



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**DATAÇÃO U-PB EM XENOCRISTAIS DE ZIRCÃO COMO
PROXY PARA AVALIAÇÃO DA ASSIMILAÇÃO VULCÂNICA
E CROSTA SUBJACENTE, FORMAÇÃO JAGUARÃO,
CRETÁCIO, RS-BRASIL**

VICENTE MEDEIROS LEIVAS ARAUJO

ORIENTADOR: Prof^a Dr^a Juliana Charão Marques

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. José Carlos Frantz

Porto Alegre, 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**DATAÇÃO U-PB EM XENOCRISTAIS DE ZIRCÃO COMO
PROXY PARA AVALIAÇÃO DA ASSIMILAÇÃO VULCÂNICA
E CROSTA SUBJACENTE, FORMAÇÃO JAGUARÃO,
CRETÁCEO, RS-BRASIL**

VICENTE MEDEIROS LEIVAS ARAUJO

ORIENTADOR: Prof^a Dr^a Juliana Charão Marques

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. José Carlos Frantz

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Artur Cezar Bastos Neto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dra. Raquel Barros Binotto, CPRM - Serviço Geológico do Brasil

Dr. Daniel Triboli Vieira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para obtenção do
Título de Mestre em Ciências

Porto Alegre, 2020



FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

Araujo, Vicente Medeiros Leivas
DATAÇÃO U-PB EM XENOCRISTAIS DE ZIRCÃO COMO PROXY
PARA AVALIAÇÃO DA ASSIMILAÇÃO VULCÂNICA E CROSTA
SUBJACENTE, FORMAÇÃO JAGUARÃO, CRETÁCIO, RS-BRASIL /
Vicente Medeiros Leivas Araujo. -- 2020.

74 f.

Orientadora: JULIANA CHARÃO MARQUES.

Coorientadora: JOSÉ CARLOS FRANTZ.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,
2020.

1. DATAÇÃO . 2. XENOCRISTAIS DE ZIRCÃO. 3. FORMAÇÃO
JAGUARÃO. I. MARQUES, JULIANA CHARÃO, orient. II.
FRANTZ, JOSÉ CARLOS, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



Dedico este trabalho a minha Família, a minha Companheira Betina e Amigos, que tanto me ajudaram neste caminho.



Agradeço a UFRGS pela formação e pela oportunidade de desenvolver este trabalho. Agradeço a todos os meus professores o qual chamo de mestres pelos ensinamentos a mim transmitidos durante toda minha formação. Agradeço as todos que de alguma maneira colaboraram no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço em especial a Prof^a Dr^a Juliana Marques e ao Prof^o Dr. José Carlos Frantz por todo suporte durante o desenvolvimento deste Mestrado.



RESUMO

As lavas portadoras de cordierita da Formação Jaguarão do Cretáceo foram formadas nos estágios iniciais da ruptura do Gondwana no Cinturão Dom Feliciano Oriental. As lavas são caracterizadas por conter muitos xenólitos. Este vulcanismo distinto aponta para uma assimilação incomum de rochas hospedeiras. Estudos anteriores sugeriram magmatismo relacionado à fusão parcial devido ao atrito em falhas reativadas com transporte rápido. Para entender melhor o papel das rochas crustais na formação de lavas, examinamos as lavas da Formação Jaguarão quanto à distribuição dos xenólitos. Além disso, datação U-Pb de zircão por LA-ICP-MS foi aplicada a uma amostra selecionada contendo xenólitos amplamente assimilados e acumulados de ortopiroxênio reequilibrados. Nossos resultados sugerem mais de um estágio de contaminação. Propomos o fracionamento e assimilação em uma câmara magmática anteriormente à extrusão seguida de incorporação de fragmentos durante a extrusão para explicar os xenólitos altamente assimilados e os grandes xenólitos com margens nítidas e menor grau de assimilação presentes nas lavas. A datação U-Pb de xenocristais de zircão funcionou como uma *proxy* para avaliar a crosta subjacente ao vulcanismo. Os resultados sugerem um nível raso para a câmara magmática, considerando que a maioria dos xenocristais de zircão são Neoproterozóicos, semelhantes ao embasamento local. A presença de poucos xenocristais de 1,0-1,2 Ma sugere seqüências de idade Mesoproterozóica na crosta subjacente.

Palavras Chave: Formação Jaguarão; xenólitos; zircão; Datação U-Pb; Cinturão Dom Feliciano

ABSTRACT

The cordierite-bearing lavas from the Cretaceous Jaguarão Formation were formed in the early stages of the Gondwana breakup, Eastern Dom Feliciano Belt. The lavas are characterized by enclosing lots of xenoliths. This distinct volcanism points to unusual assimilation of host-rocks. Previous studies suggested magmatism related to partial fusion due to friction in reactivated faults with fast transportation. In order to better understand the role of crustal rocks in the lavas formation, we examined the Jaguarão Formation lavas regarding the distribution of xenoliths. In addition, LA-ICP-MS U-Pb zircon dating was applied to a selected sample containing largely assimilated xenoliths and reequilibrated orthopyroxene adcumulates. Our results suggest more than one stage of contamination. We propose fractionation and assimilation in a magma chamber previously to extrusion followed by fragments incorporation during extrusion to explain both highly assimilated xenoliths and large xenoliths with sharp margins and lower degree of assimilation. The U-Pb zircon xenocrysts dating worked as a proxy to assess the crust underlying the volcanism. The results suggest a shallow level for the magma chamber considering the majority of the zircon xenocrysts are Neoproterozoic, similar to local basement. Presence of few 1.0-1.2 Ma xenocrysts suggests Mesoproterozoic sequences in the underlying crust.

Key Words: Jaguarão Formation; xenoliths; zircon; U-Pb dating; Dom Feliciano Belt

LISTAS

Lista de Figuras

Figura 1-Fotografia do MEV com o tubo de elétrons, a câmara de amostras, o equipamento de catadoluminescência a esquerda com selo azul, e o display de navegação e analítico.16

Figura 2-Microscópio Eletrônico de varredura e seus componentes. Maliska, 2004. 17

Figura 3- Ilustração esquemática de interações dos elétrons primários com a superfície da amostra e o que acontece com a trajetória destes elétrons incidentes após atingirem os prótons e a eletrosfera dos átomos da amostra. Extraído de Maliska (2004).....19

Figura 4- LA-MC-ICP-MS do laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS.21

Figura 5-(a) Localização da área de estudos. (b) Mapa Geológico, com compartimentação de unidades da porção meridional da Província da Mantiqueira nos Escudos Sul Rio-Grandense e Uruguaio (Nardi & Bitencourt, 2006) e indicação da área de estudos em amarelo. c) Mapa Geológico da área de estudos (Fonte: CPRM, 2006, modificado de Ramos&Koester (2015)).31

Figura 6- Seção geológica proposta por Rosa (2009) mostrando a relação entre as rochas vulcânicas mesozóicas e o embasamento, esta seção foi baseada em dados de gravimetria e magnetometria.....32

Lista de Tabelas

Tabela 1- Dados geocronológicos disponíveis para as rochas vulcânicas da Formação Jaguarão.as vulcânicas da Formação Jaguarão.2

Tabela 2- Dados Geocronológicos para as lavas de Jaguarão.6

Tabela 3- Dados Geocronológicos para Suíte Intrusiva Pinheiro Machado (SIPM), embasamento da Formação Jaguarão.....7

Tabela 4- Idades U/Pb (SHRIMP) em zircão obtidas por Iglesias (2018) em zircões da SIPM.....8

Tabela 5- Idades de unidades paleoproterozóicas do Escudo Uruguaio.9

Tabela 6-Idades de unidades paleoproterozóicas do Escudo Sul Rio-Grandense.... 10

Tabela 7-Composição média da Formação Jaguarão, e dos xenólitos (extraído de Comin-Chiaramonti et al., 2009).....29

SUMÁRIO

I) TEXTO INTEGRADOR	1
1) Introdução com a formulação do problema de investigação e a hipótese	2
2) Objetivos da pesquisa	4
3) Estado da arte do tema da pesquisa	5
3.1) Geocronologia via LA-MC-ICP-MS	5
3.2) Geocronologia nas rochas vulcânicas da Formação Jaguarão e encaixantes	6
4) Materiais e métodos utilizados	11
4.1) Análise bibliográfica	11
4.2) Construção de um SIG	11
4.3) Trabalho de campo e amostragem	12
4.4) Petrografia	13
4.5) Separação mineral, concentração de zircões e preparação das amostras	14
4.6) Imageamento e análises em MEV	15
4.7) Geocronologia U-Pb em zircão por LA-MC-ICP-MS	20
5) Geologia	23
6) Principais resultados	32
REFERÊNCIAS	33
II) ARTIGO	42

I) TEXTO INTEGRADOR

Sobre a estrutura da dissertação:

A presente dissertação de mestrado está estruturada em torno de um artigo submetido ao periódico *Brazilian Journal of Geology*. A sua organização compreende os seguintes capítulos:

Capítulo I: Texto integrador: Introdução sobre o tema, formulação do problema e descrição do objetivo da pesquisa. É feita uma revisão do estado da arte. Os materiais e métodos utilizados são descritos seguido de informações sobre o contexto geológico. Por fim, todas as referências utilizadas para a formulação do texto integrador são listadas.

Capítulo II: Artigo: Apresentado em forma de texto, como corpo principal da dissertação, o artigo que foi submetido ao periódico *Brazilian Journal of Geology* que dispõe de editores permanentes e revisores independentes, escrito pelo autor durante a elaboração de seu mestrado. Intitulado: "U-PB ZIRCON XENOCRYSTS DATING AS A PROXY TO ASSESS VOLCANIC ASSIMILATION AND THE UNDERLYING CRUST, CRETACEOUS JAGUARÃO FORMATION, RS-BRAZIL."

1) Introdução com a formulação do problema de investigação e a hipótese

A Formação Jaguarão apresenta dados geocronológicos disponíveis na bibliografia que foram fundamentais para o conhecimento e interpretação sobre a gênese destas rochas, porém estes dados compreendem um intervalo de tempo muito amplo, de 31 Ma (Tabela 1), quando comparados com as possíveis idades médias obtidas para as rochas desta formação e as técnicas analíticas geocronológicas disponíveis atualmente. Além disto, estas rochas contêm xenólitos e xenocristais que nunca foram caracterizados sobre o ponto de vista geocronológico. Estes xenólitos e xenocristais podem ter sido amostrados pelas lavas da Formação Jaguarão próximo a fonte deste evento magmático, ou de outras unidades durante sua ascensão na litosfera até a extrusão desse magma, descrever e datar estes xenocristais poderá contribuir para o entendimento da formação destas lavas e para evolução crustal regional.

Tabela 1- Dados geocronológicos disponíveis para as rochas vulcânicas da Formação Jaguarão.

Idade	Método	Unidade	Autor (es)
144 ± 10 M.a.	K-Ar (rocha total)	Fm. Jaguarão	Bossi& Urquhart (1975)
143 ± 10 M.a.	K-Ar (rocha total)	Fm. Jaguarão	Bossi& Urquhart (1975)
157 ± 4 M.a.	K-Ar (rocha total)	Fm. Jaguarão	Teixeira, W. (1982)
139.6 ± 7	Rb-Sr	Fm. Jaguarão	Comin-Chiaramonti (2000)

O presente trabalho testará duas hipóteses. A primeira é que as rochas correspondentes à Formação Jaguarão contenham zircões gerados durante a cristalização das lavas e que os mesmos sejam datáveis via “LA-MC-ICP-MS” e devam possuir idades entre 161 Ma. à 132 Ma.

A segunda hipótese é que existam xenocristais de zircão hospedados nas lavas desta formação e que os mesmos também sejam datáveis pelo método de “LA-MC-

ICP-MS” e apresentem idades Neoproterozóicas ou mais antigas. Ou seja, são previstas mais de uma população de zircões não cogenéticos.

2) Objetivos da pesquisa

Esta pesquisa tem como objetivo central a aquisição de dados de campo, petrográficos e geocronológicos de zircões formados e contidos na Formação Jaguarão com aplicação do método de U/Pb através de LA-MC-ICP-MS.

São objetivos específicos deste trabalho o reconhecimento de associações de *facies* vulcânicas e descrição petrográfica de rochas da Formação Jaguarão, com vistas à seleção de amostras apropriadas para estudos geocronológicos; e posterior separação e descrição dos grãos de zircão quanto a sua morfologia e estruturas internas através da petrografia com apoio de imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), bem como datação U-Pb por ICP-MS com integração de resultados. A datação LA-MC-ICP-MS U/Pb de xenocristais de zircão nas lavas da Formação Jaguarão podem prover informações significativas quanto a tipologia e idade da crosta subjacente ao vulcanismo ou indicar derivação de cristais de rochas do embasamento mais superficiais.

3) Estado da arte do tema da pesquisa

3.1) Geocronologia via LA-MC-ICP-MS

A datação de eventos geológicos baseada em isótopos radioativos teve início com Nier (1939 e 1948) (apud Sato, K.; Kawashita, K. 2002) com base nos estudos dos isótopos de U, Th e Pb. Nier observou que dependendo da composição química e da idade das rochas as composições isotópicas de Pb variavam. Aldrich e Nier (1948) também observaram que as razões isotópicas de Ar e Ca alteravam, devido ao decaimento radioativo de K. Desta forma, nascia a Geocronologia com base nestes dois métodos no início dos anos 1950.

Nier modificou o espectrômetro de massa de setor magnético de 1800 para 600. Esta mudança não só reduziu o peso e o consumo de energia do eletroímã, mas também melhorou a forma de feixe de íons junto ao coletor, bem como na redução do preço do equipamento tornando-o assim acessível para um grande grupo de cientistas, o que antes era privilégio de um seleto número de pesquisadores da física (apud Sato, K.; Kawashita, K. 2002).

O ICP-MS começou a ser difundido comercialmente a partir do início da década de 80 e suas aplicações na geocronologia vem sendo aprimoradas mais rapidamente desde então. É uma técnica utilizada em diversas áreas de conhecimento frente à sua grande versatilidade, devido à sua grande capacidade analítica.

O "*Laser Ablation (LA)*" acoplado ao "*Inductively Coupled Plasma*" - *Mass Spectrometer*" (LA-ICP-MS) é conhecido há muito tempo e são inúmeros os trabalhos publicados envolvendo a datação de zircão pelo método Pb-Pb, desde o início da década de 50. Os primeiros trabalhos empregando LA-ICP-MS para as medidas de razões $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ foram efetuadas pela equipe de Hirata & Nesbit (1995), no "*Tokyo Institute of Technology*" - Tóquio - Japão e, posteriormente, outros trabalhos, tais como, Nesbit et al. (1997), Hirata et al. (1998), Li et al. (2001), foram elaborados (apud Sato, K.; Kawashita, K. 2002). O Multi Coletor começou a ser utilizado junto ao sistema a partir de meados dos anos 2000 e reduziu o custo e tempo das análises, obtendo idades com baixo desvio padrão (Bühn et al. 2009).

3.2) Geocronologia nas rochas vulcânicas da Formação Jaguarão e encaixantes

As rochas vulcânicas da formação Jaguarão tiveram suas primeiras idades em rocha total com K/Ar em 1973 por Bossi & Urquhart (1975) e foram de 144 ± 10 Ma. no Morro da Pólvora e 143 ± 10 Ma. no Morro do Matadouro.

Teixeira (1982) executou datação nas rochas da Fm. Jaguarão por datação em rocha total K-Ar e encontrou idade de 157 ± 4 Ma. Por menor erro analítico Vieira Jr., acreditou ser de 157 ± 4 Ma. a idade do evento vulcânico na região.

Comin-Chiaramonti (2010) realizou datações nesta unidade e encontrou idades de 139.6 ± 7 Ma. com o método de Rb-Sr. Com isso ele sugeriu que os eventos vulcânicos são contemporâneos a província Paraná-Etendeka de idade entendida como 138-128 Ma. (Renne *et al.*, 1992; Turner *et al.*, 1994), apesar de concordar com a separação da Formação Jaguarão da Formação Serra Geral. Também apresentou dados de idades modelo entre 2015 Ma e 2222 Ma. A Tabela 2 apresenta as idades, os métodos e os autores de dados geocronológicos disponíveis para a Formação Jaguarão.

Tabela 2- Dados Geocronológicos para as lavas de Jaguarão.

Idade	Método	Unidade	Autor (es)
144 ± 10 Ma.	K-Ar (rocha total)	Fm. Jaguarão	Bossi & Urquhart (1975)
143 ± 10 Ma.	K-Ar (rocha total)	Fm. Jaguarão	Bossi & Urquhart (1975)
157 ± 4 Ma.	K-Ar (rocha total)	Fm. Jaguarão	Teixeira, W. (1982)
139.6 ± 7 Ma.	Rb-Sr	Fm. Jaguarão	Comin-Chiaramonti (2010)

As rochas encaixantes (embasamento) imediatas da Formação Jaguarão são unidades do Escudo-Sul-Riograndense-Uruguai pertencentes ao Cinturão Dom

Feliciano (FRAGOSO-CÉSAR *et al.*, 1986), representadas pela Suíte Intrusiva Pinheiro Machado (PHILIPP, 1998e PHILLIP *et al.*,2002). A Tabela 3 apresenta dados geocronológicos unidades da Suíte Intrusiva Pinheiro Machado.

Tabela 3- Dados Geocronológicos para Suíte Intrusiva Pinheiro Machado (SIPM), embasamento da Formação Jaguarão.

Idade	Método	Unidade	Autor (es)
750 Ma.	Rb-Sr	SIPM	Teixeira, 1982
775 ± 36 Ma	Rb-Sr	SIPM	Soliani Jr., 1986
572 ± 54 Ma	Rb-Sr	SIPM	May, 1990
830 a 800 Ma	Rb-Sr	SIPM (xenólitos)	Soliani Jr., 1986
610±5 Ma	U-Pb	SIPM	Babinski <i>et al.</i> ,1997
612± 2 Ma.	U-Pb	SIPM	Babinski <i>et al.</i> , 1997

Tribolli & Koester (2016) realizou análises U/Pb em zircões do Granito Chasqueiro (SIPM) e obteve idade de cristalização de 574±3 Ma. Também reportou zircões herdados com idade de 1526 ± 140 Ma.

Tambara& Koester (2019) em datações executadas obteve idade de 2127± 19 Ma associadas a xenocristais presentes em septos do embasamento contidos em rochas dos gnaisses Pirtatini (SIPM).

Mais recentemente Iglesias (2018) realizou datações em unidades da SIPM compostas de ortognaisses com septos de para e ortognaisses, a qual renomeou de Complexo Arroio Telho, as amostras foram coletadas na parte sul da folha Curral das Pedras. A Tabela 4 apresenta as idades obtidas.

Tabela 4- Idades U/Pb (SHRIMP) em zircão obtidas por Iglesias (2018) em zircões da SIPM.

Idade (Ma)U/Pb (SHRIMP)
636±18,7
655,7±19,3
730,6±21,3
736,4±21,4
926,7±27,2
944,8±27,7
1035,4±30,6
1094,3±35,6
1162,2±37
1186,9±36,9
1307,8±39,2
1564,3±45,3
1629,3±47,7
1669,4± 48,4
1686,8±52,8
1804,2±53,1

Estudos isotópicos de Sm-Nd, desenvolvidos por May (1990) e Babinski *et al.* (1997), indicaram para Suíte Intrusiva Pinheiro Machado idades modelo TDM entre 1636 e 2010 Ma (não sendo encontradas idades Arqueas), com valores de ϵ_{Nd} entre 5,6 e -10.

As idades modelo da Formação Jaguarão possuem um intervalo de tempo correspondente ao paleoproterozóico. Portanto também foram reunidos dados geocronológicos regionais de unidades com idades similares as idades modelos da Formação Jaguarão.

No Rio Grande do Sul as principais expressões paleoproterozoicas são Complexo Santa Maria- Chico (NARDI & HARTMANN, 1979), o Complexo Encantadas (HARTMANN *et al.*, 2003b) e o Complexo Arroio dos Ratos (UFRGS,2007).

No Uruguai as principais expressões do paleoproterozóico são o Terreno Piedras Altas e o Terreno Nico Pérez e a isla de Rivera.

A Tabela 5 apresenta a compilação de dados geocronológicos disponíveis para unidades paloproterozóicas da região presentes no escudo uruguaio e a Tabela 6 apresenta dados geocronológico para unidades paleoproterozóicas no Escudo Sul-Riograndense.

Tabela 5- Idades de unidades paleoproterozóicas do Escudo Uruguaio.

Escudo Uruguaio			
Litologia/Unidade	Método	Idade Ma	Interpretação
Gnaiss anfíbolítico (Cinturão San José)	LA-MC-ICP-MS	2202±8 ¹	Cristalização
Gnaiss – Formação Montevideo (Cinturão San José)	SHRIMP	2165±38 ²	Cristalização
Granito porfírico – Formação Montevideo (Cinturão San José)	LA-MC-ICP-MS	2158±24 ¹	Cristalização
Metadacito – Formação Paso Severino (Cinturão San José)	SHRIMP	2146±7 ²	Cristalização
Gabro Rospide (Cinturão San José)	SHRIMP	2086 ± 75 ³ 2076 ± 65 ³	Cristalização
Biotita granodiorito - Suite Isla Mala (Cinturão Florida)	SHRIMP	2074±6 ⁴	Cristalização
Biotita monzogranito - Suite Isla Mala (Cinturão Florida)	SHRIMP	2065±9 ⁴	Cristalização
Granito Soca (Cinturão Florida)	SHRIMP	2056±6 ²	Cristalização
Granito Cufre (Cinturão Florida)	LA-MC-ICP-MS	2053±4 ¹	Cristalização
Granulito (Cinturão Valentines)	SHRIMP	2163 ± 8 ² 2058 ± 3 ²	Cristalização Metamorfismo
Metatrondjhemito (Cinturão Rivera)	SHRIMP	2140 ± 6 ² 2077 ± 6 ²	Cristalização Metamorfismo

Autores: 1 - Peel and Preciozzi (2006); 2 - Santos *et al.* (2003); 3 - Hartmann *et al.* (2008); 4 - Hartmann *et al.* (2000)

Tabela 6-Idades de unidades paleoproterozóicas do Escudo Sul Rio-Grandense.

Escudo Sul-Rio-Grandense			
Litologia/Unidade	Método	Idade Ma	Interpretação
Trondjhemito - Complexo Santa Maria Chico	SHRIMP	2553 ± 9 ¹ 2031 ± 40 ¹	Cristalização Metamorfismo
Gnaiss granulítico - Complexo Santa Maria Chico	SHRIMP	2509 ± 13 ¹ 2022 ± 18 ¹	Cristalização Metamorfismo
Almandina-albita granulito - Complexo Santa Maria Chico	SHRIMP	2489 ± 6 ² 2006 ± 3 ²	Cristalização Metamorfismo
Gnaiss granodiorítico - Complexo Santa Maria Chico	SHRIMP	2366 ± 8 ² 2035 ± 9 ²	Cristalização Metamorfismo
Gnaiss granodiorítico - Complexo Santa Maria Chico	LA-MC-ICP-MS	2242 ± 11 ³ 2178 ± 6 ³	Cristalização Cristalização ?
Gnaiss granodiorítico - Complexo Santa Maria Chico	LA-MC-ICP-MS	2163 ± 9 ³	Cristalização
Gnaiss tonalítico - Complexo Santa Maria Chico	LA-MC-ICP-MS	1766 ± 14 ³	Intrusões / retrabalhamento
Gnaiss tonalítico - Complexo Santa Maria Chico	LA-MC-ICP-MS	2124 ± 9 ³ 2078 ± 6 ³	Cristalização
Anfibolito ultramáfico Belizário - Complexo Encantadas	SHRIMP	2257±12 ⁴ 1989±21 ⁴ 702 ± 21 ⁴	Cristalização Metamorfismo Metamorfismo
Ortognaisse - Complexo Encantadas	LA-MC-ICP-MS	2153 ± 20 ⁵ 2112 ± 22 ⁵ 643 ± 3,2 ⁵	Cristalização Metamorfismo
Metatonalito - Complexo Arroio dos Ratos	LA-MC-ICP-MS	2148 ± 33 ⁶	Cristalização
Tonalito - Complexo Arroio dos Ratos	LA-MC-ICP-MS	2150 ± 28 ⁶ 2136 ± 27 ⁶	Cristalização
Gnaiss Tonalítico - Complexo Arroio dos Ratos	LA-MC-ICP-MS	2099 ± 10 ⁶ 2081 ± 7 ⁶ 2077 ± 13 ⁶	Cristalização
Gnaiss granodiorítico - Complexo Arroio dos Ratos	SHRIMP	2078 ± 13 ⁷	Cristalização

Autores: 1 - Hartmann *et al.* (1999); 2 - Hartmann *et al.* (2008b); 3 - Quintela (2016); 4 - Hartmann *et al.* (2003b); 5 - Camozzato *et al.* (2013); 6 - Gregory *et al.* (2015); 7 - Leite *et al.* (2000).

4) Materiais e métodos utilizados

Nesta seção é apresentada a metodologia utilizada para teste das hipóteses. As diversas etapas da metodologia foram divididas em sub-itens que correspondem aos procedimentos realizados em cada etapa do trabalho.

4.1) Análise bibliográfica

A análise bibliográfica é o alicerce deste trabalho. Desde as etapas iniciais na fase de elaboração do projeto até as fases de discussões sempre foram sendo encontradas novas referências em temas ligados a geologia regional, geologia local, aspectos geotécnicos e metodologia.

Ao longo da elaboração desta tese se buscou a integração de dados e compreensão das litologias e das metodologias desenvolvidas através de referências bibliográficas prévias. Foram utilizados artigos científicos, capítulos de livros e teses de dissertação e mapas geológicos.

4.2) Construção de um SIG

O Geoprocessamento foi realizado no programa ArcMap 10, utilizado para geração de um banco de dados SIG (sistema de informações geográficas). O objetivo da construção de um SIG foi a geração de um banco de dados para auxiliar no desenvolvimento do entendimento da área de estudos e posteriormente localizar de forma adequada os pontos descritos em campo. Todos os dados inseridos no SIG foram georreferenciados utilizando-se o datum SIRGAS 2000.

O SIG é de grande relevância para o Projeto, pois através dele foi possível compilar uma série de informações geológicas importantes referentes à área de estudos. Além disso, esta técnica nos permite inserir de forma precisa e confiável os pontos descritos em campo.

Primeiramente foi obtido um banco de dados do Geobank da CPRM com "shapefiles" e "layers" com informações importantes para o Projeto como Geologia, hidrografia, lineamentos e falhas, estradas locais e curvas de nível.

Foram desenvolvidos 3 mapas para auxiliar no desenvolvimento do projeto. Um mapa com a localização dos pontos sobre imagem de satélite; um mapa com modelo topográfico do terreno, delimitação da formação Jaguarão e as principais estruturas presentes na área de estudos e um mapa geológico com informações geológicas compiladas de trabalhos anteriores e modificadas com dados obtidos neste estudo.

4.3) Trabalho de campo e amostragem

O planejamento de campo foi realizado durante os meses de Abril e Maio. Nesta fase buscou-se conhecer mais da área de estudo para identificar possíveis alvos no trabalho de campo. O trabalho de campo em si foi executado entre 21 e 24 de Maio de 2014.

A fase de trabalho de campo e amostragem foi muito importante frente à necessidade de amostras devidamente coletadas e catalogadas. A partir daí foi realizada a confecção de lâminas delgadas e feita separação dos zircões, que foi fundamental para teste das hipóteses.

Durante o trabalho de campo foram descritos 21 pontos ao longo de dois dias. O GPS utilizado para a coleta das coordenadas foi o GARMIN etrex 30, o tipo de projeção escolhida foi o de UTM e o datum SIRGAS 2000. As estruturas foram medidas utilizando-se uma bússola Modelo Brunton Geo Pocket Transit 5010.

O trabalho de campo tinha como objetivo principal o reconhecimento das unidades geológicas e amostragem de material para coleta de zircão. As amostras foram coletadas com marreta de 3kg e talhadeira. Por se tratar de um trabalho de geocronologia se deu preferência por amostras *in situ*. Após a coleta das amostras as mesmas eram marcadas, embaladas em dois sacos para amostragem que eram

devidamente fechados com fita crepe e marcados novamente. Ao longo do trabalho foram coletados aproximadamente 100 Kg de amostras.

Como pontos críticos do trabalho de campo são citados êxito na amostragem e coleta de outros dados de campo frente ao reduzido número de dias de campo. Os principais cuidados adotados foram em relação à amostragem para que não houvesse mistura ou má catalogação de amostras.

4.4) Petrografia

A petrografia foi fundamental no que diz respeito à seleção de amostras para separação de zircões. Além da descrição das rochas de acordo com IUGS e descrição detalhada das texturas presentes nestas rochas também se buscou classificar as rochas da Formação Jaguarão em relação à qualificação do seu conteúdo de xenólitos preferencialmente para tentar de forma indireta extrair informações sobre as rochas posicionadas em níveis crustais inferiores aos expostos em superfície e também de encaixantes (embasamento da Formação Jaguarão).

Foram selecionadas amostras de quatro pontos para a laminação, dois com a forte presença de xenólitos, um onde não foi constatado a presença de xenólitos e o último onde foram encontrados xenólitos muito grandes na Formação Jaguarão. Destas amostras, três foram escolhidas para preparação para estudos geocronológicos.

As fotografias das lâminas delgadas foram obtidas em um microscópio binocular Leica modelo DC300F. A descrição das lâminas foi realizada em microscópio binocular OLYMPUS BH.

As seções delgadas também foram analisadas em Microcópico Eletrônico de Varredura e geradas imagens de elétrons retroespalhados. Como suporte as descrições petrográficas foram executadas análises EDS para auxiliar na identificação e descrição da composição química de minerais.

4.5) Separação mineral, concentração de zircões e preparação das amostras

A preparação das três amostras teve como base a separação mineral, onde concentrados de zircões foram extraídos de amostras de rocha. A amostra foi reduzida a uma fração menor que 500 μm para concentração de minerais pesados. Inicialmente as amostras foram fragmentadas manualmente com auxílio de marreta em pedaços menores que 6 cm. Após as amostras foram britadas duas vezes em um britador de mandíbulas já sendo separado material menor que 500 μm . Os fragmentos com tamanho inferior a 6 mm foram encaminhados para o moinho de disco onde a maior parte da amostra foi pulverizada até a granulometria desejada. Concomitante ao processo de pulverização, as amostras foram peneiradas.

A etapa seguinte foi a concentração de minerais pesados em bateia. Inicialmente a fração menor que 500 μm foi lavada em baldes pelo processo de decantação. Foram utilizadas duas bateias de tamanhos aproximados em 60 cm e 30 cm. Primeiro foi utilizada a bateia de maior tamanho. Posteriormente, o material foi novamente bateado na bateia de menor tamanho. Assim se obteve um concentrado de minerais pesados da Formação Jaguarão que foi seco em estufa a 50° C.

O próximo passo foi a separação magnética. Um separador magnético *Frantz* com inclinação longitudinal e lateral igual a 25° e 15° respectivamente foi utilizado para simplificar o tabelamento de propriedades dos minerais. De acordo com Parfenoff *et al.*(1970) os principais fatores que influenciam na separação magnética ao Frantz são à intensidade da corrente e a inclinação lateral. Para se obter um concentrado com o maior número de zircões a amostra foi processada 4 vezes sob correntes de 0.4A, 0.8A, 1,2A e 1,8A da primeira para última separação respectivamente. Ao final desta etapa se obteve um concentrado de minerais pesados não magnéticos.

A última etapa da separação mineral consistiu da separação de zircões a partir do concentrado de minerais pesados não magnéticos. Para realização desta tarefa foi utilizado um placa petri com álcool no qual os grãos iam sendo separados por densidade através da movimentação circular da placa, assim então os zircões iam sendo segregados dos outros sugados e depositados com auxílio de uma pipeta de plástico em outro petri onde havia exclusivamente cristais de zircão.

Após a coleta dos zircões os mesmos foram dispostos em cima de uma fita dupla face afixada sobre uma lâmina de vidro. Em seguida, uma anilha de plástico de 1 cm foi afixada sobre a fita ao redor dos grãos de zircão. Na próxima fase de preparação dos grãos a anilha de plástico foi preenchida com resina fixadora Epoxi da marca Struers previamente preparada na proporção de quinze gotas de resina para uma de endurecedor. Após o endurecimento e secagem da resina fixadora as amostras foram encaminhadas para o desbaste e polimento dos grãos.

A parte de desbaste dos grãos até porções mais centrais foi feita com lixa d'água 4000 de silício e carbono, em seguida foram levadas para purificação no ultra-som. O polimento dos grãos foi feito utilizando-se pasta diamantada 1/4 μm , líquido lubrificante para polimento e feltro. Terminada esta etapa os grãos foram descritos em lupa e microscópio com luz transmitida e luz refletida.

4.6) Imageamento e análises em MEV

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é um instrumento muito versátil e usado rotineiramente para a análise microestrutural de materiais sólidos. Apesar da complexidade dos mecanismos para a obtenção da imagem, o resultado é uma imagem de muito fácil interpretação. Neste trabalho foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura (Jeol 6610-LV) do Laboratório de Geologia Isotópica - CPGq/UFRGS (Figura 1).



Figura 1-Fotografia do MEV com o tubo de elétrons, a câmara de amostras, o equipamento de catadoluminescência a esquerda com selo azul, e o display de navegação e analítico.

O aumento máximo de magnificação que se consegue com MEV fica entre o microscópio ótico e o Microscópio Eletrônico de Transmissão. A grande vantagem do MEV em relação ao microscópio ótico é sua alta resolução, na ordem de 2 a 5 nm ($20 - 50 \text{ \AA}^\circ$) - atualmente existem instrumentos com até 1 nm (10 \AA°) - enquanto que no ótico é de 0,5 μm . Comparado com o MET a grande vantagem do MEV está na facilidade de preparação das amostras. O MEV utilizado permite magnificação de 5x a 300000x.

O MEV (Figura 2) é composto basicamente pela coluna ótico eletrônica (canhão de elétrons e sistema de magnificação), unidade de varredura, câmara de amostra, sistema de detectores e sistema de visualização da imagem.

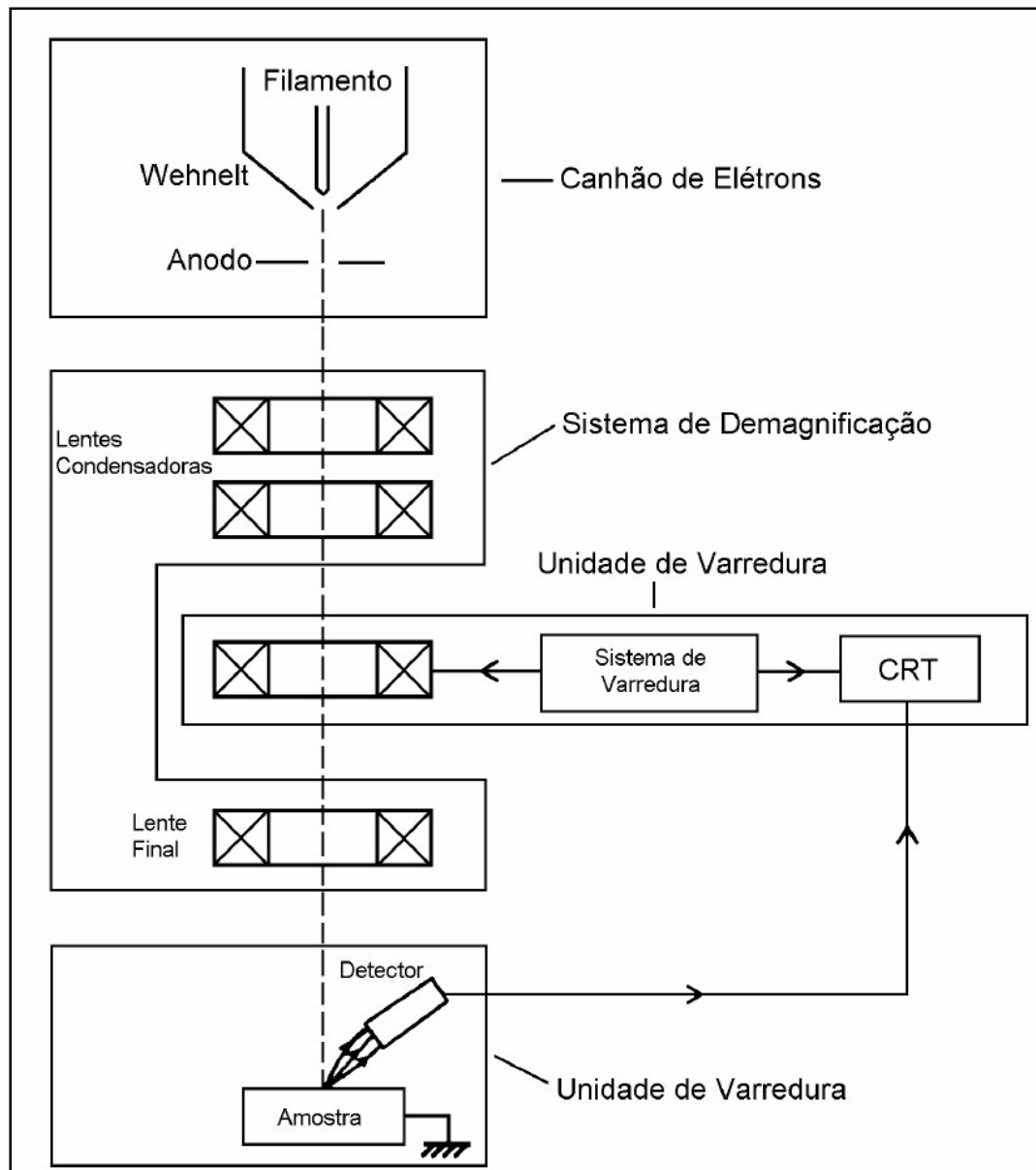


Figura 2-Microscópio Eletrônico de varredura e seus componentes. Maliska, 2004.

O canhão de elétrons é o conjunto de componentes cuja a finalidade é a produção dos elétrons e a sua aceleração para o interior da coluna é composto por um filamento de tungstênio que serve como cátodo e tem seu funcionamento baseado na emissão termoiônica, o cilindro de Wehnelt e o ânodo, que funcionam juntos como um sistema de lentes eletrostáticas, que produzem um feixe de elétrons com pequeno diâmetro focalizado em um ponto chamado de entrecruzamento. Este feixe de elétrons deve ser estável e com intensidade suficiente para que ao atingindo a amostra possa produzir um bom sinal. O diâmetro grande do feixe de elétrons

produzidos pelo canhão de elétrons é incapaz de produzir uma boa imagem por isso ele é reduzido pelas condensadoras (lente eletromagnéticas)(MALISKA, 2004).

As lentes condensadoras possuem a função de demagnificação do feixe eletrônico. A lente objetiva é a última da coluna e possui a finalidade de focar a imagem variando a distância focal do feixe eletrônico ao longo do perfil do eixo ótico da coluna.

Até agora foi visto qual a origem e como é focalizado o feixe de elétrons que incide nas amostras. A próxima etapa a ser descrita é a formação das imagens que é resultado da interação dos elétrons com as amostras.

Ao atingir a superfície das amostras os elétrons do feixe eletrônico irão interagir com os átomos da amostra e estes elétrons primários irão sofrer modificação na sua velocidade inicial e/ou removerem elétrons da eletrofera do átomo da amostra. Estas interações podem ser inelásticas ou elásticas, as interações elásticas basicamente são resultado de interação entre o feixe de elétrons e o núcleo do átomo atingido e as interações inelásticas resultado da interação do feixe eletrônico com a própria eletrofera dos átomos da amostra, ou seja, a interação do feixe de elétrons com a amostra gera sinais que variam de acordo com as suas características de interações, estes elétrons podem ser classificados de acordo com estas relações como elétrons retroespalhados (ERE) que são aqueles com energia máxima igual a energia do elétron primário incidente (15-20 keV). Os elétrons produzidos que deixam o material com uma energia média de 2eV a 5 eV chegando no máximo a 50 eV são chamados de elétrons secundários (ES) e são provenientes de uma região de muito pouca profundidade, cerca de 1 nm para os metais e 10 nm para o carbono ao contrário dos ERE que são originados em regiões mais profundas das amostrase também tem energia suficiente para originar elétrons secundários quando atingirem a parede da câmara ou a parte inferior da coluna. Em geral os ES possuem energia menor que 5 eV e os ERE energia maior que este valor, a Figura 3 mostra como e onde são gerados os ERE e os ES.

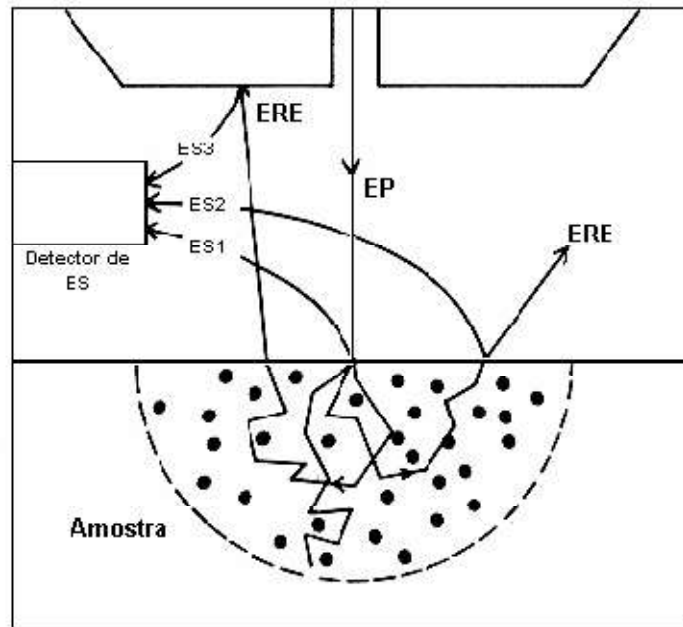


Figura 3- Ilustração esquemática de interações dos elétrons primários com a superfície da amostra e o que acontece com a trajetória destes elétrons incidentes após atingirem os prótons e a eletrosfera dos átomos da amostra. Extraído de Maliska (2004).

Para o desenvolvimento adequado desta pesquisa foram escolhidas três técnicas de MEV: O imageamento por elétrons retroespalhados, o imageamento por catodoluminescência e análises EDS (dispersão de elétrons secundários). A seguir cada uma delas é brevemente explicada. As seções delgadas foram descritos em ERE. Os cristais de zircão foram descritos pelas três técnicas acima descritas.

Os elétrons retroespalhados (ERE) com energia próxima a dos elétrons primários são aqueles que sofreram espalhamento elástico e são estes que formam a maior parte do sinal de ERE. O sinal de ERE resultante das interações que ocorreram mais para o interior da amostra, ERE com baixa energia, é proveniente da região do volume de interação com maior diâmetro do que o diâmetro do feixe primário. Portanto a resolução da imagem gerada por esses elétrons é pior do que a resolução da imagem correspondente dos ES. A resolução também irá depender do material da amostra. Quanto maior o Z do material, menor o volume de interação, e conseqüentemente maior a resolução. O sinal de ERE também contem informações sobre a topografia da amostra, pois o coeficiente de emissão dos elétrons retroespalhados depende do ângulo de incidência do feixe de elétrons primários com a superfície da amostra. Em alguns casos a imagem de ERE consiste de contraste

de composição e contraste topográfico. Já o contraste cristalográfico tem pouca influencia na imagem de ERE.

A energia entregue à amostra pelo feixe de elétrons também pode ser liberada da amostra na forma de luz (fótons). O fóton de luz é originado em transições eletrônicas de baixa energia, isto é, transições da banda de condução para a banda de valência ou pela desexcitação de átomos ou moléculas. Neste processo de emissão de luz, que é chamado de catodoluminescência, os elétrons da camada externa são envolvidos. A capacidade de um material emitir ou não luz como resultado de um bombardeamento eletrônico irá depender da sua estrutura e da sua transparência em relação ao comprimento de onda envolvido.

A detecção de raios-X emitidos pela amostra, provocados pela interação com o feixe eletrônico, é usada como espectroscopia por energia dispersiva (EDS) na identificação e quantificação de elementos na amostra, pode ser realizada pela medida de sua energia. Os detectores baseados na medida de energia são os mais usados, cuja grande vantagem é a rapidez na avaliação dos elementos. Uma amostra contendo elementos na ordem de 10% ou mais pode ser identificado em apenas 10 s e cerca de 100 s para avaliar um elemento na ordem de 1%. Apesar da menor resolução da espectroscopia por energia dispersiva, 140 eV para a raia $K\alpha$ do Mn, quando comparada com os espectrometros por comprimento de onda, 5-10 eV, esta técnica permite obter resultados quantitativos bastante precisos (MALISKA, 2004).

4.7) Geocrologia U-Pb em zircão por LA-MC-ICP-MS

Os dados de isótopos de Urânio e Chumbo para a obtenção de dados geocronológicos foram adquiridos por LA-MC-ICP-MS. Esta técnica se baseia no decaimento radioativo de isótopos Urânio e Tório para isótopos de Pb. Neste estudo foram utilizados cristais de zircão.

As análises isotópicas ocorrem em diferentes etapas: excitação da amostra, aceleração e focalização do feixe de átomos, separação dos íons por campo magnético e por último a contagem de cada íon por um detector (coletor).

Para realização das datações U-Pb, foi utilizado o espectrômetro de massa por plasma indutivamente acoplado multicoletor Neptune com femtolaser excimer 193nm acoplado, do Laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS (LGI). A Figura 4 apresenta o sistema descrito no laboratório.



Figura 4- LA-MC-ICP-MS do laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS.

Num LA-ICP-MS, a amostra é analisada diretamente por ablação a laser, onde um feixe de laser é emitido na superfície da amostra para ageração de partículas finas (aerossóis). Os aerossóis criados são então transportados para dentro do núcleo do ICP, onde o plasma é usado para dissolver e ionizar as partículas finas para então serem analisados por espectrometria de massa para análise elementar e isotópica. Estes íons são então separados e recolhidos de acordo com a sua massa. Os constituintes de uma amostra desconhecida podem ser identificados e medidos. ICP-MS oferece uma sensibilidade extremamente alta para uma vasta gama de elementos (SKOOG, 2006).

Para ablação por laser, de qualquer tipo, não há requisito de tamanho de amostra e dos procedimentos de preparação de amostra. A análise química utilizando a ablação a laser requer uma menor quantidade de amostra. Dependendo do sistema de medição analítica, uma quantidade muito pequena de amostra pode ser suficiente para esta técnica (SKOOG,2006).

O espectrômetro de massa pode ter diversos tipos de analisadores: *Single Selector Sector*, *Multi Collector*, *Quadrupole (quad) MS* e *Time of Flight (TOF) analyzers*. O analisador ou coletor que será utilizado é um Multicoletor equipado com 9 detectores Faraday, multiplicadora de elétrons axial (SEM) e 6 MIC's (*multi-ion channeltron*). Os íons são separados espacialmente, o que requer que esses íons passem através de um filtro antes de serem separados espacialmente pelas suas massas no setor magnético e são analisados em diversos coletores dedicados um para cada massa (SKOOG, 2006).

O laser incide nos grãos de zircão, aplicando a cada um deles um spot com geralmente 30 μm de diâmetro. Sua função é ablacionar e colocar o material em suspensão como partículas e gases. Estes por sua vez são carregados por He e Ar até a tocha de plasma ($\sim 5000^\circ\text{C}$) que produz os íons que são detectados no multicoletor. Como cuidados nesta etapa, podemos citar a execução de análises de padrão para a verificação da acurácia.

Mesmo após as imagens em MEV, nunca se está livre de se executar um spot de laser em uma fratura ou em um grão corroído, por exemplo, o que pode vir a gerar dados de qualidade inferior. Caso isto ocorra, estas análises devem ser descartadas.

A precisão e a acurácia das idades obtidas pelas análises deste método é função da estabilidade do sinal analítico, número de íons detectados e incertezas nas correções aplicadas (GUNTER & MENSING, 2005). Tendo em vista a qualidade do equipamento disponível para as análises são esperados resultados de alta precisão e qualidade.

5) Geologia

A área de estudo está inserida na porção sudeste da Plataforma Sul-Americana (ALMEIDA, 1967). Neste contexto a área de estudo está localizada próxima ao Município de Jaguarão, próxima a fronteira entre o Brasil e o Uruguai.

Nesta região da Plataforma ocorrem terrenos do Cráton Rio de La Plata e da Porção Meridional da Província da Mantiqueira que compõem os Escudos Sul Rio-Grandense e o Escudo Uruguaio. Estes terrenos e unidades são registros de diversos ciclos geológicos que ocorreram nesta região entre os períodos Arqueano a Neoproterozóico.

As unidades com evolução entre o arqueano e o paleoproterozoico são caracterizadas por terrenos compostos por Complexos Igneos-Metamórficos de vasta gama composicional e genética, possuem idades majoritariamente paleoproterozóicas com terrenos arqueanos subordinados (NARDI & HARTMANN, 1979; CAMOZZATTO *et al.* 2013, OYANTÇABAL *et al.*, 2011; PEEL & PRECIOZZI, 2006).

Nesta região as unidades com evolução arqueana-paleoproterozóica são: Cinturão Tandilia na porção sudeste da Argentina; os terrenos Piedras Altas e Nico Pérez em uma área que corresponde a uma faixa central do Uruguai, os complexos Santa Maria Chico, Complexo Encantadas e Complexo Arroio dos Ratos que afloram, intercaladamente, segundo um *trend* N^o45E desde Bagé até a região de Cachoeira do Sul, na porção central do Rio Grande do Sul, Brasil.

O Cinturão Tandilia é dividido em duas unidades, o embasamento, caracterizado pelo Complexo Buenos Aires e uma sequência sedimentar (MARCHESI & DI PAOLA, 1975). O Complexo Buenos Aires é composto por gnaisses, com composições que variam entre granito a tonalito; migmatitos e granitóides; também é destacada a presença de anfíbolitos, margas, xistos e rochas ultramáficas subordinadas (CINGOLANI, 2002).

Este complexo possui evolução datada entre 2200 Ma e 1600 Ma (CINGOLANI *et al.* 2002, IACUMIN *et al.* 2001, TEIXEIRA *et al.* 2002). Sobre este complexo estão

presentes unidades sedimentares de idades neoproterozoicas em discordância do tipo não-conformidade. Estas unidades neoproterozoicas compreendem rochas siliciclásticas e carbonáticas de origem marinhas com menores componentes piroclásticos (DRISTAS & FRISICALE, 1987; POIRÉ & SPALLETTI, 2005 e ZIMMERMANN et al. 2011)

O Terreno Piedras Altas é uma unidade Paleoproterozóica do Craton Rio de La plata, composta pelos Cinturões metamórficos Arroyo-Grande e São José-Montevideo (BOSSI *et al* 93 e BOSSI & FERRANDO, 2001) que são separados pelo Cinturão granito Gnaissico Florida central. Também fazem parte deste cinturão gabros e granitóides tardi a pós orogênicos que intrudem os três cinturões e Sistemas de Diques (Enxame de Diques Florida).

O cinturão São José-Montevideo é composto por para e ortognaisses e sequências vulcano-sedimentares de baixo a médio grau metamórfico (OYHANTÇABAL *et al.* 2007).

O Cinturão Arroio Grande é uma associação de rochas vulcano-sedimentares com metamorfismo de facies xisto verde com muitas intrusões de granitóide tardi a pós-orogênicos (FERRANDO & FERNANDEZ 1971; FERNANDEZ & PRECIOZZI 1974; BOSSI *et al.* 1993; PRECIOZZI 1993).

O Cinturão-Granito-Gnaissico Florida é composto por associações de granitos e gnaisses com xenólitos de escala decimétrica a quilométrica caracterizados por mica-xistos, para-gneisses e anfibolitos (UMPIERRE & HALPERN, 1971).

Os Gabros e granitóides pós tectônicos que intrudem os três cinturões do Terreno Piedras possuem idades entre 2086 Ga e 2056 Ga (HARTMANN *et al.* 2000; SANTOS *et al.*, 2003).

O Enxame de Diques Florida tem fonte mantélica e apresenta idades de $1,790 \pm 5$ U/Pb em badeleíta (HALLS *et al.*, 2001)

O terreno Nico Perez é composto por unidades arqueanas-paleoproterozóicas e unidades neoproterozóicas. As unidades arqueanas-paleoproterozoicas são: o complexo granulítico Valentines–Rivera, o Bloco Pavas (PRECIOZZI *et al.*, 1979) ~ La China Complex (HARTMANN *et al.*, 2001) e granitos paleoproterozóicos.

O complexo valetines-rivera é composto por ortognaisses granulíticos félsicos com ocorrência subordinada de metatonalitos, metatrondjemitos e silimanita gnaisses (MALLMAN *et al.*, 2004; OYHANTÇABAL *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2003), este terreno possui idades de cristalização em média 2150 Ga e metamorfismo em 2065 Ga aproximadamente.

O Bloco Pavas ou Complexo na China é caracterizado pela predominância de rochas máfica-ultramáficas associadas com quartzitos, as idades U/Pb (SHRIMP) para esta unidade são de 3,4 Ga para a cristalização e 3,1 e 2,7 Ga eventos metamórficos (HARTMANN *et al.*, 2001). Os granitos paleoproterozóicos são representados pela Batólito Illescas que é caracterizado como uma granito Rapakivi, e apresenta idade 1784 ± 5 (Pb/Pb).

O Complexo Granulítico Santa Maria Chico (NARDI & HARTMANN, 1979) compõe o Terreno Taquarembó e está localizado ao Sul do Lineamento de Ibaré (direção NW-SE). É constituído predominantemente por granulitos félsicos e máficos, piroxenitos, lente de harzburgito, silimanita gnaisses, mármore e gnaisses cálcio-silicáticos. A datação SHRIMP de zircões apresenta idades magmáticas para este complexo entre 2,5 e 2,1 Ga o evento metamórfico gerador dos granulitos ocorreu por volta de 2,02 Ga (HARTMANN *et al.* 1999).

O Complexo Encantadas é composto por gnaisses com metamorfismo de fácies anfíbolito e ocorre em dois locais principais. No núcleo do Terreno Tijucas onde está localizada a sua seção tipo, ali foi exposto pela ação *nappes* com vergência para NW. O outro local é ao Sul de Lavras do Sul onde afloram os gnaisses Imbicuí (dioríticos e tonalítico/trondjemíticos).

Os complexo Arroio dos Ratos que ocorre no Cinturão Dom Feliciano é caracterizado por um magmatismo de arco continental meso- a tardi Riáciano representado por três associações do tipo Tonalito-Trondjemito-Granodiorito (TTG) (GREGORY *et al.* 2011, 2015). As idades disponíveis para esta unidade são entre 2150 Ma e 2078 Ma e representam idades de cristalização (GREGORY *et al.* 2015; LEITE *et al.* 2000).

No Rio Grande do Sul a porção meridional da Província da Mantiqueira foi dividida em 3 domínios geotectônicos de acordo com descontinuidades geofísicas: O oriental

caracterizado pelo Arco São Gabriel, o Central caracterizado pela Bacia do Camaquã e o Complexo Metamórfico Porongos e o Domínio Oriental caracterizado pelo Cinturão Dom Feliciano (COSTA, 1997). Neste contexto a área de estudo está localizada no Domínio Oriental em unidades pertencentes ao Cinturão Dom Feliciano.

O Cinturão Dom Feliciano (CDF) é o cinturão meridional da Província Mantiqueira (ALMEIDA *et al.*, 1981; HEILBRON *et al.*, 2004), sendo formado por associações petrotectônicas dispostas segundo a direção NE-SW, estendendo-se por mais de 1.200 km desde Punta del Este (Uruguai) até o nordeste do estado de Santa Catarina (Brasil). Sobre este cinturão, em contato do tipo não conformidade, ocorrem as Rochas da Formação Jaguarão.

Philipp (1998) e Phillip *et al.* (2002) reconhecem sete suítes graníticas que compõem CDF, Pinheiro Machado, Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira, Dom Feliciano e Piquiri. Nesta divisão a Formação Jaguarão se insere próxima a Suíte Erval (denominada Complexo Granito-Gnaissico Pinheiro Machado por CPRM, 2006). Na área de estudo também está presente unidade da Suíte Viamão (denominada Granito Chasqueiro por CPRM, 2006).

De acordo com CPRM (2006), o Complexo Granito-Gnaissico Pinheiro Machado é subdividido em três unidades:

-Domínio de Metagranitóides Porfiriticos: Gnaisse granítico a granodiorítico, foliação marcante e deformação de alta temperatura, presença frequente de septos de paragneisses. (609±17 Ma U-Pb).

-Domínio de Gnaisses Granodioriticos: Gnaisses variando entre granodiorito a tonalito, localmente migmatizado, com abundantes septos de para e ortogneisses parcialmente englobados pela massa granítica 625±4 Ma Pb-Pb.

-Septos do Embasamento: Presença de megaxenólitos com cerca de 15 km de extensão, onde incluem-se rochas calcissilicáticas, biotita gnaisses, tonalitos, quartzitos, xistos, mármore e porções migmatíticas. 781±5 Ma U-Pb.

De acordo com Vieira *et al.* (2016) Granito Chasqueiro varia de sienito a monzogranitos e possui um caráter ácido, subalcalino, do tipo cálcio-alcalino de alto

potássio, com natureza metaluminosa a levemente peraluminosa, que com idade de cristalização próxima a 574 ± 3 Ma (U/Pb). É caracterizado por uma mistura de magmas. As idades modelos obtidas pelo método Lu-Hf em zircão possuem variação entre 1,1 e 1,5 Ga, e indicam fontes crustais e um magma juvenil como as prováveis fontes para esta unidade. O posicionamento desta unidade de acordo com o autor é associado à zona de cisalhamento Arroio Grande, próximo a Zona de Cisalhamento Vila Ayrossa Galvão, ambas zonas de cisalhamento se caracterizam por movimento lateral dextral.

A Formação Jaguarão, unidade de estudo, é composta majoritariamente por dacitos com riodacitos subordinados com matriz vítrea e seu nome deriva da cidade onde foi definida a seção tipo desta unidade. Cobre uma área pequena regionalmente, aproximadamente 160 km² e seu volume é estimado em aproximadamente 3,2km³ (COMIN-CHIARAMONTI, 2010) de material vulcânico extrusivo preservado. A seção tipo está localizada na encosta oeste do morro da Pólvora na Vila Kennedy, área urbana do município.

Na seção tipo a formação Jaguarão constitui a porção mais alta do relevo, por isso se difere geomorfologicamente das litologias do Cinturão Dom Feliciano, a elevação apresenta forma de sela alongada na direção NE, seu eixo maior mede 5,5km de extensão enquanto a menor dimensão tem cerca de 1km de largura (VIEIRA JR., 1985).

A espessura dos derrames variam até mais de 40 m nas partes centrais com afinamento gradual em direção as áreas de contato. A atitude é horizontal assentando assim as lavas diretamente sobre o ESRG. Sistemas de disjunções colunares prevalecem sobre padrões horizontais. Apresentam fraturas conjugadas de direção NE sobrepostas as estruturas de contração típica em pacotes vulcânicos. Não foram observados indícios de topo e base de derrame marcados por zonas amigdalares, o que pode ser resultado de um processo efusivo único (VIEIRA JR. 1987) ou devido água e voláteis serem praticamente inexistentes neste sistema (COMIN-CHIARAMONTI *et al.*, 2010).

Petrograficamente a Formação Jaguarão é composta por dacitos (riodacitos subordinados), com fenocristais e microlitos de plagioclásio (andesina), hipersteno

em matriz vítrea com a presença abundante de xenólitos (graníticos, gnaissicos, miloníticos) e xenocristais (quartzo de falha, plagioclásio), das encaixantes ou das da que foram as fontes magmáticas, também é citada a ocorrência de cordierita como fase líquida, portanto gerada durante o vulcanismo (VIEIRA JR., 1985; COMIN-CHIARAMONTI *et al.*, 2010). Ainda apresenta magnetita e ilmenita geradas durante o vulcanismo. A composição das lavas, dos xenólitos e da matriz vítrea dada na Tabela 7.

Estas rochas são bem distintas do grupo Serra Geral - Tipo Palmas, sistematicamente com piroxênios ricos e pobres em Ca (PICCIRILLO & MELFI, 1988) - e das rochas vulcânicas peraluminosas do Vale Chico no Uruguai que apresentam sistematicamente clinopiroxênios ricos em Ca (RUBERTI *et al.*, 2005). Além disso, as razões de elementos incompatíveis, razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, e os padrões de declive dos elementos terras-raras sugerem que a origem das lavas da Formação Jaguarão está relacionada com fusão crustal.

Tabela 7-Composição média da Formação Jaguarão, e dos xenólitos (extraído de Comin-Chiaramonti et al., 2009).

	Formação Jaguarão	Xenólitos >5cm	Xenólitos < 3cm				Matriz vítrea	
	(N=23)	(N=6)	A	B	C	D	GP1	GP4
<i>wL%</i>								
SiO ₂	64.96 (0.96)	69.47 (3.20)	64.49	67.45	72.46	73.05	76.59	73.13
TiO ₂	1.06 (0.05)	0.36 (0.10)	0.63	0.50	0.29	0.28	0.12	0.06
Al ₂ O ₃	15.90 (0.43)	15.11 (0.95)	18.10	16.50	14.43	14.16	12.68	14.78
Fe ₂ O ₃	0.99 (0.10)	2.65 (0.33)	0.67	0.48	0.29	0.26	0.18	0.23
FeO	5.66 (0.55)	-	4.19	3.00	1.79	1.60	1.10	1.45
MnO	0.15 (0.01)	0.05 (0.02)	0.09	0.08	0.04	0.03	0.02	0.01
MgO	2.03 (0.24)	1.02 (0.47)	2.10	1.62	0.85	0.80	0.59	1.16
CaO	4.42 (0.57)	2.16 (0.51)	3.73	2.83	1.95	2.25	0.50	1.07
Na ₂ O	2.30 (0.19)	2.91 (0.24)	2.62	2.84	2.88	3.13	2.85	2.83
K ₂ O	2.34 (0.25)	4.96 (0.89)	3.29	4.57	4.93	4.38	5.28	5.09
P ₂ O ₅	0.19 (0.02)	0.10 (0.02)	0.09	0.13	0.09	0.06	0.09	0.17
Fe ₂ O ₃ /FeO	0.18	0.16	0.16	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
L.O.I.	2.89 (0.35)	1.01 (0.85)	-	-	-	-	-	-
Q	26.98	26.30	22.93	23.30	30.45	31.19	37.33	32.56
C	2.00	1.27	3.66	2.05	1.02	0.32	1.58	3.08
or	13.83	19.44	19.44	27.00	29.13	25.88	31.20	30.06
ab	19.46	22.17	22.17	24.02	24.37	26.48	24.12	23.95
an	20.69	17.92	17.92	13.19	9.09	10.77	1.89	4.20
en	5.05	5.23	5.23	4.03	2.12	1.99	1.47	2.89
fs	8.10	6.27	6.27	4.44	2.64	2.32	1.71	2.39
hy	13.15	11.30	11.30	8.47	4.76	4.31	3.18	5.28
mt	1.44	0.97	0.97	0.73	0.42	0.38	0.26	0.33
il	2.01	1.20	1.20	0.95	0.55	0.53	0.23	0.11
ap	0.44	0.21	0.21	0.30	0.21	0.14	0.21	0.39
or	25.6	32.7	32.7	42.0	46.6	41.0	54.5	51.6
ab	36.1	37.2	37.2	37.4	38.9	41.9	42.2	41.1
an	38.3	30.1	30.1	20.6	14.5	17.1	3.3	7.3
<i>ppm</i>								
Cr	82 (5)	9 (2)	21	10	7	1	1	
Ni	41 (5)	3 (2)	19	4	3	4	1	
Ba	896 (38)	1079 (255)	632	788	1272	918	496	
Rb	98 (8)	161 (32)	111	128	166	118	333	
Sr	304 (35)	243 (84)	153	177	318	189	84	
Nb	27 (2)	129 (35)	75	80	171	92	16	
Zr	303 (15)	166 (63)	90	96	206	115	95	
Y	28 (4)	19 (7)	8	9	18	11	9	
La	52 (4)	40 (31)	16	21	64	22	36	
Ce	101 (13)	63 (42)	30	40	96	42	68	
Nd	45 (5)	36 (27)	15	21	48	22	30	
Sm	9.6 (1.3)	7.7 (5.5)	3.3	4.7	10.4	1.6	5.8	
Eu	1.51 (0.25)	1.23 (0.86)	0.54	0.77	1.64	0.8	0.8	
Gd	8.7 (1.2)	3.96 (4.31)	2.9	4.2	8.9	4.4	4.5	
Yb	1.07 (0.15)	0.80 (0.55)	0.35	0.52	1.11	0.53	0.82	

As idades disponíveis para a Formação Jaguarão variam entre 161 Ma e 132 Ma (K-Ar, Rb-Sr).

As Idades Modelo TDM para a Formação Jaguarão entre 2.12 ± 0.1 Ga (COMIN-CHIARAMONTI 2010) sugere que as lavas da Formação Jaguarão foram formadas por fusão direta de embasamento paleoproterozóio, Vieira Jr. (1986) sugere alto grau de fusão sobre estas unidades. Os dados isotópicos são distintos de todas outras atividades magmáticas eo-cretácea da plataforma sul-americana (COMIN-CHIARAMONTI & GOMES, 2005).

O vulcanismo que originou a Formação Jaguarão está inserido no grande evento tectono-magmático iniciado no Jurássico denominado Reativação Wealdeniana da Plataforma Sul-Americana (ALMEIDA, 1967) que está relacionada com o processo

de rompimento do Gondwana. Durante este período houve desenvolvimento de bacias marginais, nas quais algumas foram sítios de atividade magmática. Vieira Jr. (1985) propõe que é compatível a relação da Formação Jaguarão com a Bacia da Lagoa Mirim, que consiste em uma fossa tectônica do tipo Vale Rife com direção NE e estende-se da cidade de Lascano (Uruguai) até a região de Jaguarão; na sua porção uruguaia esta bacia apresenta importante registro de magmatismo alcalino aliado a uma sequência vulcânica toleítica que varia de basaltos a riolitos, em sua maior parte recoberta por sedimentos cretáceos com idades entre 120 e 140 Ma (UMPIERRE & HALPERN, 1971; BOSSI & UMPIERRE 1975; ALMEIDA, 1983).

A Figura 5 apresenta a localização da área de estudo (5a), o contexto geológico regional regional (5b), e o contexto local da unidade de estudo (5c).

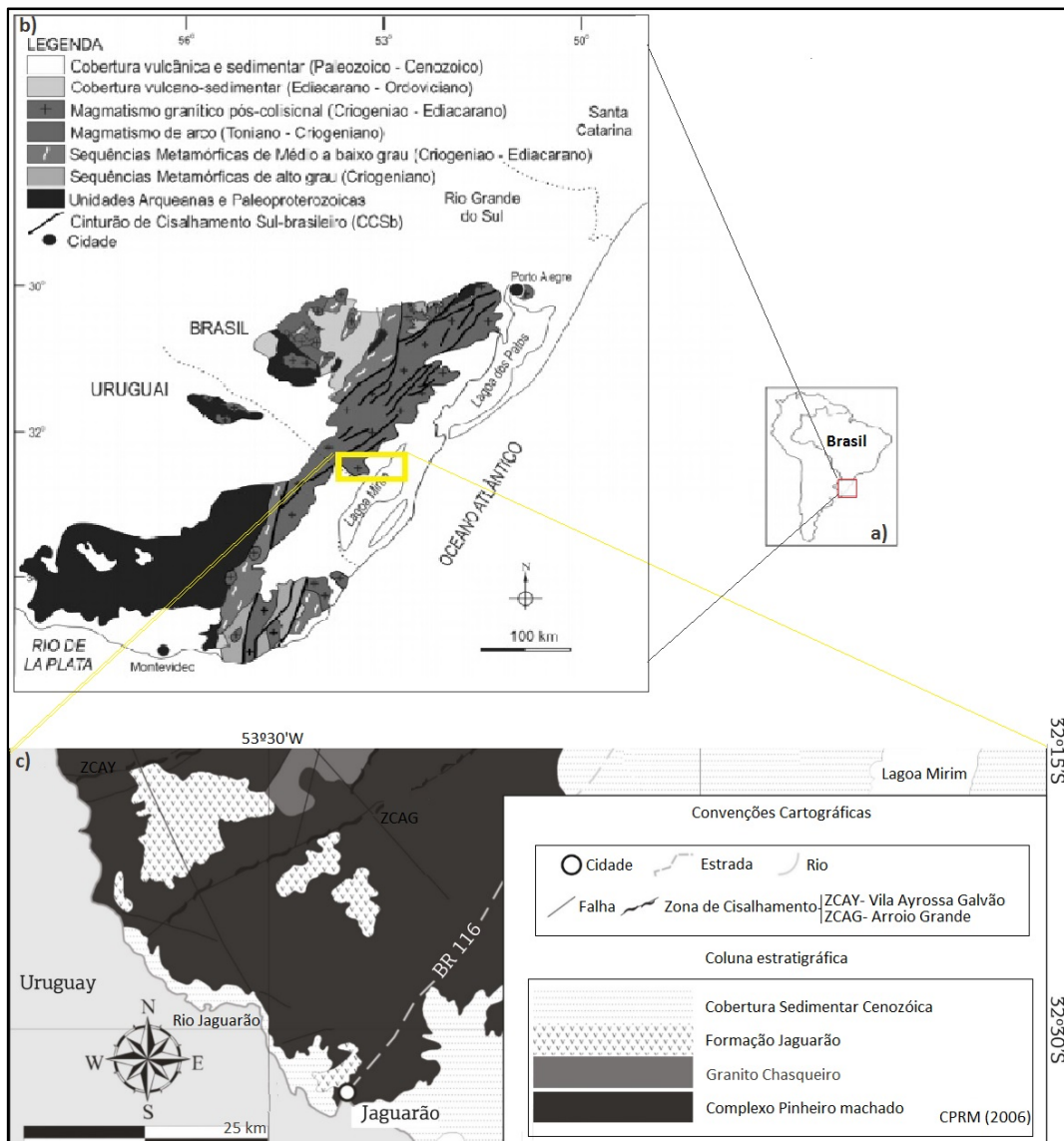


Figura 5-(a) Localização da área de estudos. (b) Mapa Geológico, com compartimentação de unidades da porção meridional da Província da Mantiqueira nos Escudos Sul Rio-Grandense e Uruguaio (Nardi & Bitencourt, 2000) e indicação da área de estudos em amarelo. c) Mapa Geológico da área de estudos (Fonte: CPRM, 2006, modificado de Ramos & Koester (2015)).

Rosa (2009) realizou estudos gravimétricos e magnetométricos na região da Lagoa Mirim, próximo à área de estudo. Foram descritas anomalias positivas gravimétricas e de campo magnético residual na região próxima a Jaguarão. Com base em dados geofísicos elaborou seção geológica mostrando a relação de rochas vulcânica mesozóicas com o Escudo Cristalino Sul-Riograndense. Na Figura 6 é apresentada a seção geológica idealizada para a área.

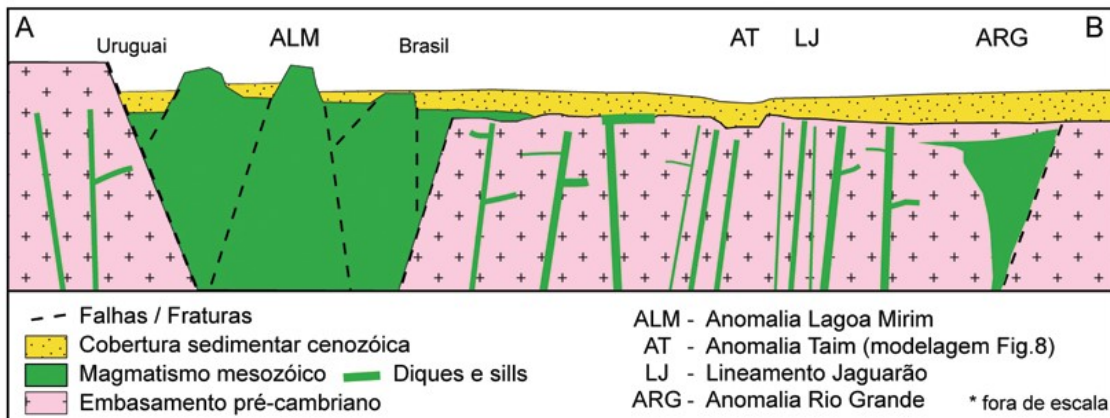


Figura 6- Seção geológica proposta por Rosa (2009) mostrando a relação entre as rochas vulcânicas mesozóicas e o embasamento, esta seção foi baseada em dados de gravimetria e magnetometria.

6) Principais Resultados

A Formação Jaguarão tem seus processos genéticos associados a altas taxas de fusão crustal e foi interpretada como tendo sido transportada rapidamente através da crosta, possivelmente nos estágios iniciais da quebra do Gondwana (Viera Jr., 1985; Comin-Chiaramonti et al., 2010). As lavas contêm muitos tipos diferentes de xenólitos milimétricos a centrimétricos. Lavas com xenólitos amplamente assimilados também incluem pequena quantidade de acumulados de ortopiroxênio reequilibrados em suas margens. Nossos dados sugerem que mais de um estágio de contaminação ocorreu. Presume-se que o magma seja gerado pela fusão de um embasamento Paleoproterozóico, como sugerido anteriormente, no entanto, propomos que sofreu fracionamento e assimilação em uma câmara de magma antes da extrusão. A presença de autólitos acumulados de ortopiroxênios reequilibrados e o alto grau de assimilação dos xenólitos corroboram essa ideia. A datação U / Pb de xenocristais de zircão funcionou como um proxy para avaliar a crosta subjacente ao vulcanismo. Sugere-se um nível crustal raso para a câmara magmática, considerando que a maioria dos xenocristais de zircão tem idades semelhantes às rochas aflorantes locais do Cinturão Dom Feliciano Oriental. O magma também incorporou outros fragmentos durante a fase de extrusão, conforme indicado pela presença de lavas com grandes xenólitos com margens nítidas e menor grau de

assimilação. A presença de xenocristais de 1,0 a 1,2 Ma nas lavas sugere sequências mesoproterozóicas na crosta subjacente à Formação Jaguarão.

REFERÊNCIAS

Aldrich L. T. & Nier A.O. 1948. Argon 40 in Potassium Minerals,

Almeida, F.F.M.; 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. Bol. Div.

Babisnki 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 Smith American Earth Science*, 10 (3-4):263-274.

Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S., 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30, 186 – 189.

Bossi J., Ferrando L. 2001 Carta geológica del Uruguay. Geeditores. CD-ROM, Montevideo.

Bossi J, Preciozzi F, Campal N (1993b) Predevoniano del Uruguay. Parte 1: Terreno Piedra Alta. DINAMIGE, Montevideo, pp 1–50.

Bossi, J. & Umpierre-Urquhart, M. 1975. Magmatismo mesozoico de Uruguay e Rio Grande del Sur: sus recursos minerales asociados y potenciales. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GEOLOGIA ECONÔMICA, 2., Buenos Aires, anais. V.2, pg. 119-141.

Bühn, B.; Pimentel, M. M.; Matteini, M. e Dantas E. L. 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS).

Camozzato, E., Philipp, R.P., Chemale Jr., F., 2013. Evolução Tectônica e Geocronologia U-Pb em zircão da terminação sul do Terreno Tijucas (RS, Brasil). In: VII Congresso Uruguayo de Geología, Montevideo, Resúmenes Extendidos, p. 7.

Cingolani C.A., Hartmann L.A., Santos J.O.S., y McNaughton N.J. .2002. U-Pb SHRIMP dating of zircons from the Buenos Aires Complex of the Tandilia Belt, Río de la Plata Craton, Argentina. XV Congreso Geológico Argentino, Actas 1:149–154.

Comin-Chiaramonti et al.; Cordierite-bearing lavas from Jaguarão, southern Brazil: Petrological evidence for crutal melts during de early rifting of Gondwana; 2010; Gondwana Research; 2010; pg 514-527.

Comin-Chiaramonti, P. 2000. Peraluminous lavas from Jaguarão (RS, Brazil). DICAMP: Quadernidi mineralogia, Petrografia e Geochimica Applicate, Triste University17, 1-15.

Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C.B. (Eds.), 2005. Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the brazilian platform. EDUSP-FAPESP-SÃO PAULO-Brazil, 752 pp.

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, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CPRM; Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul. 1:750000; 2006.

Dristas, J. A. & Frisicale, M.C. 1987. Rocas piroclásticas en el sector suroeste de las Sierras Septentrionales de la prov. de Bs. As. Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología 18: 46-53.

Fernandez A.N., Preciozzi F. 1974. La formación Arroyo. Grande y los granitoides asociados. In: Annales. XXVIII Congreso. Brasileiro de Geologia pp 212–226.

Ferrando, L., Fernandez, A. 1971. Esquema tectónico—cronoestatigráfico del predevoniano en Uruguay. In: XXV Congreso Brasileiro de Geología, vol 1. San Pablo, Paulo, pp 199–210.

Fragoso-César, 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: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiânia. Anais... Goiânia, SBG, v. 3, p. 1322-1343.

Gregory, T.R., Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S., 2011. Caracterização estrutural e petrológica de metatonalitos e metadioritos do complexo arroio dos ratos na sua seção-tipo, região de Quitéria, RS. *Pesqui. em Geociencias* 38, 85–108.

Gregory, T.R., Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S., Florisbal, L.M., Chemale, F., 2015. Geochronological data from TTG-type rock associations of the Arroio dos Ratos Complex and implications for crustal evolution of southernmost Brazil in Paleoproterozoic times. *Journal South American Earth Science* 57, 49–60.

Gunter, F. & Mensing T. M. *Isotopes: Principles and Applications*. 2005.

Halls, H.C.; Campa, I. N.; Davis D.W.; Bossi J. 2001. Magnetic studies and U–Pb geochronology of the Uruguayan dike swarm, Rio de la Plata Craton, Uruguay: paleomagnetic and economic implications. *J SA Earth Sci* 14:349–361.

Hartmann, L.A.; Campal, N.; Santos, J.O., McNaughton, N.; Bossi, J., Schipilov, A.; Lafon, J.M. 2001. Archean crust in the Río de la Plata Craton, Uruguay—SHRIMP U–Pb zircon reconnaissance geochronology. *Journal South American Earth Sciences* 14:557–570.

Hartmann, L.A., Bossi, J., Santos, J.O.S., Mc Naughton, N.J., Piñeyro, D., 2008. SHRIMP U–Pb zircon geochronology of the Rospide gabbro from the paleoproterozoic San Jose Belt, Rio de La Plata Craton, Uruguay: A chronological proof of magma mingling. *Revista Sociedad Uruguaya de Geología*. 15, 40–53.

Hartmann, L.A., Leite, J.A.D., Mcnaughton, N.J., Santos, J.O.S. 1999. Deepest exposed crust of Brazil – SHRIMP establishes three events. *Geology*.27(10), 947-950.

Hartmann, L.A., Piñeyro, D., Bossi, J., Leite, J., Mcnaughton, N., 2000. Zircon Ur-Pb shrimp dating of Paleoproterozoic Isla Mala granitic magmatism in the Rio de la Plata craton, Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences* 13 (2), 105-113.Elsevier.

Hartmann, L.A., Santos, J.O.S., Leite, J.A.D., Porcher, C.C., Mcnaughton, N.J., 2003. Metamorphic evolution and U-Pb zircon SHRIMP geochronology of the Belizário ultramafic amphibolite, Encantadas complex, southernmost Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.*75, 393–403.

Hartmann, L.A., Liu, D., Wang, Y., Massone, H.-J., Santos, J.O.S., 2008. Protolith age of Santa Maria Chico granulites dated on zircons from an associated amphibolites-facies granodiorite in southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 80(3), 543-551.

Heilbron, M; Pedrsao-Soares, A.C.; Campos Neto, M.C.; da Silva, L.C.; Trouw, R.A.J.; Janasi, V.A. *Província Mantiqueira*, 2004, in *Geologia do continente Sul-Americano : evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*.

Hirata, T.; Hattori, M.; Tanaka, T. 1998. In situ osmium isotope ratio analyses of iridosmine by laser ablation-multiple collector - inductively coupled plasma mass spectrometry. *Chemical Geology*,v. 144, p. 269-280.

Iacumin M, Piccirillo EM, Girardi VAV, Teixeira W, Bellieni G, Echeveste H, Fernandez R, Pinese JPP, Ribot A. 2001. Early proterozoic calc-alkaline and middle proterozoic tholeiitic Dyke Swarms from Central–Eastern Argentina: petrology, geochemistry, Sr–Nd isotopes and tectonic implications. *J Petrol* 42(11):2109–2143.

Iglesias, C. M. F *Geologia e Recursos Minerais da Folha Cural de Pedras – SI.22-v-A-I, Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:100.000 / organizado por Carlos Moacyr*

da Fontoura Iglesias; Eduardo Camozzato; Carla Klein; Jorge henrique Laux. --Porto Alegre:CPRM, 2018.

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: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 8, 2012. Medellin. Resumos... CD-ROM.

Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., Fernandes, L.A.D., McNaughton, N.J., Soliani Jr., E., Koester, E., Santos, J.O.S., Vasconcellos, M.A.Z., 2000. Zircon UePb SHRIMP dating of gneissic basement of the Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil. J. South Am. Earth Sci. 13, 739-750.

Li, X. H.; Liang, X. R.; Sun, M.; Guan, H.; Malpas, J.G. 2001. Precise $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$ age determination on zircons by laser ablation microprobe – inductively coupled plasma-mass spectrometry using continuous linear ablation. Chemical Geology, v. 175, p. 209-219.

Maliska, A. M. Microscopia Eletrônica e micro-análise. Apostila 2004.

Mallmann G, Chemale F Jr, Ávila JN, Kawashita K, Armstrong RA (2007) Isotope geochemistry and geochronology of the Nico Pérez Terrane, Rio de la Plata Craton, Uruguay. Gondwana Res 12:489–508.

Marchese HG, Di Paola EC (1975) Reinterpretación estratigráfica de la Perforación Punta Mogotes N° 1, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 30:17–44.

May G. E. 1990.Pan-African magmatism and regional tectonics of South Brazil. Open University, Milton Keynes, Ph.D. Thesis, 343p.

Misuzaki, A.M.P. et al. 1998. Ages of the Magmatism and the Opening of the South Atlantic Ocean; 1998.

Nardi, L.V.S. & Hartmann, L.A., 1979. O Complexo Granulítico Santa Maria Chico do Escudo Sul-Rio-grandense. *Acta Geologica Leopoldensia*, 6, 45-75.

Nesbitt, R. W.; Hirata, T.; Butler, I.; Milton, J. A. 1997. UV Laser Ablation ICP-MS: some applications in the earth sciences. *Geostandards Newsletter*, v. 20, n. 2, p. 231-243.

Oriollo, S. et al. The Nico Pérez Terrane (Uruguay): From Archean crustal growth and connections with the Congo Craton to late Neoproterozoic accretion to the Río de la Plata Craton 2016.

OyhantçabalP, Spoturno J, Loureiro J .2007. Caracterización geológica de las rocas Paleoproterozoicas de la región Centro-Sur del Uruguay (Terreno Piedra Alta—Cratón Del Río De La Plata). In: *Actas V Congreso Uruguayo de Geología*. CD-ROM

Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K. 2011. The Río de la Plata Craton: A review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *Int. J. Earth Sci.* 100, 201–220. doi:10.1007/s00531-010-0580-8.

Parfenoff, A.; Pomerol, C.; Tourenq, J. *Les minéraux em grains: methods d'étude et determination*. Paris Masson, 578p. 1970.

Peel E., Preciozzi F., 2006. Geochronologic synthesis of the Piedra Alta Terrane, Uruguay. In: *V South American Symposium on Isotope Geology*. Punta del Este, Uruguay, pp. 234–237.

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*, 32(2): 277-290.

Piccirillo, E.M., Melfi, A.J. (Eds.), 1988. The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo. 600 pp.

Poiré, D.G. and Spalletti, L.A. 2005. La cubierta sedimentaria Precámbrica Paleozoica inferior del Sistema de Tandilia. In de Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Cabllé, M.F., Llambías, E. (eds) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. 16º Congreso Geológico Argentino, Relatorio 4, 51-68, La Plata.

Preciozzi F (1993) Petrography and geochemistry of five granitic plutons from south-central Uruguay. Contribution to knowledge of the Piedra Alta Terrane. PhD Thesis, Université du Québec, Quebec, 189 pp. <http://dx.doi.org/doi:10.1522/1498484>.

Preciozzi F, Spoturno J, Heinzen W (1979) Carta geo-estructural del Uruguay, escala 1:2.000.000. Instituto Geológico Ing. Terra Arocena, Montevideo 62 pp

Quintela, O., 2016. Petrologia dos Ortognaisses do Complexo Granulítico Santa Maria Chico – Municípios de Bagé e de Dom Pedrito, RS. Monografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp.65.

Ramos, R. & Koester, E. Litho-geochemistry of the meta-igneous units from Arroio Grande Ophiolitic Complex, southernmost Brazil, 2015. In Brazilian Journal of Geology, vol. 45, nº 1, São Paulo.

Renne, P.R., Ernesto, M., Pacca, I.G., Coe, R.S., Glen, J.M., Prévot, M., Perrin, M., 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. Science 258, 975–979.

Rosa, M.L.C.; Tomazelli, L.J; Costa, A.F.C. e Barbora, E.G.. Integração de métodos potenciais (gravimetria e Magnetometria) na caracterização do embasamento da região sudoeste da Bacia de Pelotas, sul do Brasil. In.: revista Brasileira de Geofísica, 2009.

Ruberti, E., Gomes, C.B., Tassinari, C.C.G., Antonini, P., Comin-Chiaramonti, P., 2005. The Early Cretaceous Valle Chico complex (Mariscal, SE Uruguay). In: Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C.B. (Eds.), Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform. EDUSP-FAPESP, São Paulo, pp. 573–590.

Santos JOS, Hartmann LA, Bossi J, Campal N, Schipilov A, Piñeyro D, Mc Naughton NJ (2003) Duration of the trans-Amazonian cycle and its correlation within South America Based on U-Pb SHRIMP Geochronology of the La Plata Craton, Uruguay. *Int Geol Rev* 45:27–48 Sato, K.; Kawashita, K. *Geol. USP, Sér. cient.* vol.2 no.1 São Paulo Dec. 2002.

Simkin, T. & Siebert, L.. *Volcanoes of the World*, 2nd ed, 1994.

Skoog, West, Holler, Crouch, *Fundamentos de Química Analítica*, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

Soliani Jr., E. Os dados geocronológicos nos escudo sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica, Tese de doutorado, USP, 1986.

Tambara, G. B. & Koester, E; *Geoquímica e geocronologia dos Gnaisses Piratini: magmatismo cálcio-alcálico médio a alto-K de 784 Ma (U-Pb SHRIMP) no SE do Cinturão Dom Feliciano (RS, Brasil)*, 2019. Dissertação de Mestrado.

Teixeira W, Pinese JPP, Iacumin M, Girardi VAV, Piccirillo EM, Echeveste H, Ribot A, Fernandez R, Renne PR, Heaman LM (2002) Calc-alkaline and tholeiitic dyke swarms of Tandilia, Rio de la Plata craton, Argentina: U-Pb, Sm-Nd, and Rb-Sr $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ data provide new clues for intraplate rifting shortly after the Trans-Amazonian orogeny. *Precambr Res* 119:329–353

Teixeira, W. 1982. Interpretação dos dados radiométricos e evolução geocronológica. Folhas SH. 22- Porto Alegre, SI.22- Lagoa Mirim e SH-21-Uruçuaiana. Projeto RADAMBRASIL, relatório interno. Thomas et al. 1972. Levantamento Geológico das

folhas president Barbosa, Arroio Bretanha< Jaguarão, Porto Alegre e Pontda do Juncal. Trabalho de Graduação do IG-UFRGS.

Turner, S., Regelous, M., Kelley, S., Hawkesworth, C., Mantovani, M., 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision⁴⁰Ar–³⁹Ar geochronology. *Earth and Planetary Science Letters* 124, 333–348.

UFRGS 2007. Mapeamento Geológico 1:25.000 de parte da Folha Quitéria SH22-YB-I-4 (MI2985/4) e Serra do Erval SH 22-Y-B-II-3 (MI2986/3), RS. Porto Alegre. 1 vol., 2 mapas. Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Umpierre M, Halpern M (1971) Edades Sr–Rb del Sur de la República Oriental del Uruguay. *Revista Asociación Geológica Argentina* 26:133–151

Vieira Jr., N.; Petrologia e Geoquímica do Vulcanismo Mesozóico de Jaguarão, RS; Dissertação de Mestrado; 1985.

Viera Jr., N. e Roisenberg, A. Formação Jaguarão: uma nova unidade vulcânica mesozóica no Rio Grande do Sul Pesquisas/ instituto de Geociência da Universidade Feral do Rio Grande do Sul volume 19, 1987.

Vieira, D. T.& Koester, E; Petrologia do Granito Chasqueiro, região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. 2016. Dissertação de Mestrado.

Zimmermann, U., Poiré, D.G. and Gómez Peral, L. 2011. Neoproterozoic to Cover Palaeozoic successions of the Tandilia System in Argentina: implication for the palaeotectonic framework of southwest Gondawana. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* 100: 489-510.

II) ARTIGO

30/11/2020

Chasque Webmail :: Brazilian Journal of Geology - Manuscript ID BJGEO-2020-0122

Brazilian Journal of Geology - Manuscript ID BJGEO-2020-0122



De Tatiana Alonso <onbehalf@manuscriptcentral.com>
Para <gabertol@gmail.com>
Cópia <geohuttongeoologia@gmail.com>, <juliana.marques@ufrgs.br>, <jose.frantz@ufrgs.br>, <gabertol@gmail.com>
Responder p... <secretaria@zeppelini.com.br>
Data 2020-11-30 22:00

30-Nov-2020

Dear Dr. Bertolini:

Your manuscript entitled "U-PB ZIRCON XENOCRYSTS DATING AS A PROXY TO ASSESS VOLCANIC ASSIMILATION AND THE UNDERLYING CRUST, CRETACEOUS JAGUARÃO FORMATION, RS-BRAZIL" has been received by the Editorial Office of the Brazilian Journal of Geology.

Please note that this message is not a confirmation of submission, which will only be given once your manuscript is considered to be within the scope and of interest to the journal.

Your manuscript ID is BJGEO-2020-0122.

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

U-PB ZIRCON XENOCRYSTS DATING AS A PROXY TO ASSESS VOLCANIC ASSIMILATION AND THE UNDERLYING CRUST, CRETACEOUS JAGUARÃO FORMATION, RS-BRAZIL

Vicente Medeiros Leivas Araújo^{a,b}, Juliana Charão Marques^{a,b}, José Carlos Frantz^{a,b}, Gabriel Bertolini^{a,b}

^a Laboratório de Modelagem de Recursos Naturais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43129/2º andar, Porto Alegre, RS, 91501-970, Brazil

^b Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113/207, Porto Alegre, RS, 91501-970, Brazil

Keywords: Jaguarão Formation; xenoliths; zircon; U-Pb dating; Dom Feliciano belt

Abstract

The cordierite-bearing lavas from the Cretaceous Jaguarão Formation were formed in the early stages of the Gondwana breakup, Eastern Dom Feliciano Belt. The lavas are characterized by enclosing lots of xenoliths. This distinct volcanism points to unusual assimilation of host-rocks. Previous studies suggested magmatism related to partial fusion due to friction in reactivated faults with fast transportation. In order to better understand the role of crustal rocks in the lavas formation, we examined the Jaguarão Formation lavas regarding the distribution of xenoliths. In addition, LA-ICP-MS U-Pb zircon dating was applied to a selected sample containing largely assimilated xenoliths and reequilibrated orthopyroxene adcumulates. Our results suggest more than one stage of contamination. We propose fractionation and assimilation in a magma chamber previously to extrusion followed by fragments incorporation during extrusion to explain both highly assimilated xenoliths and large xenoliths with sharp margins and lower degree of assimilation. The U-Pb zircon xenocrysts dating worked as a proxy to assess the crust underlying the volcanism.

The results suggest a shallow level for the magma chamber considering the majority of the zircon xenocrysts are Neoproterozoic, similar to local basement. Presence of few 1.0-1.2 Ma xenocrysts suggests Mesoproterozoic sequences in the underlying crust.

1. Introduction

The Jaguarão Formation is a Mesozoic unit composed of volcanic rocks of intermediate composition that occurs in the southeastern portion of the South American platform (Vieira Jr., 1985). The Early Cretaceous unit partially covers basement rocks from the Dom Feliciano Belt Eastern domain (Philipp et al., 1998; Wildner et al., 2008; Iglesias et al., 2018; Cruz 2019), which is part of a mobile belt formed during the Pan-African/Brasiliano orogen cycle (Fragoso-César, 1986).

The Jaguarão Formation has its genetic processes associated with high rates of crustal melting (Viera Jr., 1985; Comin-Chiaramonti et al., 2010) and where interpreted to have been fast transported through the crust, possibly in the early stages of the Gondwana breakup (Misuzaki, 1998; Comin-Chiaramonti et al., 2010). The Paleoproterozoic Nd T_{DM} model ages of the Jaguarão Formation, similar to T_{DM} model ages from the oldest basement rocks found in the Dom Feliciano Belt, have led (Comin-Chiaramonti et al. (2010) to suggest the lavas were formed directly by the fusion of a Paleoproterozoic basement or were highly contaminated by ancient rocks. The volcanic rocks are characterized by enclosing lots of different types of millimetric to centimetric xenoliths. Characterizing the xenoliths is essential to better understand the magmatic evolution and its relationship with the basement rocks.

The present work aimed to characterize the Jaguarão Formation recognizing different volcanic facies in relation to its xenoliths content in order to select a sample for a geochronological survey. LA-MC-ICP-MS U/Pb dating was addressed to zircon xenocrysts considering they would be a proxy to assess the crust underlying the volcanism. Our results reveal that most zircon contribution were probably related to shallow basement rocks from the Eastern Dom Feliciano Belt, although a complex underlying terrain including Mesoproterozoic rocks might exist considering there is no evidence of this age in neighboring rocks.

2. Tectonic Setting

The Jaguarão Formation represents volcanism related to the Wealdenian Reactivation of the South American Platform (Almeida, 1967), a tectono-magmatic event initiated during the Jurassic and correlated to the Gondwana break up. It is interpreted to be coeval to the Paraná-Etendeka volcanism based on 139.6 ± 7.4 Ma Rb–Sr age (Comin-Chiaramonti, 2000) and is composed of extrusive rocks, mostly intermediate in composition, with dominance of dacites and subordinated riodacites, with abundant presence of xenoliths (Vieira Jr., 1985).

The regional tectonic framework consists of Archean-paleoproterozoic terranes such as the Piedras Altas, Nico Perez and Taquarembó Block (Oyhantçabal et al., 2011; Oriolo et al., 2016) to the west and the Encantadas and Arroio dos Ratos Complexes (Frantz et al., 2000; Saalman et al., 2011; Gregory et al., 2015) to the north representing the oldest basement rocks. Minor Mesoproterozoic imprint is described only at the Cuchila Dionísio terrane in Uruguay (Bossi and Gaucher, 2004; Basei et al. 2005, 2011) to the south. However, the Dom Feliciano Belt is the most important terrain in the area and is composed mainly of Neoproterozoic granitoids built in a NE-SW corridor that extends for circa 1,200 km, from Punta del Este (Uruguay) to the northeastern portion of the State of Santa Catarina (Brazil) during the Brasiliano-Pan-African Cycle (Fragoso-César, 1986, Basei et al. 2008).

The Jaguarão Formation lies in the Eastern Dom Feliciano Belt, characterized by distinct types of Neoproterozoic magmatic suites (Frantz and Botelho, 2000; Phillip et al., 2002; Basei et al., 2008). Inliers from the Paleoproterozoic and Tonian rocks have been described in the granitoids Eastern Dom Feliciano Belt (Fragoso-César, 1986; Silva et al., 1999; Frantz and Botelho, 2000; Phillip et al., 2002). Tonian metagranitoids inliers (ca. 800-780 Ma) are considered related to a tangential regime and possibly to a magmatic arc phase (Frantz and Botelho, 2000; Tambara et al., 2015). However, the granitoids that predominate in the Eastern Dom Feliciano belt intruded during a period of circa 80-90 Ma in the Edicarian, controlled and were deformed by active shear zones syn to late Brasiliano-Pan-African Cycle (Frantz and Botelho, 2000). Metagranitoids and granitoids are composed of early tonalitic-granodioritic to leucogranites with variable degrees of mylonitic structures to late K-feldspar-rich undeformed granites. The diverse granitoids rocks are typical of all

Eastern Dom Feliciano Belt (Frantz and Botelho, 2000) and occur in the Jaguarão Formation area (Cruz, 2019).

Tonian to Ediacarian metavolcano-sedimentary sequences also occur nearby (Porongos Complex, Hofig et al., 2018 and references therein) as well as rocks from Neoproterozoic-Paleozoic Camaquã Basin (Almeida et al., 2009).

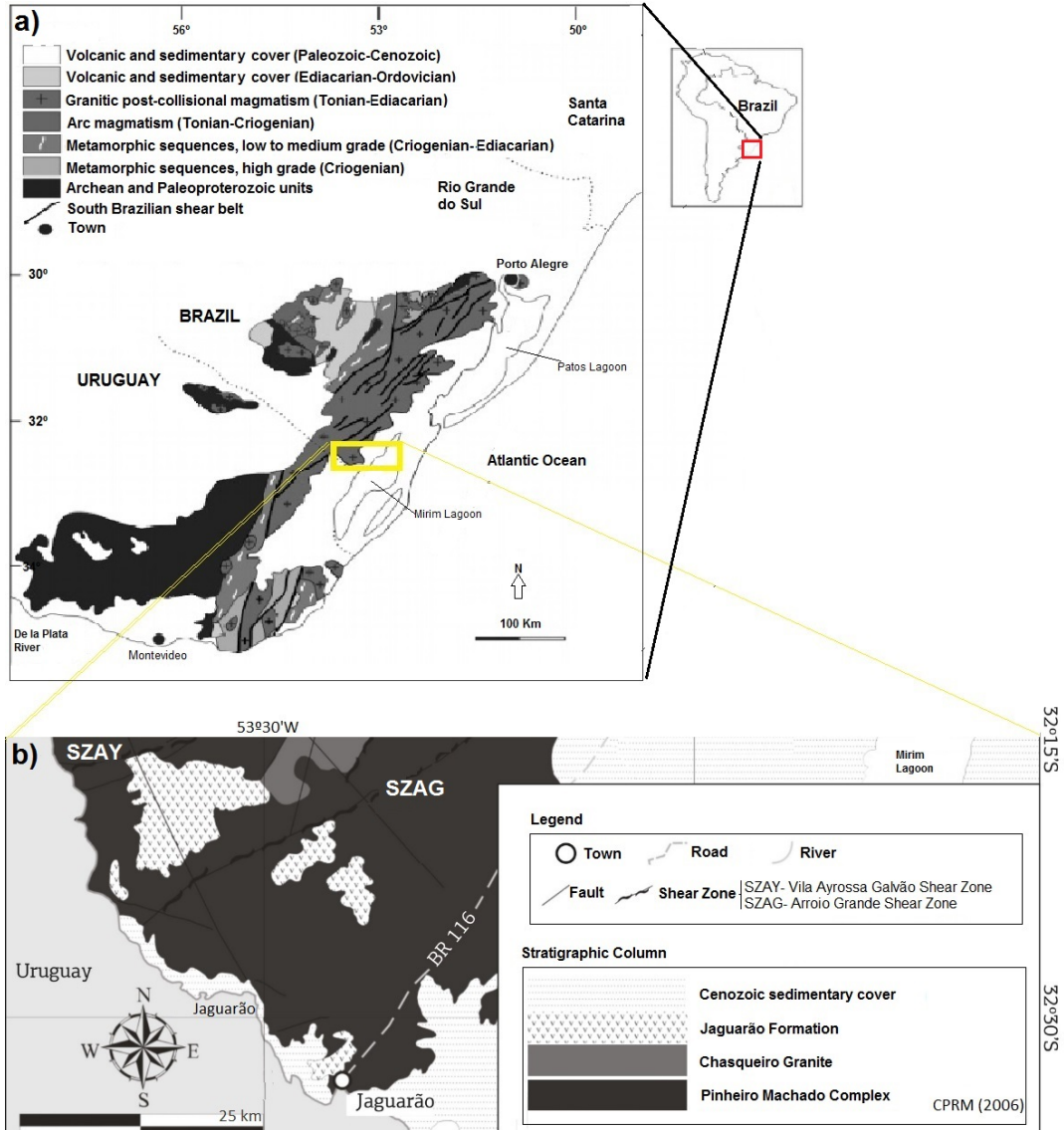


Figure 1. (a) Simplified geological Map of the southern portion of the Mantiqueira Province in Southern Brazil and Uruguay showing the location of the studied area (modified from Bitencourt and Nardi, 2000); b) Simplified geological map of the studied area (modified from Wildner et al., 2008 and Ramos, 2014).

The Jaguarão Formation covers a small area, approximately 160 km², with an estimated volume of circa 3.2 km³ (Comin-Chiaramonti et al. 2010) in the southeastern portion of the South American Platform. It has an elongated elliptical shape in the NE-SW direction, 5.5 km long and 1 km wide, constituting the highest relief in the region (Vieira Jr., 1985). The lavas are horizontal and occur directly on basement Proterozoic rocks. They have a maximum thickness of 40m in the central portions, with a gradual decrease towards their margins (Iglesias, 2018). A system of columnar disjunctions prevails over horizontal ones, and the absence of amygdaloid zones is interpreted as a result of a single effusive process (Vieira Jr. and Roisenberg, 1987) or low volatile content in the magma (Comin-Chiaramonti et al., 2010).

Vieira Jr. (1985) proposed that the evolution of the Jaguarão Formation is linked to the Lagoa Mirim Basin considering the basin consists of a tectonic trench of the Rift Valley type with NE direction and extends from the city of Lascano (Uruguay) to the region of Jaguarão. In its Uruguayan portion, this basin has an important record of alkali rocks associated with a volcanic tholeiitic sequence ranging from basalts to rhyolites. Most part of the basin is covered by Cretaceous sediments aged between 120 and 140 Ma (Umpierre and Halpern, 1971; Bossi and Umpierre 1975; Almeida, 1983).

Geophysical studies describe positive gravimetric and residual magnetic field anomalies for the Jaguarão region (Rosa et al., 2009) with a complex structuration and large composition heterogeneity. The rifting that evolved to the opening of the Atlantic Ocean is associated with magmatism, and the E-W Jaguarão Lineament is continuous to the east associated to positive gravimetric anomalies (Rosa et al., 2009) probably indicating the Jaguarão magmatism is larger than the expression preserve in the surface.

The Jaguarão Formation is interpreted as associated to high rates of crustal fusion owing to geochemical (high amount of incompatible elements and enrichment in light rare-earth elements) and isotopic composition (high Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ initial ratios), followed by fast transport of the magma through the lithosphere (Viera Jr., 1985). The

occurrence of orthopyroxene-cordierite as liquidus phases led Comin-Chiaramonti et al. (2010) to consider their origin associated with friction melting. Nd T_{DM} model ages, ranges between 2.02 and 2.22 Ga, similar to Nd T_{DM} model ages from basement rocks, suggests that the lavas of the Jaguarão Formation were formed by direct fusion of the Paleoproterozoic basement or from a magma highly contaminated by ancient rocks (Comin-Chiaramonti et al., 2010). The isotopic data are distinct from other Early Cretaceous South American platform felsic magmatism, and the source is likely to be derived from the Dom Feliciano belt Paleoproterozoic basement (Comin-Chiaramonti & Gomes, 2005; Comin-Chiaramonti et al., 2010).

3. Materials and methods

In the field, 22 stations were described in outcropping areas of the Jaguarão Formation and its basement units. Figure X shows the location of the studied outcrops. Thin sections have been described in optical and electronic microscopy (JEOL 6610LV scanning electron microscope with energy dispersive X-ray spectrometry, SEM/EDS) at Laboratório de Geologia Isotópica/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LGI/UFRGS). One selected sample for U-Pb zircon dating was crushed powdered and sieved to fractions between 74 - 250 μm . Heavy mineral concentrates were obtained by panning and were subsequently purified using conventional magnetic procedures (Frantz Isodynamic Separator), heavy liquid (bromoform) and, subsequently, handpicking. Zircon grains were selected and set in epoxy resin mount. The mount surface was polished exposing the grain interiors. Backscattering electrons images of zircons for better spot targeting were obtained using the SEM JEOL 6610LV (LGI/UFRGS). The U-Pb analyses by LAM-ICP-MS were carried out using a Finnigan Neptune coupled to a with a 193 nm wavelength Excimer ArF laser ablation system (LA) at LGI/UFRGS. The analyses were performed as a single spot of 30 μm , repetition rate of 7 Hz, energy of 2 mJ/cm^2 , 40 seconds ablation time and 1 second integration time. The faraday cup configuration of the MC-ICPMS was ^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th and ^{238}U and IC's on cup L4 with ^{202}Hg , ^{204}Pb , and ^{207}Pb . Unknown analyses were bracketed by measurements of the

international standard GJ-1 (Jackson et al. 2004) at every set of 4 zircon spots and used to estimate the necessary corrections and internal instrumental fractionation. The raw data were corrected offline using an Excel worksheet following procedures of Buhn et al. (2009) for background, instrumental mass-bias drift and common Pb. The ^{204}Pb value was corrected for ^{204}Hg , considering the $^{202}\text{Hg}/^{204}\text{Hg}$ ratio to be 4.355 and the $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ratios were corrected for common Pb using the methods of Stacey and Kramer (1975). The ratios of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ and $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ and their absolute errors (1σ) were calculated after blank and ^{204}Pb corrections. The intercept method proposed by Youden (1951) was used assuming linear fractionation of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Ages were calculated using ISOPLOT/Ex (Ludwig 2003). The individual uncertainties are at 1σ . Plotting followed Gehrels (2014) recommendation, where for grains older than 1.2 Ga and younger than 1.2 Ga, the $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ were used respectively. Kernel density estimator of the IsoplotR (Vermeesch, 2018) was used to observe the final dataset. Results are in the supplementary material.

4. Results

4.1 Basement Rocks

The basement rocks of the Jaguarão Formation are complex and composed of a diversity of rock types. In the studied area, basement outcrops are rare and, generally, highly weathered. Quartz-feldspar gneiss, metagranitoid hosting large fragments of mafic xenoliths and late intrusive felsic granites are the most common rocks types. Figure 3 illustrates the most common basement rocks described in the studied area.

The quartz-feldspar gneiss is medium-grey characterized by regular banding with mafic bands, millimetric to centimetric thickness (up to 2 cm) composed of amphibole and minor biotite, intercalated with thicker (up to 4cm) felsic bands constituted by feldspar (k-feldspar>plagioclase) and quartz or pure quartz. Bands are usually highly stretched exhibiting mylonitic microstructure. Tight to isoclinal folding is common and highlighted by pure-quartz bands (Fig. 3a).

The metagranitoids are the most common rocks and are generally represented by porphyritic biotite metagranitoids with a conspicuous N-NE subvertical foliation marked by the orientation of augen K-feldspar (up to 2cm in length), biotite and quartz which is frequently replaced by a parallel mylonitic foliation where highly stretched k-feldspar and quartz dominate (Fig. 3b). The intensity of the mylonitization is locally very high producing ultramylonitic metric zones. Metric to decametric mafic xenoliths are common and their contacts with the granitic host rocks range from gradational to locally sharp (Fig. 3c, d). The mafic xenoliths exhibit previous well-developed foliation with tight to isoclinal intrafolial folds.

Injections of late intrusive undeformed fine-grained granitoids crosscut the metagranitoids and the decametric mafic xenoliths (Fig. 3e, f). They are felsic, composed mainly by equigranular K-feldspar and quartz. Pegmatoid veins, similar in composition, crosscut all rock types following different directions but more frequently they are subvertical and oriented along NEE.

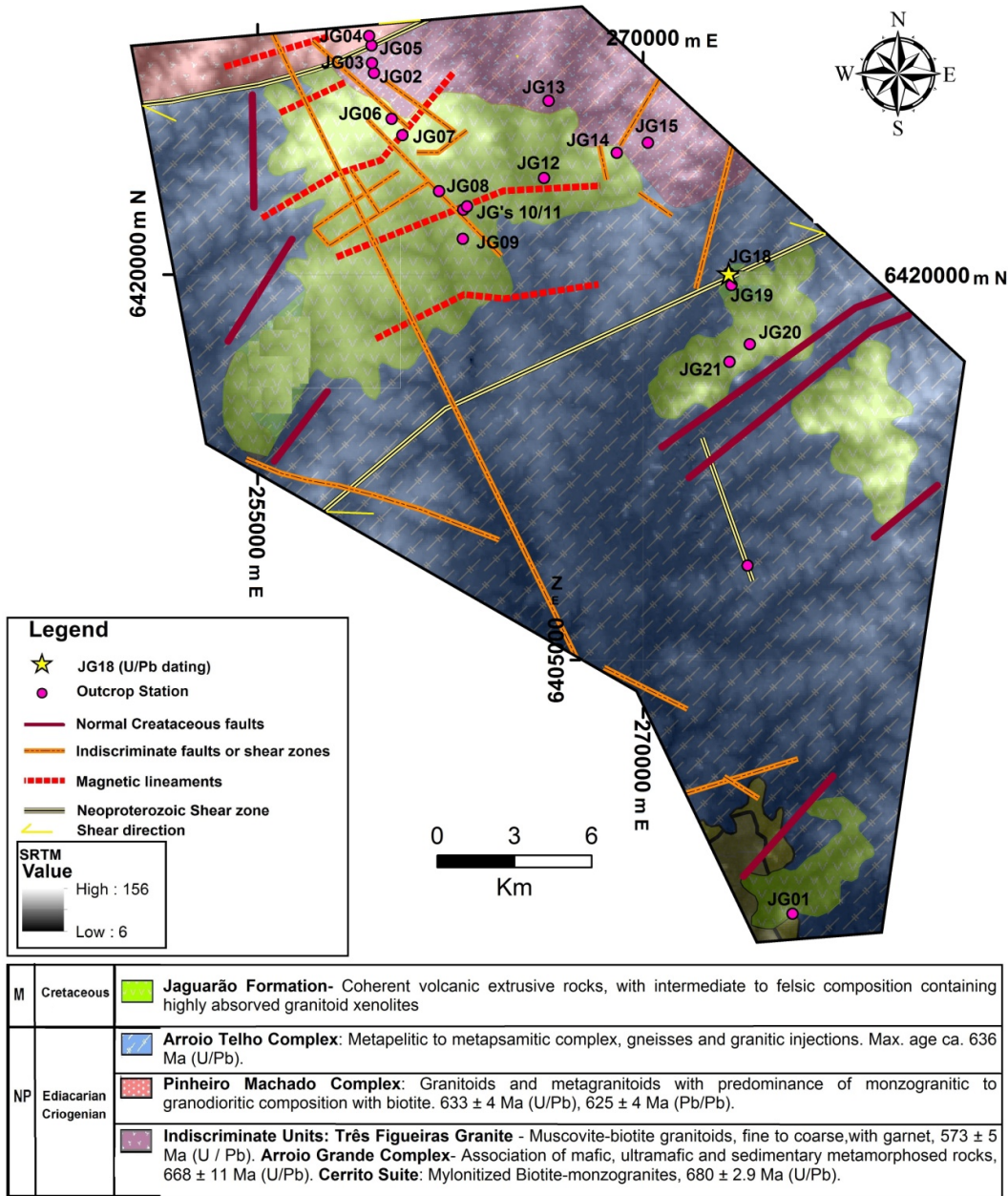


Figure 2. Simplified geological map (modified from Wildner et al. 2008; Comin-Chiaramonti et al. 2010; Iglesias et al. 2018, Cruz 2019) combined with MDT showing the field stations.

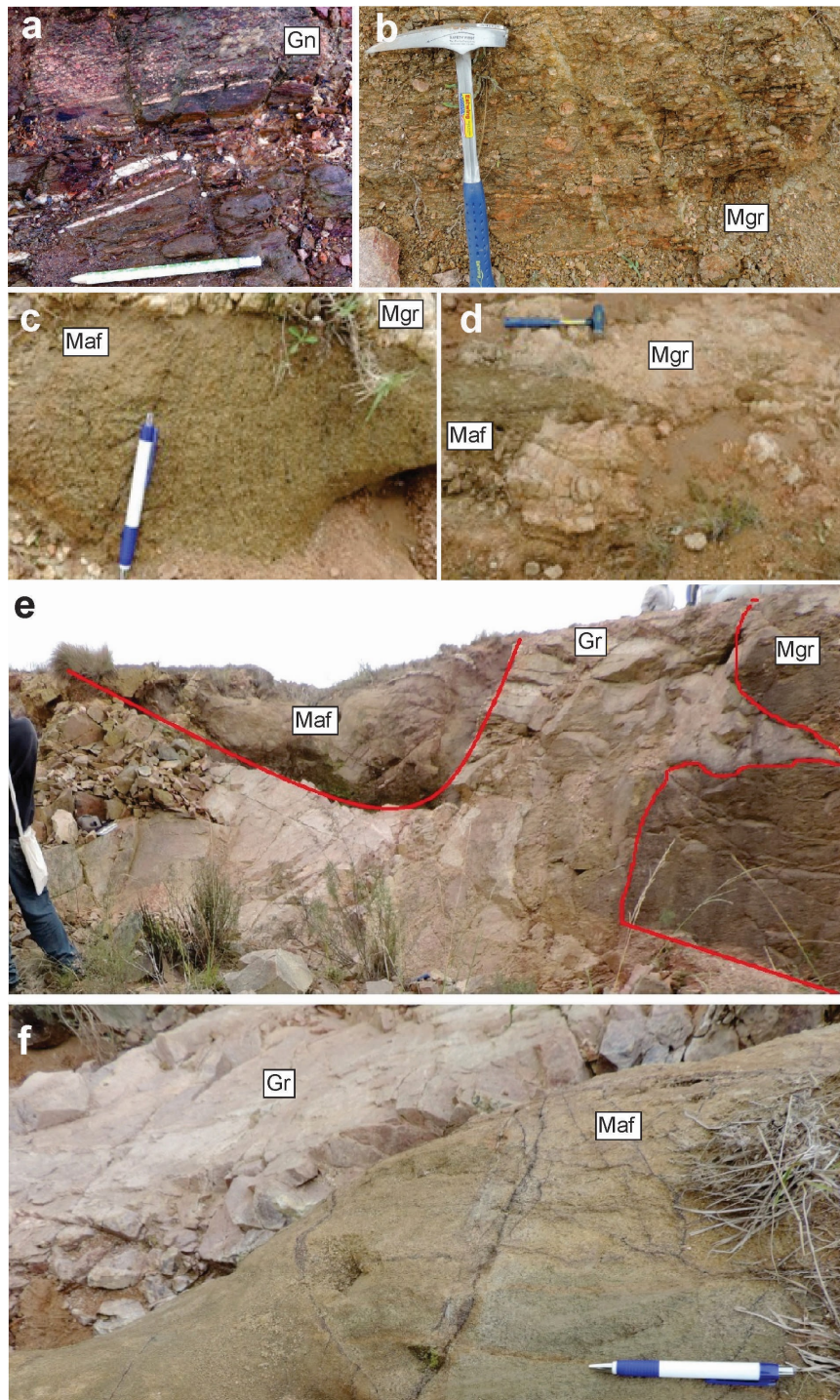


Figure 3. Most common basement rocks of the Jaguarão Formation in the studied area. a) quartz-feldspar gneiss exhibiting mylonitic microstructure and tight to isoclinal folding (station JG22); b) porphyritic metagranitoid with subvertical mylonitic microstructure (station JG04); c) and d) metric to decametric mafic xenoliths hosted by metagranitoid (station JG02); e and f) injections of late intrusive undeformed fine-

grained felsic granitoid crosscutting metagranitoid and decametric mafic xenolith (station JG05).

4.2 The Jaguarão Formation

The Jaguarão Formation occurs forming a flat landform and generally outcrops in terraces. The rocks have a dark bluish gray color and the main texture is porphyritic with aphanitic groundmass. When very close to or in contact with basement rocks, the lavas show a vitreous groundmass and are dark gray to black. The volcanic rocks of the Jaguarão Formation present dominance of curved vertical planar disjunctions, vertical and horizontal disjunctions (Fig. 4a, b). A distinctive feature of these lavas is the presence of abundant xenoliths, from millimeter to centimeter in size, of varied lithotypes such as gneiss (Fig. 4c), milky quartz (Fig. 4c,d,e) and fine-grained granite (Fig. 4f). Locally, it is possible to observe assimilation features.

In the field, the Jaguarão Formation show distinct facies. In the basal portions of the volcanism, it shows a high degree of crystallinity with a predominance of fine porphyritic texture and presence of millimetric vesicles and amygdules. Parallel planar vertical structures with pronounced curvature are a striking feature. Millimetric to centimetric xenoliths occur and are mainly constituted of quartz. In the middle part of the volcanic lavas, it seems that the presence xenoliths increases and they frequently show assimilation features and are surrounded by a ring of the volcanic aphanitic groundmass. The dominant xenoliths are represented by undeformed quartz-feldspar granitoids, varying from angular to rounded. In the highest topographic areas, it is common to find fine-grained dark gray to black rocks, very fine-grained or even with aphanitic texture, with very few millimetric vesicles and amygdules. It is worth noting the absence of visible xenoliths or presence very few tiny xenoliths. Near to basement contact, at one field station, the abundant presence of generally rounded fragments of aphanitic volcanic rocks with a fine texture (average of 30 cm) and obsidian fragments immersed in very fine volcanic and clay-rich material was found. The texture and composition suggest the fragments are possible autoliths.

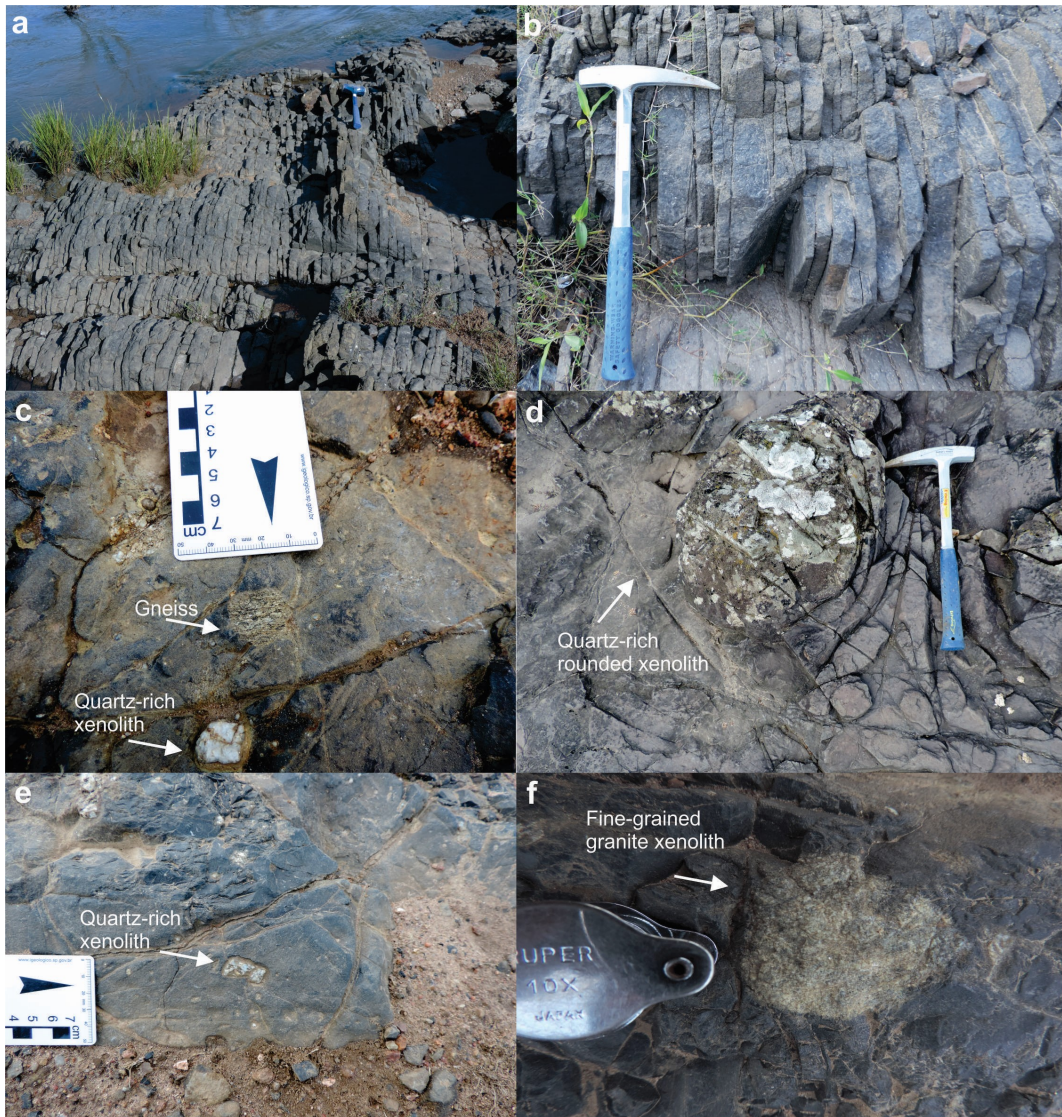


Figura 4- General aspects of outcrops and rocks from the Jaguarão Formation. Dark bluish-gray lavas showing curved vertical (a) and vertical planar (b) disjunctions. Abundant xenoliths, millimeter to a centimeter in size, of varied lithotypes such as (c) gneiss, (c, d, e) quartz-rich rock and (f) fine-grained granite.

The volcanic rocks of the Jaguarão Formation have a dominant porphyritic texture (Fig. 5a) with small local variations. A very fine porphyritic texture is common (Fig. 5b), with orthopyroxene and plagioclase phenocrysts immersed in a dark gray vitreous groundmass, or dark-grey aphanitic texture. Plagioclase xenocrysts (Fig. 5a)

and small autoliths (3 to 5mm) of the very fine porphyritic texture rock type occur. The autoliths are enclosed by the porphyritic texture rock type and show irregular boundaries (Fig. 5c,d).

The orthopyroxene phenocrysts are tabular, euhedral, and with dimensions between 0.3 mm and 0.1 mm (Fig. 5a). It also occurs in the groundmass as idiomorphic crystals, prismatic, and with dimensions averaging around 0.03 mm. SEM/EDS analyses suggest an intermediate composition with Mg ratio (Mg/Mg+Fe) between 0.50 to 0.60 and very low Ca.

The plagioclase phenocrysts are prismatic, euhedral, with dimensions between 0.5 mm and 0.25 mm (Fig. 5a). SEM/EDS analyses suggest an intermediate composition. Plagioclase also occurs as elongated microcrystals in the groundmass, showing acicular shapes, with average dimensions of 0.03 mm (Fig. 5b), in an intersertal texture. Plagioclase phenocrysts occur in equilibrium with orthopyroxene phenocrysts.

The groundmass is dark-gray representing between 25% and 30% of the volume of the rock, generally aphanitic. The aphanitic groundmass has a fine hypocrySTALLINE texture, represented partly by crystals and partly by the glass (Fig.5b).

The orientation of plagioclase and orthopyroxene phenocrysts and microphenocrysts has a dominant random orientation, but localized preferential orientation occurs with the development of trachytic texture.

The autoliths have a fine porphyritic texture and are generally elliptical in shape and elongated having irregular contacts with the surrounding material (Fig. 5c,d). Autoliths are composed of very small prismatic orthopyroxene and plagioclase phenocrysts in a vitreous groundmass.

Glomeroporphyritic texture composed mainly by orthopyroxene, plagioclase and minor ilmenite occurs in some volcanic layers (Fig. 5e). Orthopyroxene-rich glomerophyre with adcumulate texture also occurs (Fig. 5f). At the margins of the adcumulates, the large orthopyroxene crystals show absorption having a spongy texture. The spongy textured orthopyroxene is associated with larger amounts of anhedral plagioclase.

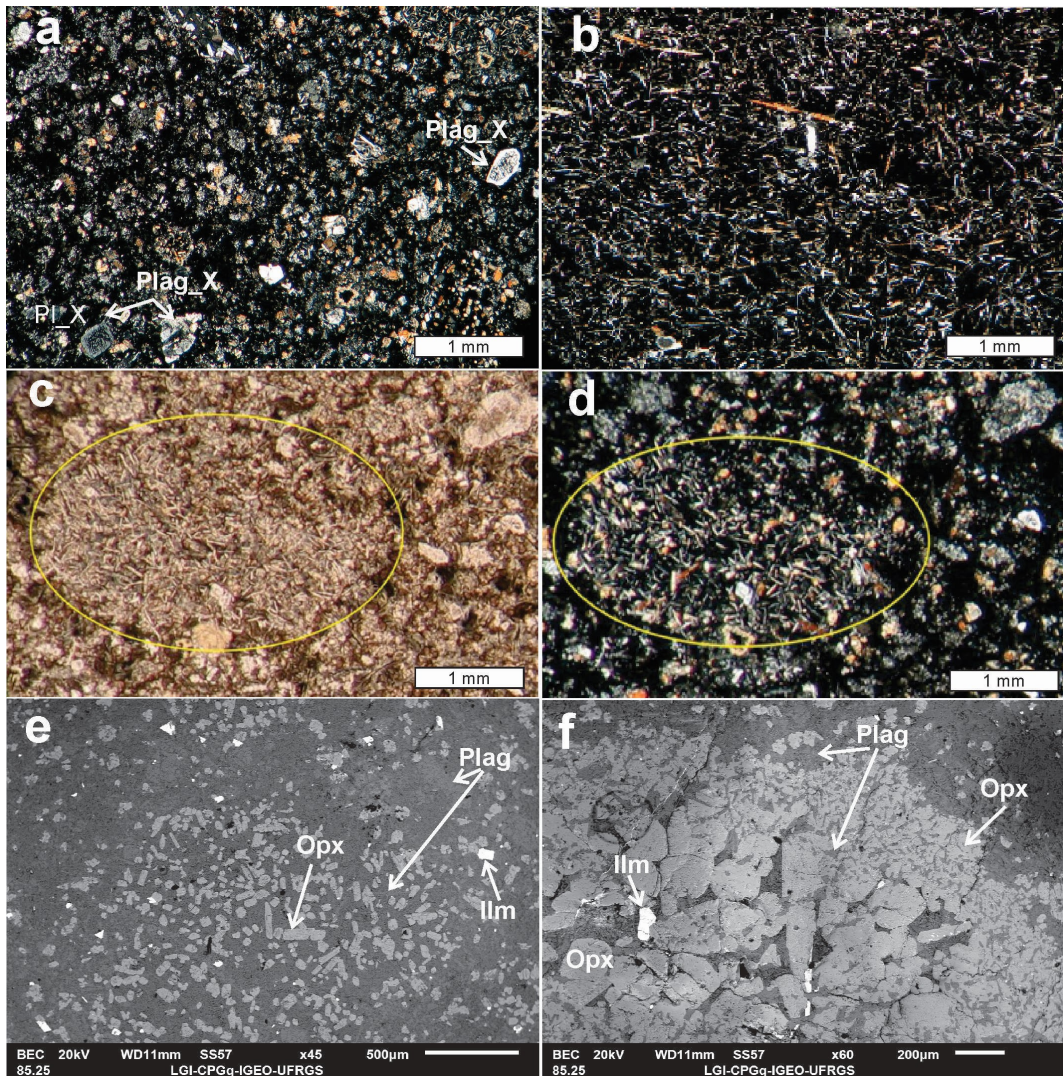


Figure 5. General petrographic features of the Jaguarão Formation volcanic rocks. Photomicrographs of the typical porphyritic texture (a) with plagioclase xenocrysts, fine-grained porphyritic texture (b) and fine-grained porphyritic autolith, with an elliptical shape and irregular boundaries (c, d), all composed of euhedral prismatic crystals of orthopyroxene and plagioclase immersed in a vitreous groundmass. Backscattering images of orthopyroxene, plagioclase and minor ilmenite glomerophyre (e) and orthopyroxene-rich glomerophyre showing accumulative texture (f) with spongy orthopyroxene in the outer margins. Plag_X = Plagioclase xenocryst; Plag = Plagioclase; Opx = Orthopyroxene; Ilm = Ilmenite

4.2.1 The xenoliths

The xenoliths are widely found in the Jaguarão Formation, varying from millimetric to centimetric fragments including distinct lithotypes such as milky quartz, quartz mylonite, quartz-feldspar granites, metagranites and gneisses. Schists are less common. The occurrence of larger xenoliths is more frequent in the vicinity of the contacts with the basement rocks whereas highly assimilated xenoliths and xenocrysts are more common in the middle part of the volcanic pile.

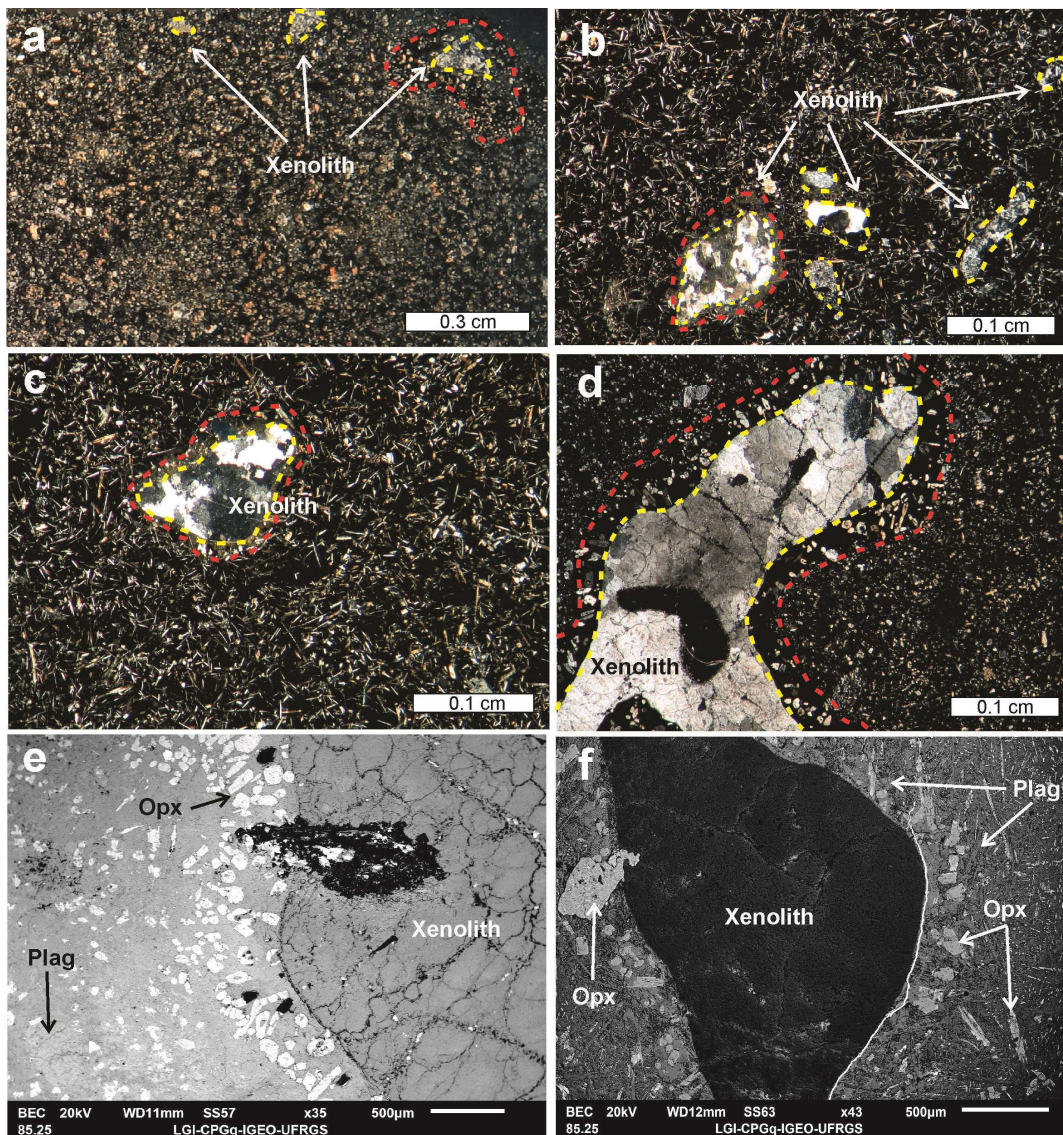


Figure 6. General petrographic features of the xenoliths of the Jaguarão Formation. Photomicrographs of the typical quartz-rich xenoliths (a, b, c, d) with lobed boundaries (highlighted by yellow dashed lines), partial absorption and reaction halos (outer limits highlighted by red dash lines). Backscattering images of the xenoliths showing the reaction halos (e,f) composed of more abundant and larger orthopyroxene phenocrysts associated with plagioclase immersed in a vitreous groundmass. Fractures filled with volcanic material (f) illustrate the assimilation process. Plag = Plagioclase; Opx = Orthopyroxene

Xenoliths with angular or rounded shapes composed of quartz aggregates are the most common (Fig. 6a,b,c,d). The quartz aggregates show strong undulating extinction (Fig. 6b,c,d). These xenoliths have well-defined boundaries and are surrounded by reaction halos where occur an increase, proportion and size, of orthopyroxene phenocrysts associated with plagioclase and vitreous groundmass (Fig.6e,f). Irregular fractures, interconnected and filled with volcanic material, occur showing partial assimilation (Fig. 6e).

Quartz-feldspar granites xenoliths also occur. They are represented by leucogranites with fine equigranular texture, with mafic minerals less than 1%. The leucogranite xenoliths are generally spherical to amoeboid in shape and show preserved boundaries with no clear pieces of evidence of assimilation. Metagranites and gneisses xenoliths are also frequently found. The xenoliths show well-developed foliation and bands composed by aligned K-feldspar and biotite aggregates, in discontinuous or dispersed areas. These xenoliths have irregular, diffuse and assimilated boundaries.

In lavas of the intermediate part of the volcanic pile, it is common to see less macroscopic xenoliths and high amount of xenocrysts. The most common xenocrysts are plagioclase that reaches up 0.8 mm in size and shows reaction boundaries (Fig. 5a). Zircons xenocrysts are also relatively common and exhibit distinct morphologies.

4.3 Zircon morphology and U-Pb dating

The petrographic characterization of the rocks of the Jaguarão Formation allowed the selection of a representative sample for U-Pb zircon dating. Sample JG18B was selected considering the absence of visible xenoliths. We aim to select a sample with zircon xenocrysts possibly related to deeper sources. The absence of visible xenoliths and the presence of only microxenoliths and xenocrysts suggest enough time and thermal conditions to almost complete assimilation of incorporated fragments.

The selected sample provided different populations of zircons. Figure 7 illustrates the most common types of zircon xenocrysts. Zircons crystals are euhedral to rounded in shape, ranging from 40 to 200 μm in size with an aspect ratio of 4:1 to 1:1. The euhedral crystals (Fig. 7 a,b,c,d) are translucent, vary from 25 to 80 μm and display length:width ratio of 4:1, with well-formed prisms and short bi-pyramided ends partially rounded (Fig.7a,d), which suggests grains from types P1 to P5 of Pupin (1980) zircon morphology scheme. Geminated zircons also occur (Fig.7c). The rounded populations display shorter aspect ratios (2:1 to 1:1), fractured grains and corroded edges (Fig. 7 e,fg,h). Rounded grains also show dissolution features (Fig. 7f,g), similar to those described by the xenoliths. The crystals are generally color less with some grains showing a matte appearance and include features as microfractures and porosity (Fig. 7e,f,g), inclusions and metamictic effects. Oscillatory zoning occurs (Fig. 7 c,d) mostly in euhedral grains, while the rounded grains tend to present patchy to sectorial zoning (Fig.7g).

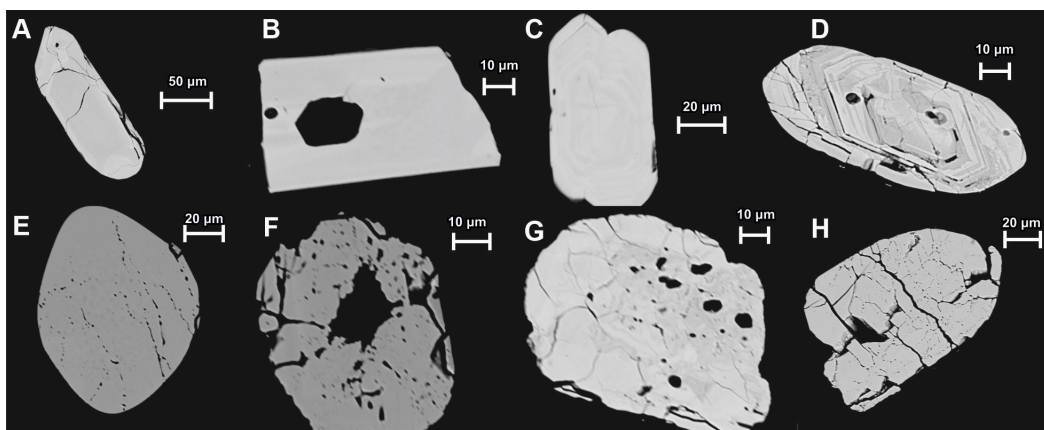


Figure 7. Backscattering images of the different types of zircon xenoliths.

Thirty-one U-Pb ages were obtained through LA-MC-ICP-MS. The results reveal ages between 2.02 to 0.53 Ga, with predominance of crystals with ages ranging 0.84 to 0.53Ga. Analyzed zircons have low U/Th values ranging from 0.03 to 1.21, where the average varies from 0.1 to 0.5. The ages have been calculated using IsoplotR package (Vermeesch et al., 2018), an R implementation from the classic Isoplot of Ludwig (2003). Figure 8 shows the distribution of the analyzed zircons along with the Concordia diagram and pizza diagram with the percentage of distinct age populations. Analyses with more than 10% of discordance between $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ were not included in the diagrams.

The most abundant population of ages was those between 680 to 620 Ma representing almost 50% of total analyzed zircons. Zircons with ages between 800 and 720 Ma and zircons with ages between 580 and 570 Ma represent each group circa 14% of total analyzed zircons. Paleoproterozoic zircons were only 6% while Mesoproterozoic ages were 8% of total analyzed zircons. Zircon population with ages younger than 530Ma was 11% of total analyzed zircons.

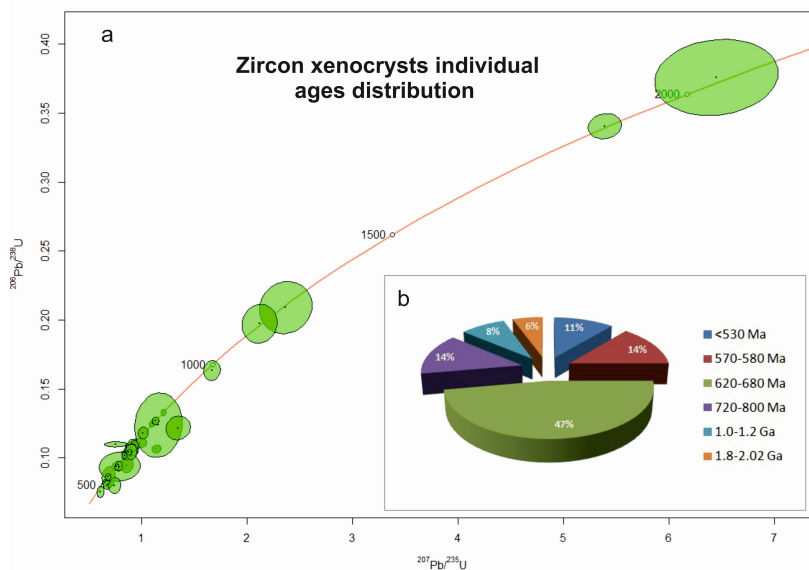


Figure 8. Concordia diagram (a) and a pizza diagram (b) showing the distribution of the analyzed xenocrysts zircons.

5. Discussion

The volcanic activity generating the Jaguarão Formation occurred during the initial stages of the Gondwana fragmentation under an extension regime, prior to the opening of the Atlantic Ocean, and possibly associated to reactivation of structures generated previously during the Brasiliano Cycle (Misuzaki, 1998; Comin-Chiaramonti et al., 2010). During this period, marginal basins were under development in the southeastern portion of the South American Platform, some of which with active magmatic sites. Vieira Jr. (1985) proposed the existence of a compatible relationship between the Jaguarão Formation and the Lagoa Mirim Basin, which represents a Rift-Valley with a northeasterly direction, located from the city of Lascano (Uruguay) to Jaguarão region (Brazil). At the Uruguayan area, alkaline magmatism associated with a tholeiitic volcanism occur, with basalts to rhyolites outcropping, but mostly covered by Cretaceous sediments with ages between 140 and 120 Ma (Umpierre and Halpern, 1971; Bossi and Uhrquart, 1975; Almeida, 1983).

The lavas of the Jaguarão Formation are stratoid dacites, interpreted to be coeval to the Paraná-Etendeka volcanism based on 139.6 ± 7.4 Ma Rb–Sr age (Comin-Chiaramonti, 2000) and lie directly on basement Proterozoic rocks. The patterns of horizontal and vertical flat disjunctions observed are similar to the center, top and bottom structures observed in stacks of basalts spills. Columnar disjunction systems prevail over horizontal patterns. The parallel flat vertical disjunctions commonly show pronounced curvature. The development of characteristic structures of basaltic rocks in the intermediate composition rocks of the Jaguarão Formation can be related to a high temperature magmatism that reduced the effects of viscosity in the system. In the sample here analyzed, no volcanic zircon were identified and the age of the volcanism were not possible to confirm.

The lavas have a maximum thickness of 40m in the central portions, with a gradual decrease towards their margins (Iglesias, 2018). The Jaguarão volcanic rocks are characterized by enclosing lots of different types of milimetric to centrimetric xenoliths (Vieira Jr. 1985; Comin-Chiaramonti et al., 2010). Our field observations allowed the

identification of different volcanic facies regarding the distribution of xenoliths (types/sizes). The base-to-top distribution in the lithostratigraphy suggests the lavas, near the base and in direct contact of the basement, have incorporated large fragments of the local basement rocks. These lavas also include large autoliths. Lavas from the intermediate portion show several small xenoliths and some lavas have only microxenoliths and xenocrysts. The xenoliths from this level are variable in composition, but frequent comprise quartz-rich fragments. Evidences of assimilation are also common as revealed in our petrographic studies (eg. Fig. 5a. and 6a) and already reported in previous work (Comin-Chiaramonti et al., 2010). Additionally, some zircon crystals show dissolution features (eg. Fig. 7f,g). Features such as that suggest that this level of lavas was originated from magmas that had enough time to incorporate and assimilate fragments, perhaps suggesting an intermediate level magma chamber. The presence of glomeroporphyritic texture associated to these lavas with orthopyroxene adcumulates fragments reequilibrated in its margins corroborates to the idea of an intermediate level magmatic chamber with magma experiencing fractionation and assimilation previously to the volcanic eruption. To the top, the sequence generally has predominance of lavas with aphanitic texture, enriched in vitreous groundmass, and with only few millimetric vesicular horizons and very with few xenocrysts.

The basement of the Jaguarão Formation is represented by the Neoproterozoic granitoids from the Eastern Dom Feliciano Belt (Wildner 2008, Cruz 2019). In the studied area, the oldest granitoids are mylonitized biotite monzogranite from the Cerrito Suite (Cruz 2019), considered coeval to the Arroio Pedrado Gneisses (680 ± 2.9 Ma, U/Pb, Vieira et al. 2019) located to the north. Granitoids and metagranitoids with a predominance of monzogranitic to granodioritic composition with biotite from the Pinheiro Machado Complex occur in the northwestern part and the ages are constrained from 633 ± 4 Ma (U/Pb, Cruz 2019) to 625 ± 4 Ma (Pb/Pb, Phillip et al., 2002). Late leucogranites and muscovite-biotite granitoids also occur and were included in the TrêsFigueiras Granite unit with age constrained to 573 ± 5 Ma (U/Pb, Cruz 2019) similar to ages reported to the k-feldspar-rich Chasqueiro Granite, (574 ± 3 Ma Vieira et al. 2016) located to the north. Associated to the shear zones, occurs the Arroio Grande Complex comprising an association of mafic, ultramafic and

sedimentary metamorphosed rocks with maximum depositional age constrained to 668 ± 11 Ma (U/Pb, Cruz 2019) and interpreted as an ophiolite (Ramos 2014). A metapelitic to metapsamitic sequence, metamorphosed under amphibolites facies conditions, has also been characterized in the area and named as the Arroio Telho Complex, with maximum depositional age constrained to ca. 636 Ma (U/Pb, Cruz 2019). In the proximity of the Jaguarão Formation, basement rocks similar to those described for the Arroio Telho Complex (Fig. 3a), the Cerrito Suite or the Pinheiro Machado Complex (Fig. 3b,c,d,e) and the Três Figueiras Granite (Fig. 3e,f) were here described as well as mafic basement fragments (Fig. 3c,d,e), possibly related to the Arroio Grande Complex.

The kernel density plot (Fig. 9a) and the histogram plot (Fig. 9b) shows age distribution obtained for the Jaguarão Formation zircon xenocrysts and correlates them with the crystallization ages of the local basement units (Cruz et al., 2019, Vieira et al., 2016) and major granitoid intrusion events of the Eastern Dom Feliciano Belt. The low U/Th ratio (<0.5) agrees with igneous zircons origin (Kirkland et al., 2020), in particular with the ranges envisaged southern South America granitoids (Santos, 2003). Nd TDM ages of the Jaguarão lavas (Comin-Chiaramonti et al., 2010) and the Eastern Dom Feliciano Belt (Frantz and Botelho, 2000; Frantz et al., 2003, Cruz et al., 2019, Vieira et al., 2016) are shown in the blue- and black-dashed bars, respectively. The main zircon peak age agrees with the majority of the Neoproterozoic metagranitoid and granitoids of the Eastern Dom Feliciano Belt (Frantz and Botelho, 2000; Frantz et al., 2003, Cruz et al., 2019, Vieira et al., 2016), as illustrated by the brown-dashed bar in the kernel density plot (Fig. 9a). Tonian ages and a smaller contribution of Mesoproterozoic and Paleoproterozoic ages were also recognized.

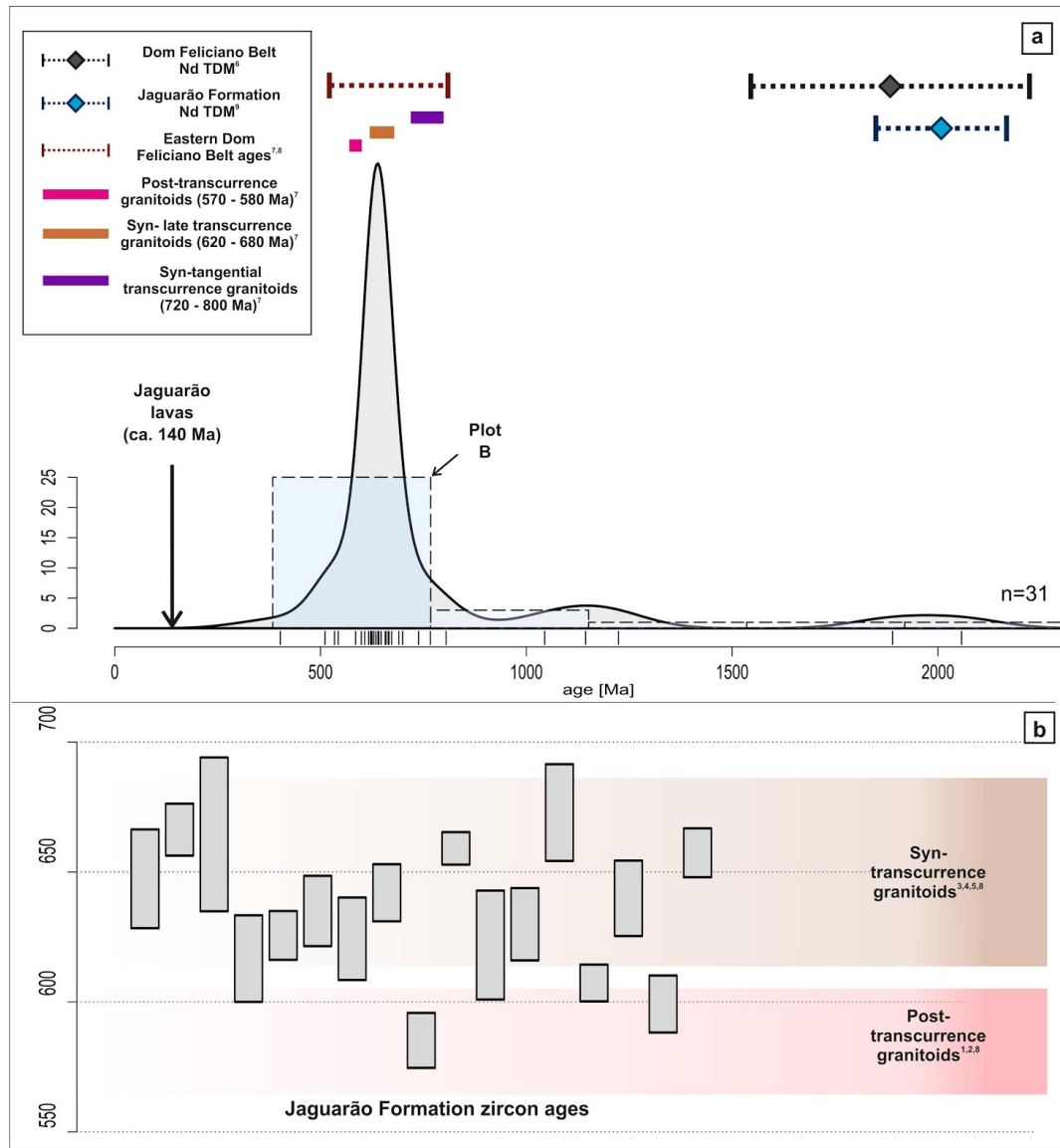


Figure 9– Kernel density estimator (KDE) and histogram plot (A) and weighted mean (B) for sample JG-18-BII. The plots incorporate the Dom Feliciano Belt ages, and data from post- to syn-transpressional granitoids, where: (1) Chasqueiro Granite (Vieira et al., 2016); (2)Três Figueiras Granite (Cruz, 2019); (3) Arroio Grande Complex (Cruz, 2019); (4) Cerrito Suite (Cruz, 2019); (5) Arroio Telho Complex (Cruz, 2019); (6); Dom Feliciano Belt Nd T_{dm} ages (7 and 8) Dom Feliciano Belt U-Pb ages (Frantz and Botelho, 2000; Frantz et al., 2003); (9) Jaguarão Nd T_{dm} ages (Comin-Chiaramoniti et al., 2010).

Our U-Pb zircon xenocrysts results reveal a predominance of ages ranging from 680 to 620 Ma representing circa 50% of total analyzed crystals with a subordinated group ranging from 580 to 570 Ma (Fig. 8, 9a). These ages are highly compatible with the local described basement rocks such as the mylonitized metagranitoids from the Cerrito Suite and granitoids from the Pinheiro Machado Complex and those from the Três Figueiras and Chasqueiro granites, respectively. The interval of 680 to 620 Ma are linked to the syn-transcurrence event that is largely documented in the syn-transcurrent granitoids of the Eastern Dom Feliciano belt (Frantz and Botelho 2000, Frantz et al., 2003, Vieira et al., 2020). The interval of 580 to 570 Ma, locally characterized by the Três Figueiras and Chasqueiro Granite (Vieira et al. 2016, Cruz, 2019), represents the acquiescence of the transcurrent movement and the intrusion of post-tectonic granitoids (Frantz and Botelho, 2000; Frantz et al., 2003; Vieira et al. 2020). The predominance of xenocrysts of these two periods of time and the extensive occurrence of rocks from that age outcropping in the area point out that the most xenoliths and preserved xenocrysts of the Jaguarão lavas come from shallow crustal levels.

The Paleoproterozoic TDM ages of the Jaguarão lavas were interpreted as a consequence of direct melting of Paleoproterozoic basement or from magma with extensive contamination (Comin-Chiaramonti et al., 2010). Our data showed just a few Paleoproterozoic xenocrysts suggesting that it would be more reasonable consider direct melting of a Paleoproterozoic basement then contamination considering the zircon xenocrysts are more compatible to Neoproterozoic Eastern Dom Feliciano rocks that outcrops in adjacent areas. Paleoproterozoic basement is well documented in the Sul-Riograndense Shield as basement inliers and is represented by the Encantadas terrane and Arroio dos Ratos suites with ages ranging from 2000 to 2250 Ma (Saalman et al., 2010).

The Mesoproterozoic ages in the Eastern Dom Feliciano Belt are not common and no unit has been recognized in adjacent areas so far. Rare Mesoproterozoic ages have already been reported in detrital zircons such as those of the Porongos Complex (Hofig et al. 2018) located at Dom Feliciano belt northwestern region. The presence of zircon xenocrysts with ages between 1.0-1.2 Ga suggests the possible presence of Mesoproterozoic rocks in the crust below the Jaguarão Formation.

The Jaguarão Formation has its genetic processes associated with high rates of crustal melting and where interpreted to have been fast transported through the crust, possibly in the early stages of the Gondwana breakup (Viera Jr., 1985; Comin-Chiaramonti et al., 2010). Our findings agree with previous work (Comin-Chiaramonti et al., 2010) that the lavas were probably formed directly by the fusion of a Paleoproterozoic basement. The lavas have enclosed lots of different types of millimetric to centimetric xenoliths. We have described large xenoliths with well-preserved margins mainly found in lavas from the bottom of the volcanic pile while lavas bearing xenoliths intensively assimilated, remaining only plagioclase and zircons xenocrysts, occur generally related to intermediate levels of the volcanic pile. Lavas with large assimilation of xenoliths also include a small number of orthopyroxene adcumulates reequilibrated in their margins. Our data suggest that more than one stage of contamination probably have occurred and figure 10 exhibit our ideas of the Jaguarão Formation magmatic evolution. We suggest that the magma was generated by the fusion of a Paleoproterozoic basement, as considered in previous work, and have, at least at some stages of the volcanic activity, experienced fractionation producing orthopyroxene adcumulates later incorporated as fragments in the lava. The fractionation possibly has occurred coevally to the assimilation of crustal fragments in a magma chamber in shallow crustal and the magma have also incorporated further fragments in their way through the surface considering the majority of the zircon xenocrysts have the same ages of the local outcropping basement rocks of the Dom Feliciano Belt.

The U/Pb dating of zircon xenocrysts worked as a proxy to assess the crust underlying the volcanism. Our results reveal that most zircon contribution was related to shallow basement rocks from the Dom Feliciano Belt, although a complex underlying terrain including Mesoproterozoic and Paleoproterozoic occur in subsurface considering there is no evidence of rocks in neighboring units.

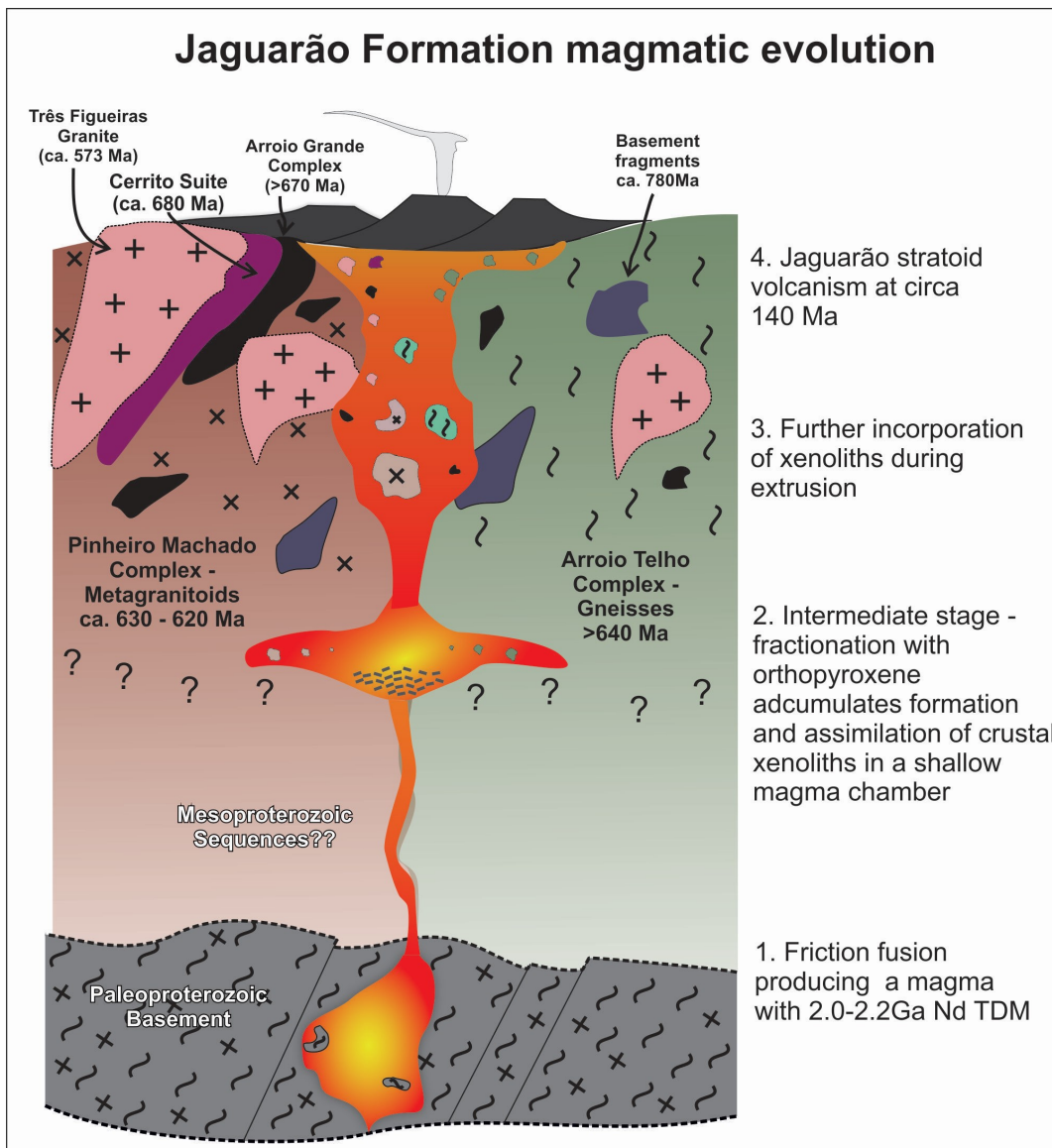


Figure 10. Jaguarão Formation magmatic evolution based on our data and data from previous work (Vieira Jr. 1985; Comin-Chiaramonti et al., 2010). Approximately ages from local basement rocks are from Silva et al (1999), Phillip et al. (2002), Vieira et al (2016), Iglesias et al (2018), Cruz (2019). Age of the Jaguarão Formation is from Comin-Chiaramonti (2000).

6. Conclusions

The Jaguarão Formation has its genetic processes associated with high rates of crustal melting and was interpreted to have been fast transported through the crust, possibly in the early stages of the Gondwana breakup (Viera Jr., 1985; Comin-Chiaramonti et al., 2010). The lavas have enclosed lots of different types of millimetric to centrimetric xenoliths. Lavas with xenoliths largely assimilated also include small amount of orthopyroxene adcumulates reequilibrated in their margins. Our data suggest that more than one stage of contamination have occurred. Magma is assumed to be generated by the fusion of a Paleoproterozoic basement, as suggested previously, however we propose it has experienced fractionation and assimilation in a magma chamber previously to extrusion. The presence of orthopyroxene adcumulate autoliths reequilibrated and the high degree of assimilation of xenoliths support this idea. The U/Pb dating of zircon xenocrysts worked as a proxy to assess the crust underlying the volcanism. A shallow crustal level for the magma chamber is suggested considering the majority of the zircon xenocrysts have similar ages to the local outcropping rocks of the Eastern Dom Feliciano Belt. Magma has also incorporated further fragments during extrusion phase as indicated by the presence of lavas with large xenoliths with sharp margins and lower degree of assimilation. Presence of 1.0 to 1.2 Ma xenocrysts in the lavas suggests Mesoproterozoic sequences in the crust underlying the Jaguarão Formation.

Acknowledgements

This work is part of the Master Dissertation of Vicente Medeiros Leivas Araújo. The authors gratefully acknowledge support from the Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Juliana C. Marques thanks to CNPq by the research fellow support (309519/2018-7).

References

Almeida, F.F., Hasui, Y. and de Brito Neves, B.B., 1976. The upper precambrian of South America. *Boletim IG*, 7, pp.45-80.

Almeida, R.P., Janikian, L., Fragoso-Cesar, A.R.S. and Marconato, A., 2009. Evolution of a rift basin dominated by subaerial deposits: The Guaritas Rift, Early Cambrian, Southern Brazil. *Sedimentary Geology*, 217(1-4), pp.30-51.

Babinski, M., Chemale Jr, F., Van Schmus, W.R., Hartmann, L.A. and Da 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), pp.263-274.

Basei, M.A., Peel, E., Bettucci, L.S., Preciozzi, F. and Nutman, A.P., 2011. The basement of the Punta del Este Terrane (Uruguay): an African Mesoproterozoic fragment at the eastern border of the South American Río de La Plata craton. *International Journal of Earth Sciences*, 100(2-3), pp.289-304.

Basei, M.A.S., Frimmel, H.E., Nutman, A.P., Preciozzi, F. and 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*, 139(3-4), pp.195-221.

Bitencourt, M.D.F. and Nardi, L.V.S., 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), pp.186-189

Bossi, J. and Gaucher, C., 2004. The Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay: an allochthonous block accreted in the Cambrian to SW-Gondwana. *Gondwana Research*, 7(3), pp.661-674.

Bossi, J. and Urquhart, U., 1975. MAGMATISMO MESOZOICO DE URUGUAY Y RIO GRANDE DEL SUR; SUS RECURSOS MINERALES ASOCIADOS Y POTENCIALES.

Bühn, B., Pimentel, M.M., Matteini, M. and Dantas, E.L., 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector

inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 81(1), pp.99-114.

Comin-Chiaramonti, P. and Gomes, C.B., 2005. *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. EdUSP.

Comin-Chiaramonti, P., Riccomini, C., Slejko, F., De Min, A., Ruberti, E. and Gomes, C.B., 2010. Cordierite-bearing lavas from Jaguarão, southern Brazil: petrological evidence for crustal melts during early rifting of Gondwana. *Gondwana Research*, 18(2-3), pp.514-527.

Cruz, R.F., 2019. Projeto sudeste do Rio Grande do sul: escalas 1: 250.000 e 1: 100.000; estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 173p.

Fragoso Cesar, A.R.S., 1986. O batolito Pelotas (Proterozoico superior/Eopaleozoico) no Escudo do Rio Grande do Sul. *Congr. Bras. De Geol. Anais, SBG*, 34, pp.1322-1343.

Frantz, J., McNaughton, N.J., Marques, J., Hartmann, L., Botelho, N.F. and Caravaca, G., 2003. Shrimp U-Pb zircon ages of granitoids from southernmost Brazil: constraints on the temporal evolution on the Dorsal do Canguçu transcurrent shear zone and the eastern Dom Feliciano Belt. In *IV South Amer. Symp. Isotope Geol.*

Frantz, J.C. and Botelho, N.F., 2000. Neoproterozoic granitic magmatism and evolution of the eastern Dom Feliciano Belt in southernmost Brazil: a tectonic model. *Gondwana Research*, 3(1), pp.7-19.

Gehrels, G., 2014. Detrital zircon U-Pb geochronology applied to tectonics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 42, pp.127-149.

Gregory, T.R., Bitencourt, M.F., and Nardi, L.V., 2011. Caracterização estrutural e petrológica de metatonalitos e metadioritos do Complexo Arroio dos Ratos na sua seção-tipo, região de Quitéria, RS. *Pesquisas em Geociências*, 38(1), pp.85-108.

Höfig, D.F., Marques, J.C., Basei, M.A.S., Giusti, R.O., Kohlrausch, C. and Frantz, J.C., 2018. Detrital zircon geochronology (U-Pb LA-ICP-MS) of syn-orogenic basins in SW Gondwana: New insights into the Cryogenian-Ediacaran of Porongos

Complex, Dom Feliciano Belt, southern Brazil. *Precambrian Research*, 306, pp.189-208.

Iglesias, C.M.D.F., Camozzato, E., Klein, C. and Laux, J.H., 2018. Geologia e recursos minerais da folha Curral de Pedras, SI. 22V-AI.

Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L. and Belousova, E.A., 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211(1-2), pp.47-69.

Kirkland, C.L., Smithies, R.H., Taylor, R.J.M., Evans, N. and McDonald, B., 2015. Zircon Th/U ratios in magmatic environs. *Lithos*, 212, pp.397-414.

Ludwig, K.R., 2003. Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center SpecialPublication*, 4, p.70.

Misuzaki, A., 1998. Rochas ígneas básicas do Neocomiano da Bacia de Campos: características e comportamento como reservatório de hidrocarbonetos.

Oriolo, S., Oyhantçabal, P., Basei, M.A., Wemmer, K. and Siegesmund, S., 2016. The Nico Pérez Terrane (Uruguay): From Archean crustal growth and connections with the Congo Craton to late Neoproterozoic accretion to the Río de la Plata Craton. *Precambrian Research*, 280, pp.147-160.

Oyhantçabal, P., Siegesmund, S. and Wemmer, K., 2011. The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, 100(2-3), pp.201-220.

Philipp, R.P. and Machado, R., 2002. Ocorrência e significado dos septos do embasamento encontrados nas suítes graníticas do Batólito Pelotas, RS, Brasil. *Pesquisas em Geociências. Porto Alegre, RS. Vol. 29, n. 1 (2002), p. 43-60.*

Philipp, R.P., Machado, R. and Chemale Jr, F., 2003. Reavaliação e novos dados geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: implicações petrogenéticas e idade de reativação das zonas de cisalhamento. *Geologia USP. Série Científica*, 3, pp.71-84.

Philipp, R.P., Nardi, L.V.S. and Machado, R., 1998. O Magmatismo Granítico Neoproterozóico tardi a pós-colisional da região de Porto Alegre, RS. *Contribuição ao estudo dos granitos e rochas correlatas*, pp.129-152.

Philipp, R.P., Pimentel, M.M. and Chemale Jr, F., 2016. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46, pp.83-104.

Pupin, J.P., 1980. Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73(3), pp.207-220.

Rosa, M.L.C.D.C., Tomazelli, L.J., Costa, A.F.U. and Barboza, E.G., 2009. Integração de métodos potenciais (gravimetria e magnetometria) na caracterização do embasamento da região sudoeste da Bacia de Pelotas, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27(4), pp.641-657.

Saalmann, K., Gerdes, A., Lahaye, Y., Hartmann, L.A., Remus, M.V.D. and Läufer, A., 2011. 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*, 100(2-3), pp.355-378.

Silva, L.C., Hartmann, L.A., Mcnaughton, N.J. and Fletcher, I.R., 1999. SHRIMP U/Pb zircon dating of Neoproterozoic granitic magmatism and collision in the Pelotas Batholith, southernmost Brazil. *International Geology Review*, 41(6), pp.531-551.

Stacey, J.T. and Kramers, 1., 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and planetary science letters*, 26(2), pp.207-221.

Umpierre, M. and Halpern, M., 1971. Edades Sr–Rb del Sur de la República Oriental del Uruguay. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 26, pp.133-155.

Vermeesch, P., 2018. IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology. *GeoscienceFrontiers*, 9(5), pp.1479-1493.

Vieira Jr, N., 1985. *Petrologia e geoquímica do vulcanismo Mesozóico de Jaguarão—RS* (Doctoral dissertation, Msdissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil).

Vieira Jr., N. and Roisenberg, A., 1987. Formação Jaguarão: uma nova unidade vulcânica mesozóica no Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 19(19), pp.81-94.

Vieira, D.T., Koester, E. and Bertotti, A.L., 2016. Petrologia do Granito Chasqueiro, região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. *Brazilian Journal of Geology*, 46(1), pp.79-108.

Youden, W.J., 1951. Statistical methods for chemists, *Journal of the Royal Statistical* (New York, Wiley)

Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R.D.C. and Iglesias, C.M.D.F., 2008. Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul: CPRM, 2008. 1 DVD. Escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil; Mapas Geológicos Estaduais

Ramos, R.C., 2018. Evolução petrogenética e geotectônica do Ofiolito Arroio Grande, SE do Cinturão Dom Feliciano (Brasil). Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. 213 f.

Vieira, D.T., Koester, E., Ramos, R.C. and Porcher, C.C., 2019. Sr-Nd-Hf isotopic constraints and U-Pb geochronology of the Arroio Pedrado Gneisses, Dom Feliciano Belt, Brazil: A 680 Ma shoshonitic event in the final stages of The Piratini Arc evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, 95, p.102294.

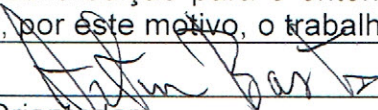
Supplementary_1

Sample	f(206)%	Th/U	6/4 ratio	7/6 ratio	1s(%)	7/5 ratio	1s(%)	6/8 ratio	1s(%)	Rho	7/6 age	1s(Ma)	7/5 age	1s(Ma)	6/8 age	1s(Ma)	Conc (%)
JG1882_01	0.59	0.15	3021	0.06587	1.4	0.8619	2.8	0.09490	2.4	0.86	802.2	29.5	631.1	13.1	584.4	13.5	72.86
JG1882_02	0.21	0.21	8300	0.06192	0.4	0.8037	0.8	0.09413	0.7	0.82	671.5	9.5	598.9	3.8	579.9	4.0	86.36
JG1882_03	0.02	0.27	76486	0.06390	0.6	1.0996	0.9	0.12482	0.7	0.69	738.2	13.6	753.2	5.0	758.2	4.9	102.71
JG1882_04	0.02	0.62	77320	0.06123	2.4	0.9098	2.8	0.10776	1.5	0.78	647.4	51.2	656.9	13.7	659.7	9.7	101.89
JG1882_05	0.06	0.79	31471	0.06177	0.6	0.9521	1.0	0.11179	0.8	0.75	666.3	13.8	679.2	5.0	683.1	5.1	102.53
JG1882_06	0.45	0.43	3899	0.06172	0.8	0.9119	2.5	0.10715	2.4	0.95	664.5	16.3	658.1	12.3	656.2	15.1	98.74
JG1882_07	0.63	0.63	2782	0.06470	2.3	0.9883	2.6	0.11078	1.2	0.46	764.7	47.5	697.9	12.9	677.3	7.9	88.57
JG1882_08	0.03	0.93	61637	0.06037	2.9	0.7840	3.3	0.09420	1.5	0.71	616.7	63.6	587.8	14.8	580.3	8.5	94.10
JG1882_09	0.19	0.10	9306	0.05811	0.9	0.6905	3.7	0.08618	3.6	0.97	534.0	20.1	533.1	15.4	532.9	18.4	99.80
JG1882_10	0.21	0.69	8473	0.04991	5.7	0.7565	5.7	0.10994	0.7	0.12	190.7	131.7	572.0	25.0	672.4	4.7	352.55
JG1882_11	8.35	0.29	218	0.06548	123.5	0.4674	125.7	0.05177	23.4	0.19	789.9	2590.9	389.4	406.4	325.4	74.3	41.19
JG1882_12	0.02	0.92	94614	0.06062	2.7	0.8667	2.8	0.10370	0.8	0.47	625.6	57.4	633.8	13.1	636.1	4.8	101.67
JG1882_13	0.01	0.12	159983	0.06596	0.4	1.2108	0.8	0.13314	0.7	0.84	805.0	8.3	805.6	4.4	805.7	5.1	100.09
JG1882_14	0.02	0.82	104826	0.05835	0.9	0.6587	1.6	0.08187	1.3	0.83	543.0	18.7	513.8	6.3	507.3	6.4	93.43
JG1882_15	0.02	0.25	84240	0.07412	0.7	1.6699	1.9	0.16340	1.8	0.93	1044.7	14.3	997.1	12.1	975.6	16.0	93.39
JG1882_16	0.1	1.07	18234	0.0614	8.9	0.7941	10	0.0938	4.6	0.72	653.4	190.2	593.5	44.8	578	25.3	88.45
JG1882_17	0.01	0.31	123895	0.05475	3.2	0.5064	14.2	0.06709	13.8	0.97	402.2	70.7	416.1	48.4	418.6	56.0	104.08
JG1882_18	0.03	0.77	68946	0.07777	1.0	1.1430	1.5	0.10659	1.1	0.74	1141.0	19.5	773.9	8.1	652.9	7.0	57.22
JG1882_19	0.02	0.49	73542	0.06088	1.0	0.8805	1.5	0.10489	1.1	0.74	635.0	21.3	641.2	7.1	643.0	6.9	101.27
JG1882_20	0.08	0.33	21431	0.06058	0.8	0.7870	1.6	0.09423	1.5	0.96	624.3	16.7	589.5	7.4	580.5	8.1	92.98
JG1882_21	0.01	0.45	206994	0.06108	0.4	0.8935	1.0	0.10610	0.9	0.92	642.0	7.9	648.3	4.7	650.1	5.6	101.25
JG1882_22	0.02	0.10	71777	0.05949	0.5	0.7664	1.1	0.09343	1.0	0.88	585.2	10.8	577.7	4.9	575.8	5.4	98.39
JG1882_23	0.54	0.69	3263	0.06333	1.4	0.9224	2.1	0.10563	1.5	0.70	719.5	30.7	663.6	10.0	647.3	9.0	89.97
JG1882_24	0.00	0.08	635810	0.06157	0.3	0.9438	0.6	0.11119	0.5	0.86	659.1	7.4	674.9	3.0	679.6	3.2	103.13
JG1882_25	0.05	0.65	33916	0.05751	1.0	0.6849	1.5	0.08638	1.1	0.71	511.0	23.0	529.7	6.2	534.1	5.6	104.51
JG1882_26	0.01	0.31	142939	0.06051	0.7	0.8779	1.9	0.10523	1.7	0.93	621.9	15.1	639.9	8.9	645.0	10.7	103.72
JG1882_27	0.01	0.29	145255	0.06800	1.6	1.1609	7.9	0.12383	7.7	0.98	868.4	33.7	782.4	43.0	752.6	54.7	86.66
JG1882_28	0.02	1.21	107426	0.06074	1.3	0.8522	1.8	0.10176	1.2	0.86	629.9	27.8	625.8	8.2	624.7	7.1	99.18
JG1882_29	0.13	0.15	13502	0.06092	1.7	0.6767	2.3	0.08057	1.6	0.70	636.3	35.5	524.8	9.5	499.5	7.9	78.50
JG1882_30	0.01	0.09	221322	0.06196	0.7	0.9327	1.6	0.10916	1.5	0.91	672.9	14.0	669.0	8.0	667.9	9.5	99.26
JG1882_31	0.01	0.53	118870	0.11479	0.6	5.3911	1.2	0.34062	1.1	0.86	1876.6	11.0	1883.4	10.5	1889.6	17.4	100.69
JG1882_32	0.01	0.33	157889	0.08212	2.2	2.3674	4.3	0.20908	3.7	0.96	1248.5	43.8	1232.8	30.9	1223.9	41.3	98.03
JG1882_33	0.02	0.39	96753	0.07789	1.4	2.1195	3.2	0.19735	2.9	0.90	1144.1	27.5	1155.2	22.0	1161.1	30.6	101.48
JG1882_34	0.02	0.25	70058	0.06477	0.7	1.1342	1.1	0.12700	0.9	0.80	766.9	14.0	769.7	6.2	770.7	6.8	100.50
JG1882_35	0.02	0.38	78023	0.06010	0.7	0.8365	1.0	0.10094	0.6	0.58	607.3	16.1	617.2	4.5	619.9	3.6	102.08
JG1882_36	0.03	0.54	69652	0.06102	1.8	0.9009	2.1	0.10708	1.2	0.78	639.9	38.4	652.2	10.3	655.8	7.4	102.48
JG1882_37	0.19	0.57	9207	0.06773	0.3	0.7473	3.1	0.08002	3.0	1.00	860.4	6.2	566.7	13.3	496.2	14.6	57.67
JG1882_38	1.03	0.33	1698	0.08035	2.0	1.3488	3.5	0.12175	2.9	0.81	1205.6	40.2	867.1	20.5	740.6	20.0	61.43
JG1882_39	0.00	0.03	503662	0.12440	2.2	6.4491	3.7	0.37599	3.0	0.80	2020.3	39.5	2039.0	32.6	2057.5	52.2	101.84
JG1882_40	0.00	0.10	468060	0.06247	1.1	1.0175	1.9	0.11813	1.5	0.93	690.4	24.4	712.7	9.6	719.8	10.2	104.26
JG1882_41	0.03	0.46	53111	0.06274	1.0	0.9035	2.4	0.10445	2.2	0.90	699.4	22.0	653.6	11.6	640.4	13.2	91.57
JG1882_42	0.02	0.19	94402	0.05988	0.8	0.8402	1.2	0.10176	0.9	0.74	599.2	17.3	619.2	5.7	624.7	5.6	104.25
JG1882_43	0.09	0.10	20387	0.05899	0.6	0.6133	2.2	0.07541	2.2	0.97	566.6	12.4	485.6	8.6	468.6	9.7	82.71
JG1882_44	0.01	0.57	239467	0.06152	0.7	0.8848	1.1	0.10431	0.8	0.86	657.4	15.9	643.6	5.1	639.6	4.8	97.30

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“DATAÇÃO U-PB EM XENOCRISTAIS DE ZIRCÃO COMO PROXY PARA AVALIAÇÃO DA ASSIMILAÇÃO VULCÂNICA E CROSTA SUBJACENTE, FORMAÇÃO JAGUARÃO, CRETÁCEO, RS-BRASIL”
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: Vicente Medeiros Leivas Araújo
Orientadora: Profa. Dra. Juliana Charão Marques
Examinador: Prof. Dr. Artur Cezar Bastos Neto
Data: 25 de janeiro de 2021
Conceito: A (excelente)
PARECER:
<p>A dissertação de mestrado está adequadamente organizada conforme as normas do PPGGEO, contendo um texto integrador com uma introdução ao tema, a formulação do problema e a hipótese, os objetivos do trabalho, o estado da arte e a apresentação dos materiais e métodos empregados, e um artigo submetido ao periódico Brazilian Journal of Geology de nível A3 na classificação da CAPES. A formulação do problema e a hipótese, apresentada como se fosse restrita à simples identificação de qual das duas idades esperadas seria constatada nos zircões da Formação Jaguarão, não faz jus à importância do trabalho. No item objetivos, o autor confunde objetivos com métodos e metas e simplifica por demais o alcance e importância do trabalho ao afirmar que o objetivo central é a aquisição de dados de campo, petrográficos e geocronológicos de zircões formados e contidos na Formação Jaguarão com aplicação do método de U/Pb através de LA-MC-ICP-MS”, quando seu objetivo geral é, em realidade, importante e bem definido, sendo, através do estudo dos zircões, aperfeiçoar os modelos propostos para a origem e evolução da Formação Jaguarão. Neste sentido, apesar dos problemas de redação, podemos dizer que o trabalho alcançou os objetivos propostos. Continuando a avaliação do capítulo introdutório, seguem-se as apresentações do estado da arte e dos materiais e métodos. Em ambas, embora a leitura seja facilitada pelo estilo direto, há muitos pequenos erros, alguns não aceitáveis num trabalho de geocronologia, como, por exemplo, o autor não distinguir entre arqueano (adjetivo) de Arqueano (substantivo) e escrever Proterozoico e outras eras com acento (suprimido há quase duas décadas). Por outro lado, são devidamente fornecidas as informações necessárias para o entendimento do contexto geológico envolvido no trabalho e as informações técnicas necessárias no que tange aos métodos empregados, seja no campo, para o reconhecimento das fácies da Formação Jaguarão amostradas e sua importância para o trabalho, seja nos trabalhos de gabinete e laboratório. Quanto à forma, o artigo é conciso, tem ilustrações ótima qualidade e alguns problemas na redação em inglês que exigirão revisão. Dois pontos fortes e interessantes do artigo são as descrições das fácies vulcânicas da Formação Jaguarão e das</p>

características morfológicas dos zircões, ambas apoiadas por boas ilustrações, que auxiliam o autor em demonstrar como estes dados foram importantes para a definição dos critérios empregados para seleção das amostras a serem estudadas. A discussão no artigo carece de mais comparações com outros casos da literatura mas, independentemente deste aspecto, as interpretações são coerentes com os dados apresentados. Os resultados obtidos permitem aperfeiçoar o modelo evolutivo até então adotado, o qual liga a origem da Formação Jaguarão a processos genéticos associados a altas taxas de fusão da crosta e a um transporte rápido através da crosta, possivelmente nos estágios iniciais da quebra do Gondwana (Viera Jr., 1985; Comin-Chiaramonti et al., 2010). O trabalho avaliado sugere que ocorreu mais de um estágio de contaminação e presume que o magma tenha sido gerado pela fusão de um embasamento paleoproterozoico que sofreu fracionamento e assimilação em uma câmara de magma antes da extrusão. O autor baseia-se na presença de autólitos acumulados de ortopiroxênios reequilibrados e no alto grau de assimilação dos xenólitos. A datação U/Pb de xenocristais de zircão funcionou como um proxy para avaliar a crosta subjacente ao vulcanismo, levando a sugerir um nível crustal raso para a câmara magmática, considerando que a maioria dos xenocristais de zircão tem idades semelhantes às rochas aflorantes nesta parte do Cinturão Dom Feliciano Oriental. O magma também incorporou outros fragmentos durante a fase de extrusão, conforme indicado pela presença de lavas com grandes xenólitos com margens nítidas e menor grau de assimilação. A presença de xenocristais de 1,0 a 1,2 Ma nas lavas sugere sequências mesoproterozoicas na crosta subjacente à área de ocorrência da Formação Jaguarão. Em síntese, a dissertação apresenta muitos pequenos problemas, mas estes não interferem no resultado final do trabalho. Após uma revisão detalhada, o artigo no qual se centraliza esta dissertação representará uma importante contribuição para o entendimento da origem e evolução da Formação Jaguarão e, por este motivo, o trabalho recebe conceito A excelente.

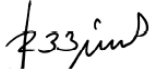
Assinatura:



Data: 25 de janeiro de 2021

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I	
Título da Dissertação/Tese:	
“DATAÇÃO U-PB EM XENOCRISTAIS DE ZIRCÃO COMO PROXY PARA AVALIAÇÃO DA ASSIMILAÇÃO VULCÂNICA E CROSTA SUBJACENTE, FORMAÇÃO JAGUARÃO, CRETÁCEO, RS-BRASIL”	
Área de Concentração: Geoquímica	
Autor: Vicente Medeiros Leivas Araújo	
Orientadora: Profa. Dra. Juliana Charão Marques	
Examinadora: Dra. Raquel Barros Binotto	
Data: 15/12/2020	
Conceito: B	
PARECER:	
<p>Neste estudo o autor foca em estudos geocronológicos relacionados à Formação Jaguarão e xenólitos associados, com apoio de dados de campo, análises petrográficas e bibliografia preexistente da região para testar hipóteses relacionadas à gênese destas rochas. De forma geral, o texto apresenta uma linha de raciocínio clara e lógica, com adequada relação entre o conteúdo e o volume de texto apresentados. São observados alguns erros na ortografia e gramática na parte escrita, mas que não prejudicam o entendimento do texto como um todo. Com relação à estrutura da Dissertação, o título escolhido reflete o trabalho executado e o resumo espelha o conteúdo da Dissertação ora avaliada. Na introdução é possível identificar as hipóteses de trabalho e os objetivos da Dissertação. A revisão da literatura fundamenta teórica e empiricamente o estudo realizado, contextualizando o estado da arte da área estudada e dos métodos empregados. As referências bibliográficas estão adequadas ao estágio atual do conhecimento geológico da região e aos métodos/técnicas utilizados. A descrição da metodologia utilizada é apresentada de forma objetiva, permitindo uma visão clara das etapas decorridas ao longo da obtenção, tratamento e interpretação dos dados. Considero que os resultados obtidos, apresentados no formato de um artigo técnico encaminhado ao <i>Brazilian Journal of Geology</i>, sintetizam todo o estudo desenvolvido e demonstram a potencialidade do aluno e da pesquisa desenvolvida. Os resultados estão apresentados com clareza, objetividade e são suficientes para o atendimento dos objetivos da Dissertação e para respaldar as conclusões. Enriquecedora é a forma de abordagem dos resultados analisados a luz do conhecimento atual, permitindo ao leitor vislumbrar a evolução do conhecimento sobre o tema e região.</p>	
Assinatura: 	Data: 15/12/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“DATAÇÃO U-PB EM XENOCRISTAIS DE ZIRCÃO COMO PROXY PARA AVALIAÇÃO DA ASSIMILAÇÃO VULCÂNICA E CROSTA SUBJACENTE, FORMAÇÃO JAGUARÃO, CRETÁCEO, RS-BRASIL”
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: Vicente Medeiros Leivas Araújo
Orientadora: Profa. Dra. Juliana Charão Marques
Examinador: Dr. Daniel Triboli Vieira
Data: 08/12/2020
Conceito: B
PARECER:
<p>A presente dissertação de mestrado está estruturada em torno de um artigo submetido ao periódico Brazilian Journal of Geology. A sua organização compreende os seguintes capítulos:</p> <p><i>Capítulo I: Texto integrador: Introdução sobre o tema, formulação do problema e descrição do objetivo da pesquisa. É feita uma revisão do estado da arte. Os materiais e métodos utilizados são descritos seguido de informações sobre o contexto geológico. Por fim, todas as referências utilizadas para a formulação do texto integrador são listadas.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Este capítulo carece de uma revisão ortográfica e formatação. Há muitos erros ortográficos e de formatação que dificultam a leitura da dissertação; • Os quesitos formulação do problema e descrição do objetivo da pesquisa, são muito bem elencados pelo aluno o que deixa claro o principal objetivo da pesquisa e a metodologia empregada; • Em relação ao contexto geológico da região de estudo há uma carência na revisão bibliográfica a qual não aborda os recentes artigos que discutem a evolução geológica da área alvo da presente dissertação. A seguir é sugerido alguns desses artigos: <p>Beloni, M.S., Porcher, C.C., Koester, E., Ramos, R.C., Lana, C., Wegner, A.C. 2016. Caracterização U/Pb de zircão detrítico e geoquímica isotópica (Sm/Nd) em rocha-total dos xistos e quartzitos de Arroio Grande – RS. In: XLVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, Anais.</p> <p>Ramos, R.C., Koester, E., Porcher, C.C., 2017. Chemistry of chromites from Arroio Grande Ophiolite (Dom Feliciano Belt, Brazil) and their possible connection with the Nama Group (Namibia). Journal of South American Earth Sciences, 80, 192-206.</p>

Ramos, R.C., Koester, E., Vieira, D.T., Porcher, C.C., Gezatt, J.N., Silveira, R.L., 2018. Insights on the evolution of the Arroio Grande Ophiolite (Dom Feliciano Belt, Brazil) from Rb-Sr and SHRIMP U-Pb isotopic geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, 86, 38-53.

Ramos, R.C., Koester, E., Vieira, D.T. 2019. Plagioclase-hornblende geothermobarometry of metamafites from the Arroio Grande Ophiolite, Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 95, p. 102262.

Ramos, R.C., Koester, E., Vieira, D.T. 2020. Sm-Nd systematics of metaultramafic-mafic rocks from the Arroio Grande Ophiolite (Brazil): insights on the evolution of the South Adamastor paleo-ocean. *Geoscience Frontiers*.

Vieira, D.T., Koester, E., Ramos, R.C., Porcher, C.C., 2019. Sr-Nd-Hf isotopic constraints and U-Pb geochronology of the Arroio Pedrado Gneisses, Dom Feliciano Belt, Brazil: a 680 Ma shoshonitic event in the final stages of the Piratini Arc evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, 95, 102294.

Vieira, D.T., Porcher, C.C., Koester, E., Ramos, R.C., Masquelin, H., Gross, A.O.M.S., Fernandes, L.A.D., 2019. Metamorphic evolution of the Chafalote Suite, basement of the Punta del Este Terrane (Uruguay). *Journal of South American Earth Sciences*, 98, 102420.

Vieira, D.T. 2020. O Arco Piratini: Implicações na Evolução do Cinturão Dom Feliciano (Brasil/Uruguai). Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências. 149pp

Capítulo II: Artigo: Apresentado em forma de texto, como corpo principal da dissertação, o artigo que foi submetido ao periódico Brazilian Journal of Geology que dispõe de editores permanentes e revisores independentes, escrito pelo autor durante a elaboração de seu mestrado. Intitulado: "U-PB ZIRCON XENOCRYSTS DATING AS A PROXY TO ASSESS VOLCANIC ASSIMILATION AND THE UNDERLYING CRUST, CRETACEOUS JAGUARÃO FORMATION, RS-BRAZIL."

- Diferentemente do Capítulo I o Capítulo II, é melhor escrito e organizado sendo necessárias revisões pontuais na ortografia, nas referências e figuras onde algumas citações no artigo não aparecem nas referências e algumas figuras estão referenciadas como "Figure X" ou necessitam de ajustes na legenda como no caso da figura 3 onde não fica claro o significado das abreviações.
- **Quanto ao artigo proposto que compõe o corpo principal da dissertação o mesmo aborda as premissas e objetivos citados no Capítulo I, apresentando resultados inéditos que contribuem para o entendimento dos estágios finais de evolução da região estudada, o que torna de grande relevância a pesquisa realizada pelo autor.**

Para fins de acrescentar na pesquisa proposta algumas considerações e contribuições para o manuscrito são sugeridas

- 1) A geologia regional da área de estudo pode ser melhorada com o acréscimo das referências supracitadas nas considerações do Capítulo I e ao longo das considerações do Capítulo II. Essas referências podem ajudar o autor com o entendimento da evolução geológica da área de estudo e assim organizar de melhor forma esta seção do manuscrito.
- 2) Como um dos principais resultados da pesquisa é a datação e caracterização dos zircões, se faz necessário algumas imagens de catodoluminescência dos zircões em conjunto com as imagens *backscattering*, assim como as tabelas dos resultados ao longo do corpo do texto. Para fins de comparação com os zircões das rochas que compõem o embasamento regional uma discussão mais aprofundada desses dados corroboraria com as hipóteses sugeridas no manuscrito. Cabe salientar que há dados disponíveis na literatura recente de praticamente todo o embasamento da região

➤ Zircões de 2.0- 1.0 Ga

Ramos, R.C., Koester, E., Vieira, D.T., Porcher, C.C., Gezatt, J.N., Silveira, R.L., 2018. Insights on the evolution of the Arroio Grande Ophiolite (Dom Feliciano Belt, Brazil) from Rb-Sr and SHRIMP U-Pb isotopic geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, 86, 38-53.

Peel, E., Sánchez-Bettucci, L., Basei, M.A.S., 2018. Geology and geochronology of Paso del Dragón Complex (northeastern Uruguay): implications on the evolution of the Dom Feliciano Belt (Western Gondwana). *Journal of South American Earth Sciences*, 85, 250-262.

CRUZ, R.F. (Org.) 2019. Projeto Sudeste do Rio Grande do Sul: escalas 1:250.000 e 1:100.000; estado do Rio Grande do Sul/Relatório do Programa geologia, mineração e transformação mineral. CPRM, Porto Alegre

Vieira, D.T., Koester, E., Ramos, R. C., Porcher, C.C., Barbosa L.D.M., Bastos, V., Rodrigues, F., Horn. A.C., (2019a). Idade U-Pb paleoproterozoica (2,1 Ga) em metagabro no Domínio Leste do Cinturão Dom Feliciano, RS. In: XVII Simpósio 1035 Nacional de Estudos

➤ Zircões de 780 Ma

Tambara, G.B., Koester, E., Ramos, R.C., Porcher, C.C., Vieira, D.T., Lenz, C., Fernandes, L.A.D., 2019. Geoquímica e geocronologia dos Gnaisses Piratini: magmatismo cálcio-alcalino médio a alto-K de 784 Ma (U-Pb SHRIMP) no SE do Cinturão Dom Feliciano (RS, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, v. 46, n. 2: e0769

➤ Zircões de 680 Ma

Vieira, D.T., Koester, E., Ramos, R.C., Porcher, C.C., 2019. Sr-Nd-Hf isotopic constraints and U-Pb geochronology of the Arroio Pedrado Gneisses, Dom Feliciano Belt, Brazil: a 680 Ma shoshonitic event in the final stages of the Piratini Arc evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, 95, 102294.

➤ Zircões de 620 Ma

Loureiro, P. O., Koester, E., Weinberg, R. F., Lenz, C., Porcher, C. C., Ramos, R.

C., Pimentel, M. M. (2020). Recycling and hybridization of incremental episodes of magma intrusions: Pinheiro Machado Complex, Southeastern Dom Feliciano Belt, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 102922. doi:10.1016/j.jsames.2020.102922

➤ Zircões de 580- 560 Ga

Vieira, D.T., Koester, E., Bertotti, A.L., 2016b. Petrologia do granito Chasqueiro, região de Arroio grande, sudeste do Escudo sul-rio-grandense. *Braz. J. Geol.* 46, 79–108.

Klein, F.G., Koester, E., Vieira, D.T., Porcher, C.C., Ramos, R.C., Philipp, R.P., 2018. Geologia do Granito Três Figueiras: magmatismo peraluminoso de 585 Ma no sudeste do Cinturão Dom Feliciano. *Pesquisas em Geociências*, 45(2), e0665

CRUZ, R.F. (Org.) 2019. Projeto Sudeste do Rio Grande do Sul: escalas 1:250.000 e 1:100.000; estado do Rio Grande do Sul/Relatório do Programa geologia, mineração e transformação mineral. CPRM, Porto Alegre

DAL OLMO-BARBOSA, L., KOESTER, E., VIEIRA, D.T., PORCHER, C.C., GRINGS, D.C. 2020. Crystallization ages of the basic intrusive Ediacaran magmatism in the southeastern Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil: implications in the belt geodynamic evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, under review.

Wesllen Moraes Völz, Edinei Koester, Viter Magalhães Pinto, David Debruyne, Emanuélle Cardozo, Daniel Triboli Vieira, Laércio Dal Olmo-Barbosa, Vivianne Andrade Bastos, Geochemistry and U–Pb (SHRIMP) geochronology of Grupelli Granite: New constraints on the cessation of felsic magmatism in the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 103, 2020.

- 3) Quanto ao modelo de evolução proposto, conforme sugerido nos trabalhos recentes realizados na região de estudo, é sugerido que o embasamento local seja composto por uma associação de arco magmático (780-680 Ma) na qual ocorreria fragmentos de rochas paleoproterozoicas (2.0 Ga). Tal embasamento é sobreposto pelas rochas remanescentes do Terreno Punta del Este e ambas litologias retrabalhadas pela Suíte Magmática Pinheiro Machado e granitoides mais jovens. Uma integração do modelo proposto com os existentes na região tornaria o modelo mais robusto corroborando com a hipótese de nível crustal raso para a câmara magmática, considerando que a maioria dos xenocristais de zircão tem idades semelhantes às rochas aflorantes na região de estudo.

Ramos, R.C., Koester, E., Vieira, D.T., Porcher, C.C., Gezatt, J.N., Silveira, R.L., 2018. Insights on the evolution of the Arroio Grande Ophiolite (Dom Feliciano Belt, Brazil) from Rb-Sr and SHRIMP U-Pb isotopic geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, 86, 38-53.

Peel, E., Sánchez-Bettucci, L., Basei, M.A.S., 2018. Geology and geochronology of Paso del Dragón Complex (northeastern Uruguay): implications on the evolution of

the Dom Feliciano Belt (Western Gondwana). Journal of South American Earth Sciences, 85, 250-262.

Vieira, D.T. 2020. O Arco Piratini: Implicações na Evolução do Cinturão Dom Feliciano (Brasil/Uruguai). Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências. 149pp.

Assinatura: Daniel T. Vieira

Data: 08/12/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: