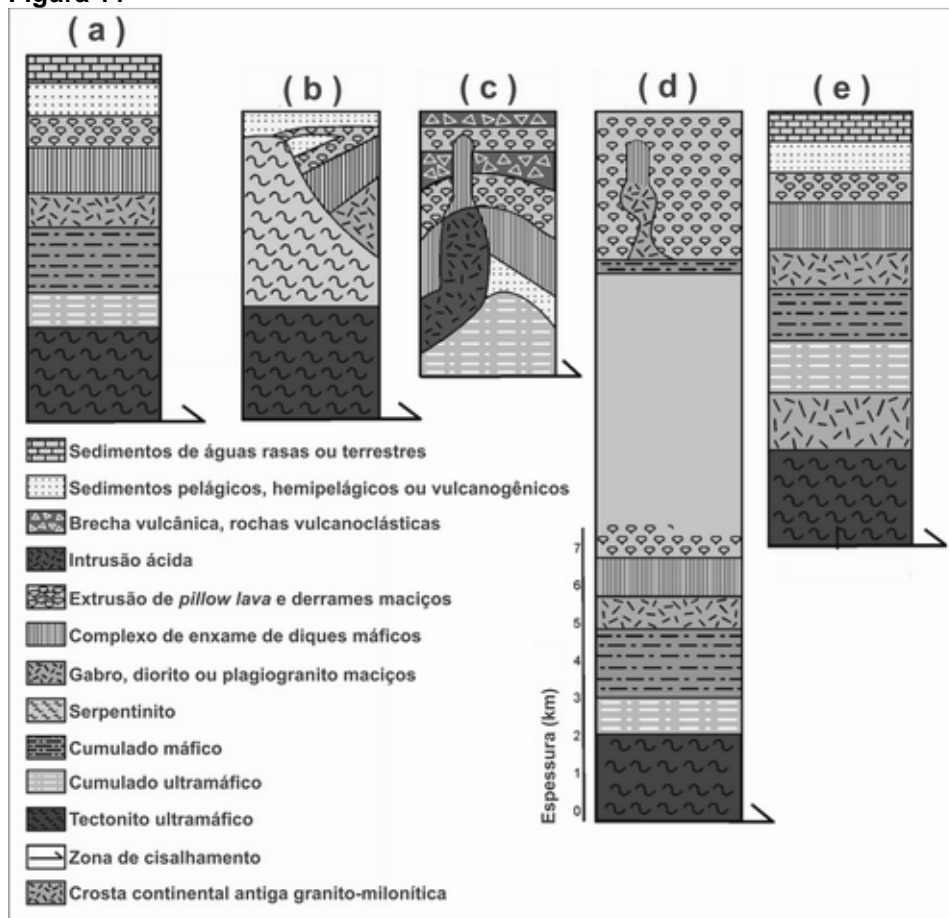
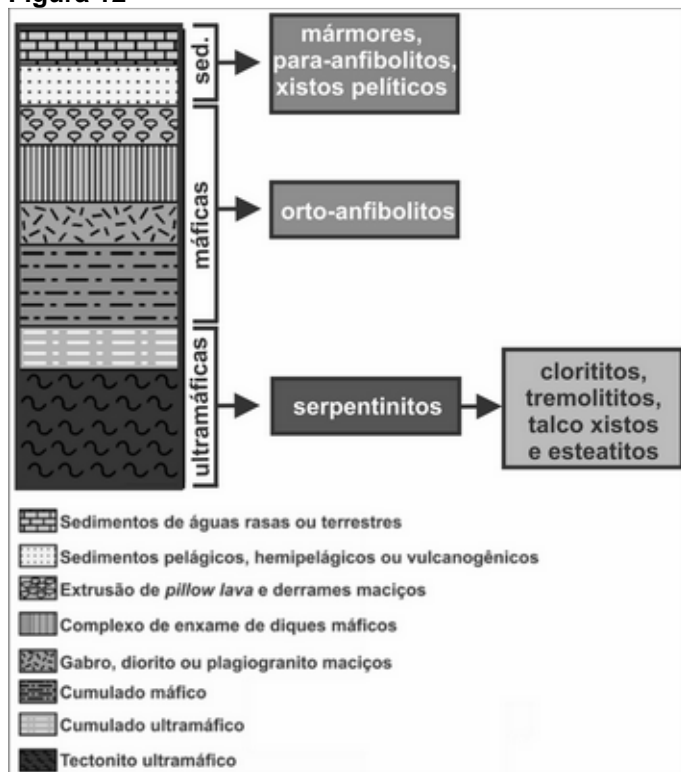


Figura 12



PARTE III

Carta de Aceitação



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pesquisas em Geociências

Porto Alegre, 17 de setembro de 2013.

Prezados autores

Venho comunicar que o manuscrito abaixo listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, foi aceito para publicação. A aceitação é condicionada ao atendimento de eventuais solicitações na fase de diagramação e editoração. Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição.

Título: *Geologia da associação metamórfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense.*

Autor(es): *Rodrigo Chaves Ramos & Edinei Koester.*

Atenciosamente,

Prof. Dr. Paulo Alves de Souza
Editor Chefe

Pesquisas em Geociências
Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia
Av. Bento Gonçalves, n° 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127, Sala 209
CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.
E-mail: paulo.alves.souza@ufrgs.br

Histórico Escolar

Aluno



RODRIGO CHAVES RAMOS

143828

Lista das atividades de ensino do aluno avaliadas pelo curso.

HISTÓRICO CURSO GEOCIÊNCIAS - Mestrado Acadêmico - 01/03/2012

Período Letivo	Código	Disciplina	Créditos	Conceito	Situação
2013/02	GEB00020	Introdução à Filosofia da Ciência I	3	-	Matriculado
2013/02	GEP91-53	T.E. EM GEOQUÍMICA: ZONAS DE CISALHAMENTO, MIGMATITOS E GRANITOS	2	A	Aprovado
2013/01	GEP92-52	T.E. Em Geoquímica - MICROTTECTÔNICA	6	A	Aprovado
2012/02	GEB00065	Geoquímica isotópica aplicada a depósitos minerais	5	A	Aprovado
2012/02	GEB00122	MAGMATISMO: FONTES E PROCESSOS	4	A	Aprovado
2012/02	GEB00114	Trajcetórias de P-T-t em cinturões orogênicos	4	A	Aprovado
2012/01	GEB00051	Análise de Materiais	4	B	Aprovado
2012/01	GEB00069	Geologia das Rochas Granitóides	4	A	Aprovado
2012/01	GEB00118	GEOLOGIA DE ISÓTOPOS RADIOGÊNICOS: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES	4	A	Aprovado
2012/01	GEP00048	Geoquímica das rochas graníticas	5	A	Aprovado
		Inglês em 02/06/2012	-	-	-

Totais

Créditos Matriculados neste Ingresso:	3
Créditos Cursados com Aprovação neste Curso:	38
Total:	41

ATA Nº 667

A comissão abaixo assinada tendo examinado a Dissertação de Mestrado do aluno **RODRIGO CHAVES RAMOS**, intitulada “**COMPLEXO OFIOLÍTICO ARROIO GRANDE, SUDESTE DO ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE: CARACTERIZAÇÃO E DISCUSSÕES DAS UNIDADES ORTODERIVADAS**”, atribui os seguintes conceitos:

Prof. Dr. Henri Masquelin (Facultad de Ciencias, Universidad de la Republica Uruguai)

CONCEITO: “A” (EXCELENTE)

Prof. Dr. Viter Magalhães Pinto (Universidade Federal de Pelotas)

CONCEITO: “A” (EXCELENTE)

Profa. Dra. Carla Cristine Porcher (PPGGEO/UFRGS)

CONCEITO: “B” (BOM)

Porto Alegre, de de 2013.

Homologação pela Comissão de Pós-Graduação,	
Ata nº	Data:
Conceito Final:	
Rubrica:	

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“COMPLEXO OFIOLÍTICO ARROIO GRANDE, SUDESTE DO ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE: CARACTERIZAÇÃO E DISCUSSÕES DAS UNIDADES ORTODERIVADAS”
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: RODRIGO CHAVES RAMOS
Orientadora: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinador: Profa. Dra. Carla Cristine Porcher
Data: 06/02/2014
Conceito: B
PARECER:
<p>A dissertação de mestrado apresentada trata de um tema de grande relevância para o entendimento da evolução geológica do Domínio Oriental do Cinturão Dom Feliciano e da formação do paleocontinente W Gondwana.</p> <p>Na primeira parte é feita a introdução da monografia é apresentada um revisão da presença de ofiolitos no Escudo Sul-rio-grandense, a localização da área de estudo e os objetivos do trabalho. A segunda parte é constituída por 01 artigo científico relacionado diretamente ao tema central da dissertação, submetido e aceito para publicação na revista Pesquisas em Geociências, que atende às exigências do PPG Geo. Na terceira parte são apresentados como anexo a carta de aceitação para publicação do artigo submetido à revista Pesquisas em Geociências e o histórico escolar do mestrado.</p> <p>De modo geral, a monografia está bem escrita, apresentando o problema, resultados e conclusões de forma sucinta e com clareza. O trabalho de caracterização das unidades estudadas é focado principalmente na descrição de aspecto de campo, cartografia, petrografia e difração de raios-x, com limitado uso de microscopia eletrônica. A correlação com o Complexo La Tuna (Uruguai) e Terreno Marmora (Namíbia) está amparada, principalmente na similaridade litológica e, no caso do Complexo La Tuna, na proximidade e similaridade de orientação espacial das duas unidades. As conclusões do trabalho são consistentes com os dados apresentados e sua correlação com os dados da bibliografia utilizada para a discussão.</p> <p>Apesar da ótima qualidade do estudo, algumas análises mais aprimoradas teriam conferido mais robustez às conclusões do estudo. Em primeiro lugar, há que comentar o emprego do termo caracterização, desde o título da monografia e várias vezes no decorrer da mesma. A palavra caracterização deve ser acompanhada de adjetivo que descreva o seu tipo, visto que, em geologia, poderia ser de diferentes tipos (eg. petrográfica, estrutural, geoquímica, isotópica, geocronológica). A definição de que tipo de caracterização se pretende facilita a delimitação do estudo que tem que ser feito para atingir o objetivo proposto.</p>

Desde que a caracterização observada foi principalmente cartográfica, de campo e petrográfica/petrogenética, teria sido interessante desenvolver um pouco mais a análise das foliações internas do Complexo Ofiolítico Arroio Grande. Na figura 3 (pg. 10), observa-se no diagrama dos pólos da foliação e na distribuição no mapa que a foliação varia bastante em ângulo de mergulho. Comparando com o perfil apresentado na mesma figura, sugere a ocorrência de uma estrutura em flor positiva. Essa observação teria sido facilitada se o perfil geológico mostrasse as estruturas internas das unidades. Com relação ao diagrama de lineações, elas são descritas no texto como lineações de estiramento e na legenda como lineações minerais. Mas a questão mais relevante sobre essas estruturas é que as lineações das rochas metamáficas tem orientações mais para leste do que as das rochas metaultramáficas, o que pode sugerir que essas lineações se originaram em momentos diferentes da deformação, i.e. posicionamento dessas rochas em sua posição estrutural atual.

A determinação das assembléias minerais das unidades foi realizada principalmente utilizando a petrografia, de forma correta, mas como ferramenta analítica foi utilizada principalmente a difração de raios-x (DFRX) e, apenas secundariamente foi empregado o microscópio eletrônico de varredura (MEV). Esse estudo, entretanto teria sido bastante mais rico se a análise petrográfica tivesse sido mais suportada pelo MEV, que é uma ferramenta mais adequada aos estudos petrográficos do que a difração de raios-x porque permite verificar as relações das fases minerais com a textura, o que não pode ser feito com a DFRX. Adicionalmente, o MEV não é limitado pela proporção de ocorrência para a verificação de uma determinada fase mineral.

O estudo das fases minerais e seu significado petrológico, metamórfico e da natureza do protólito, foi tratado de forma um pouco superficial. Em parte isso se deve ao limitado uso do MEV que teria permitido uma melhor determinação das condições de metamorfismo, pois a ordem de formação das fases minerais poderia ter sido mais explorada e com isso com a utilização de diagramas de fase poderia ter sido esboçada uma evolução metamórfica que teria em muito contribuído com a avaliação do contexto tectônica das rochas investigadas. De mesma forma, a análise com MEV teria ajudado na determinação do tipo de opaco comum na maioria das rochas, e não apenas se limitado a determinação da cromita. Mas nesse tipo de composição de rocha, os minerais opacos são também muitas vezes diagnósticos da condição do metamorfismo. Por outro lado, no texto do artigo a presença de cromita é comentada apenas na descrição dos tremolititos, embora na figura 7 seja mostrada a ocorrência de cromita também nos talco xistos. A presença de cr-clorita nos clorititos também é apenas comentada, mas esse mineral pode ser um indicador petrológico importante. Por exemplo, segundo Merlini *et al.* (2009) a ocorrência desse mineral pode ser originada de uma intensa alteração metamórfica em temperatura acima de 300°C de cromita disseminada ou maciça em presença de serpentina em ambientes de mélange. Segundo Merlini *et al.*, ainda, o ambiente metamórfico mais esperado para tal reação é o de metamorfismo progressivo posterior à serpentinização, como observado no ofiolito de Kalkan, possivelmente relacionado ao posicionamento em um prisma acrescionário.

Na aplicação de denominações formais de unidades litodêmicas/geotectônicas também foram observados alguns pequenos erros: a utilização do termo 'porção' ocidental do escudo (o termo proposto pelos autores citados é domínio, posto que porção é uma terminologia vaga); Complexo Porongos (ao invés de Complexo

Metamórfico Porongos), ciclo orogênico Brasileiro (forma correta é Ciclo Orogênico Brasileiro). Não localizei a Tabela 1 do artigo .
Essas considerações não diminuem a significativa contribuição do estudo apresentado nessa dissertação, pelo reconhecimento, cartografia e caracterização litológica das unidades do Complexo Ofiolítico Arroio Grande, que deverá dar início a uma nova abordagem da evolução do Domínio Oriental do Cinturão Dom Feliciano.

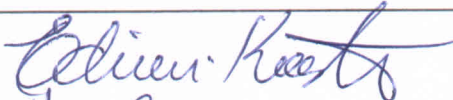
Assinatura:



Data:

06/02/2014

Ciente do Orientador:



Ciente do Aluno:

Rodrigo Unvers Ramos

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"COMPLEXO OFIOLÍTICO ARROIO GRANDE, SUDESTE DO ESCUDO SUL-RIO GRANDENSE: CARACTERIZAÇÃO E DISCUSSÕES DAS UNIDADES ORTODERIVADAS"

Área de Concentração: GEOQUÍMICA

Autor: RODRIGO CHAVES RAMOS

Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester

Examinador: Prof. Dr. Viter Magalhães Pinto

Data: 04-02-2014

Conceito: "A" Excelente

PARECER:

O trabalho apresenta evidentes avanços no conhecimento científico sobre a região sudeste do ES RG. Está bem escrito e, no geral, com consistência técnica.

Como forma apenas sugiro ^{fortemente} que na dissertação se usiga que o artigo seja apresentado de forma "final", com figuras, tabelas e legendas inseridas no texto e não como foi submetido.

Quanto ao texto considero que seria importante um quadro comparativo com evidências de ofiolitos e de não ofiolitos (greenstone? suite estratíf.?) e/ou maior detalhamento da hipótese de Peul (2012)

Você escreve sobre Gondwana e finaliza sua explanação com 540 Ma? Gondwana não é só "GATUCA", há mais eventos, como granitoides cambrianos (~500 Ma) no RJ etc

No modelo tectônico, você escreve sobre evento 540 Ma e não demonstra na figura 4 foi esquecimento? Se não, sugiro revisar e acrescentar um passo (c) antes da separação AMS x AF

No artigo há uma certa confusão no uso de termos na página 20, com duplicidade do termo Quartzitos e xistos do Herval e oncôgnites, sobre os Gnaisses Vigia, Chanã e Pinafimi - esses termos são de Fragoso César? o que significam?

Sugiro revisar a Geologia Regional.

No item R. metassedimentares transparesce que você tem total certeza que assim o são, mas talvez uma discussão sobre a possibilidade de serem milonitos ou ultramylonitos de rochas granitoides associadas a ZCAG? "Falo" isso pois não há uma prova cabal no trabalho para afirmar q. são metassedimentares, apesar de boas evidências.

Na figura 5 você indica a presença de Ti? é Titanita? Mas NÃO está na legenda.

Por fim, parabensizo o Rodrigo e indico fortemente a confirmação dos estudos na região e no Uruguai para correlação com dados + robustos.

Assinatura:

Vitor Hugo Thiers Riba

Data:

04-02-2014

Ciente do Orientador:

Elvira Koester

Ciente do Aluno:

Rodrigo Xavier Ramos

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"COMPLEXO OFIOLÍTICO ARROIO GRANDE, SUDESTE DO ESCUDO SUL-RIO GRANDENSE: CARACTERIZAÇÃO E DISCUSSÕES DAS UNIDADES ORTODERIVADAS"

Área de Concentração: GEOQUÍMICA

Autor: RODRIGO CHAVES RAMOS

Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester

Examinador: Prof. Dr. Henri Masquelin

Data: 8 / 02 / 2014

Conceito: A (EXCELENTE)

PARECER:

A dissertação intitulada "Complexo Ofiolítico Arroio Grande: SE do "Escudo Sul-Rio-grandense" constitui um trabalho bem estruturado que descreve e discute corretamente os restos de uma associação de rochas máficas e ultramáficas do "Batólito Pelotas".

O trabalho está formalmente bem apresentado e sucinto. A redação é clara, gramaticalmente correta em português, e a ordenação das ideias e conceitos merece destaque. A lista bibliográfica apresenta apenas 1 erro (repetição pag. 15).

As figuras são todas necessárias e de boa qualidade com exceção dos diagramas cujos picos apresentam valores numéricos ilegíveis. Esses valores são indispensáveis para documentar a caracterização dos minerais em cada associação.

O resumo sintetiza bem o conteúdo do trabalho; porém o título parece um pouco comprido de mais.

A estrutura da dissertação é separada em duas partes:

- 1) Introdução sobre o tema e descrição do objeto de pesquisa, resumindo a filosofia de pesquisa e o estado da arte sobre o tema de pesquisa.
- 2) Artigo publicado na revista Pesquisas.

Na parte 1, a geologia do objeto de pesquisa e as correlações com outros objetos de pesquisa foram bem desenvolvidas, porém a filosofia de pesquisa e o estado da arte são carentes porque considera que a FILOSOFIA DE PESQUISA consiste na própria ocorrência de ofiolitos no Precambriano. Isso

foi desenvolvido apenas na discussão do artigo (vide pag. anexadas)

Seria bom ^{ter} incorporado a esse estudo um capítulo monográfico de análise da bibliografia mundial sobre ofiolitos precambrianos utilizando o trabalho do Kusky et al. (2011) assim quanto outros trabalhos de referência para aprofundar e melhorar o diagnóstico das associações de rochas máficas-ultramáficas, ^{tal análise} ^{de revisão} seria de grande proveito, possibilitando publicar em jornais do tipo "Precambrian Research".

Contudo, essas análises e DISCUSSÃO foram corretamente desenvolvidas no artigo da parte 2:

- 1) Problema de interpretação dos protólitos devido ao metamorfismo hidrotermal e deformação dos complexos de rochas M-UM.
- 2) Significado geotectônico das rochas metasedimentares associadas.
- 3) Hipótese do ofiolito, discriminação do tipo "geotectônico" de assaolho oceânico a partir das evidências geológicas.

Esse trabalho foi realizado com rigorosidade científica e afastado de todos os preconceitos. Outras hipóteses poderiam ser aplicadas (greenstone-Belt, Complexos Máfico-Ultramáficos associados de embasamento) embora esta seja a mais parsimoniosa com relação à ocorrência dos serpentinitos. Ademais, existem múltiplas evidências em favor de uma origem ofiolítica (magnetita cromífera, etc.).

A faixa "La Tuna - Arroio Grande" poderia eventualmente representar uma sutura principal no Cinturão Dom Feliciano. Finalmente, gostaria agradecer ao candidato e orientador por ter me convidado a participar dessa banca de avaliação de ~~defesa~~.

Assinatura:

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

Enrique MASQUELLO

Data: 8/2/2014

Elieci Keester

Rodrigo Carlos Ramos