

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

**ISÓTOPOS DE Sr, Nd e Pb DOS GRANITOS DA  
REGIÃO DE PORTO ALEGRE, NE DO CINTURÃO DOM  
FELICIANO, RS**

Mariana da Silva Assis

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

Porto Alegre – 2020

---

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

**ISÓTOPOS DE Sr, Nd e Pb DOS GRANITOS DA  
REGIÃO DE PORTO ALEGRE, NE DO CINTURÃO DOM  
FELICIANO, RS**

Mariana da Silva Assis

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

BANCA EXAMINADORA

Prof<sup>a</sup>.Dr<sup>a</sup>. Anelise Losangela Bertotti

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof. Dr. Tiago Luis Reis Jalowitzki

Universidade de Brasília (UnB)

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

Porto Alegre – 2020

## FICHA CATALOGRAFICA

### CIP - Catalogação na Publicação

da Silva Assis, Mariana  
Isótopos de Sr, Nd e Pb dos granitos da região de  
Porto Alegre, NE do Cinturão dom Feliciano, RS /  
Mariana da Silva Assis. -- 2020.  
80 f.  
Orientador: Edinei Koester.

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

1. isótopos. 2. granitos. 3. Porto Alegre. I.  
Koester, Edinei, orient. II. Título.

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

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter nos dado o dom da vida e a possibilidade de, ao longo da minha caminhada geológica, aprender que a beleza está nas coisas mais simples. Aos meus pais Francisco e Maria, a minha irmã Michelli e às minhas sobrinhas Isabela e Gabriela que sem eles eu não teria a força e a alegria para continuar essa caminhada que por vezes pareceu ser impossível.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Edinei Koester, por aceitar me orientar, pela elaboração do projeto, toda sua disponibilidade, atenção e paciência comigo.

Agradeço ao Laboratório de Geologia Isotópica e ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo suporte e infraestrutura que me foi proporcionado para elaboração deste trabalho.

Agradeço em especial aos meus colegas do Laboratório de Geologia Isotópica, André, Felipe, Laércio e Gisela, pela ajuda e contribuições neste trabalho.

Agradeço às minhas amigas Fabiana, Fernanda, Flora e Mônica, pela nossa amizade de longa data, pelas conversas, cafés, viagens, praias e tantas outras ocasiões que vocês me propiciaram ao longo desta jornada, fica aqui minha gratidão por te-lâs na minha vida; ao meu presente geológico, Victor, tu foi meu ombro quando mais precisei, sem palavras para expressar o quanto tu é importante para mim....amo muito vocês.

Meu especial agradecimento ao Thiago Dias, mesmo que não mais presente em minha vida, você fez parte de um capítulo fundamental da minha construção profissional, intelectual, entre outros tantos que não cabe citar aqui...contigo vivi os momentos mais felizes da minha vida, obrigada por todos os ensinamentos, por todo zelo, paciência, carinho, amor e sorrisos que me proporcionou ao longo dos nossos 11 anos juntos.

Aos meus amigos, de fora desta Universidade, aos quais não citarei os nomes, pois são muitos...fica aqui meu especial agradecimento por nossa amizade, cada um de vocês tem um espaço especial na minha vida e neste trabalho.

## RESUMO

O Cinturão Dom Feliciano, localizado no sul do Brasil, é um cinturão móvel gerado no Neoproterozoico em resposta à colisão de três crátons: Kalahari, Congo e Rio de la Plata. No domínio oriental desse cinturão, em sua porção NE, a região de Porto Alegre é caracterizada pela presença de numerosos granitos neoproterozoicos com idade de cristalização de cerca de 600 Ma, que intrudiram o embasamento composto por gnaisses cálcio-alcálicos gerados durante um evento de subducção anterior. Neste trabalho, apresentamos novos dados isotópicos (Sr-Nd-Pb), que integrados com dados anteriores sugerem que a Suíte Intrusiva Viamão ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600\text{Ma})} = 0.708920-0.716871$ ;  $\epsilon\text{Nd}_{(600)} = -6.0$  to  $-6.7$ ;  $T_{\text{DM}} = 1.4-1.5$  Ga;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.20657-19.71906$ ) possui como fontes magmas mantélicos com assinatura isotópica do tipo DM, os quais interagiram com uma crosta paleoproterozoica com assinaturas similares às do Complexo Arroio dos Ratos. Para a Suíte Intrusiva Porto Alegre ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600\text{Ma})} = 0.709081-0.743773$ ;  $\epsilon\text{Nd}_{(600)} = -4.2$  to  $-8.3$ ;  $T_{\text{DM}} = 1.3-1.8$  Ga;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.89154-22.19739$ ) sugere-se como fontes um componente mantélico gerado a partir da fusão de uma placa oceânica reciclada (HIMU), em conjunto com uma crosta continental de idade toniana-criogeniana, similar ao Gnaiss Chácara das Pedras. Para a Suíte Intrusiva Itapuã ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600\text{Ma})} = 0.711615-0.873336$ ;  $\epsilon\text{Nd}_{(600)} = -1.6$  to  $-6.0$ ;  $T_{\text{DM}} = 1.2-1.6$  Ga;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.44917-22.20464$ ), um membro mantélico similar ao HIMU, porém com um componente de crosta distinto em relação a Suíte Intrusiva Porto Alegre, empobrecido em Nd. Todas essas rochas graníticas estão relacionadas a cenários pós-colisionais neoproterozoicos, onde eventos anteriores de subducção, assim como relictos de placa oceânica e componentes de DM produziram magmas derivados do manto, misturados com componentes da crosta. Esses processos levaram à extensa geração de granitos e à grande diversidade de granitos registrados na região NE do Cinturão Dom Feliciano ambiente semelhante ao proposto para a gênese de granitos associados à “Zona Quente Profunda”.

**Palavras-chave.** Cinturão Dom Feliciano, fontes magmáticas, HIMU, DM, zona quente profunda, Porto Alegre.

## ABSTRACT

The Dom Feliciano Belt, located in southern Brazil, is a mobile belt formed during the neoproterozoic, in response to the collision between three cratons: Kalahari, Congo and Rio de la Plata. In the eastern domain of this belt, more precisely in its NE portion, the Porto Alegre region is characterized by the presence of numerous neoproterozoic granites with crystallization ages of ca. 600 Ma, which intruded older calc-alkaline gneisses from the basement that was generated during a previous subduction event. In this work we present new isotopic data (Sr-Nd-Pb), which integrated with previous data suggest that the Viamão Intrusive Suite ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600\text{Ma})} = 0.708920\text{-}0.716871$ ;  $\epsilon\text{Nd}_{(600)} = -6.0$  to  $-6.7$ ;  $T_{\text{DM}} = 1.4\text{-}1.5$  Ga;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.20657\text{-}19.71906$ ) has magmatic sources with a depleted mantle DM signature, which interacted with a paleoproterozoic crust with isotopic signatures similar to the Arroio dos Ratos Complex. For the Porto Alegre Intrusive Suite, isotopic data ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600\text{Ma})} = 0.709081\text{-}0.743773$ ;  $\epsilon\text{Nd}_{(600)} = -4.2$  to  $-8.3$ ;  $T_{\text{DM}} = 1.3\text{-}1.8$  Ga;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.89154\text{-}22.19739$ ) suggest a source comprised by a mantle component originated by partial melting of a recycled oceanic plate HIMU and mixed with a continental crust of tonian-cryogenian age, similar to the Chacara das Pedras Gneiss. The Itapuã Intrusive Suite ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600\text{Ma})} = 0.711615\text{-}0.873336$ ;  $\epsilon\text{Nd}_{(600)} = -1.6$  to  $-6.0$ ;  $T_{\text{DM}} = 1.2\text{-}1.6$  Ga;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.44917\text{-}22.20464$ ) has a mantle source similar to HIMU, although with a crust component depleted in Nd when compared to the Porto Alegre Intrusive Suite. All these granitic rocks are related to Neoproterozoic post-collisional settings, where previous subduction events, as well as oceanic plates relicts and DM components produced mantle-derived magmas mixed with crustal components. This process led to the extensive granite generation and the wide diversity of granites registered in the NE sector of the Dom Feliciano Belt an environment similar to those proposed to the genesis of granites associated with a “Deep Hot Zone”.

**Keywords.** Dom Feliciano Belt, magmatic sources, HIMU, DM, Deep Hot Zone, Porto Alegre.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa do Escudo Sul-rio-grandense com as principais divisões geotectônicas, seus limites e a localização da área de estudo (retângulo tracejado) no contexto geológico.....	13
Figura 2. Balança analítica de alta precisão utilizada para pesagem das amostras de rocha total.....	16
Figura 3. Amostras em digestão na chapa elétrica. ....	16
Figura 4. Coluna cromatográfica para separação Rb-Sr e ETR's.....	18
Figura 5. Coluna cromatográfica para separação Sm-Nd. ....	18
Figura 6. Coluna cromatográfica para separação Pb-Pb. ....	19
Figura 7. Espectrômetro de massa multi-coletor por ionização térmica TIMS (TRITON) da Thermo Scientific. ....	22
Figura 8. Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira: o segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui o orógeno Dom Feliciano. Fonte: Heilbron <i>et al.</i> , 2004. ....	23
Figura 9. Mapa geológico simplificado da região de Porto Alegre com a localização das amostras estudadas, nordeste do Escudo Sul-rio-grandense, modificado de Oliveira <i>et al.</i> (2001). ....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela com as suítes intrusivas na região de Porto Alegre, seus respectivos granitos e amostras selecionadas no presente estudo (extraído de Menegat <i>et al.</i> , 1998, Oliveira <i>et al.</i> , 2001).....	14
--	----

## SUMÁRIO

1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	9
2. INTRODUÇÃO .....	10
3. OBJETIVOS DA PESQUISA .....	11
4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	11
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	13
5.1. Preparação das amostras .....	14
5.1.1. Pulverização de amostras.....	14
5.2. Sistemas Isotópicos Sr-Nd-Pb.....	15
5.3. Espectrometria de massas .....	20
6. CONTEXTO GEOLÓGICO .....	22
7. RESUMO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS.....	30
8. CONCLUSÕES.....	32
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34
10. ARTIGO SUBMETIDO .....	43
Sources of neoproterozoic post-collisional granites from the northeastern portion of the Dom Feliciano Belt, RS, Brazil: Sr, Nd and Pb isotopic constraints .....	43
Anexo - Carta de submissão .....	78



## 1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno do artigo “*Sources of neoproterozoic post-collisional granitic from the northeastern Dom Feliciano Belt, RS, Brazil: Sr, Nd and Pb isotopic constraints*”, submetido à publicação em periódico classificado no estrato Qualis-CAPES (*Journal of South American Earth Sciences* - A3) conforme a norma 118 de submissão de teses e dissertações do Programa de Pós-Graduação em Geociências do Instituto de Geociências da UFRGS e sua organização compreende as seguintes partes principais:

1 – Texto Integrador composto pelos seguintes capítulos:

- a) Introdução;
- b) Objetivos da pesquisa;
- c) Localização da área de estudo;
- d) Materiais e métodos utilizados;
- e) Contexto geológico;
- f) Resumo dos principais resultados obtidos;
- g) Conclusões;
- h) Referências bibliográficas.

2 - Artigo científico “*Sources of neoproterozoic post-collisional granitic from the northeastern Dom Feliciano Belt, RS, Brazil: Sr, Nd and Pb isotopic constraints*” submetido para publicação na revista *Journal of South American Earth Sciences*.

## 2. INTRODUÇÃO

A geologia isotópica é um importante ramo da Geologia, reunindo e aplicando, para os mais diversos fins, todos os métodos e procedimentos analíticos que têm por base quantificações precisas de isótopos de determinados elementos, sendo seus resultados geralmente expressos como razões isotópicas (Rollinson, 1993; Gill, 2010).

As principais variações nas razões isotópicas em consequência de processos de fracionamento isotópico ocorrem com certos elementos químicos por meio de processos naturais, nesse caso, envolvendo apenas elementos relativamente leves. Estes podem ser utilizados em estudos de paleoceanografia, paleoclimatologia, glaciologia, poluição ambiental, entre outros. Por outro lado, as variações nas razões isotópicas também podem ser causadas pela desintegração e decaimento de radionuclídeos instáveis, na qual há a emissão de radiação e a geração de elementos mais estáveis. Neste processo, não há fracionamento por processos naturais, e sim a acumulação de isótopos radiogênicos, ou seja, aqueles gerados por decaimento isotópico, ao longo do tempo.

Os isótopos radiogênicos são predominantemente utilizados no ramo da petrologia para resolver os seguintes problemas: 1) determinar a natureza e composição das fontes magmáticas; 2) a quantidade e o tipo de assinatura isotópica (e.g. DM, EM, HIMU) de fontes de derivação mantélica; 3) o nível (inferior vs. superior) e a idade de fragmentos de crosta continental envolvidos, 4) a idade da rocha e 5) a configuração geotectônica (Faure & Mensing, 2005; Dickin, 2018).

Assim, os isótopos radiogênicos são amplamente utilizados na geoquímica para determinar a idade de rochas e minerais, e/ou em estudos petrogenéticos, para a identificação de processos geológicos e caracterização isotópica de fontes magmáticas, tendo grande aplicação nos estudos de rochas graníticas (e.g. *Qijinfeng Granite Complex*, Niu & Jiang, 2019; *Santa Luzia Granite Suite*, Alves *et al.*, 2019; *Mt. Kinabalu Granite*, Burton-Johnson *et al.*, 2019).

Os corpos graníticos representam uma proporção significativa das massas continentais. Eles podem constituir corpos com grandes extensões

(centenas de Km), com variações laterais e verticais. Em relação à sua gênese, desde as rochas fonte que foram apenas parcialmente fundidas, grandes volumes de rochas podem estar envolvidos na sua geração. Portanto, eles podem fornecer informações sobre a composição, estado, e histórias de suas fontes, bem como, em um cenário maior, sobre a evolução das massas continentais (Allegre & Ben Othman, 1980; De Paolo, 1981, Pearce, 1996; Laurent *et al.*, 2017; Moyen, 2019). A importância da aplicação de isótopos radiogênicos na avaliação de processos magmáticos se deve ao fato de as relações isotópicas serem consideradas inalteradas durante esses processos e, conseqüentemente, fornecer informações diretas sobre as fontes (Allegre, 2012). Essa é a principal diferença em relação aos elementos maiores e traços, pois eles são fortemente fracionados durante os processos magmáticos.

Na região de Porto Alegre, RS, Brazil, localizada na porção NE do Cinturão Dom Feliciano, ocorre ampla exposição de rochas graníticas, o que possibilita a investigação dos processos magmáticos e fontes para tais rochas. Com a aquisição dos novos dados isotópicos, propõe-se neste trabalho um modelo de evolução petrológica para estas unidades graníticas, o qual está relacionado à geração de magmas evoluídos em contexto pós-colisional.

### **3. OBJETIVOS DA PESQUISA**

O objetivo deste trabalho é melhorar o conhecimento geológico dos granitos pós-tectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente de Porto Alegre (ZCTPA) na região da cidade de Porto Alegre, RS. Para tanto, serão desenvolvidas análises isotópicas (Sr-Nd-Pb) e que, em conjunto com os dados de campo, petrológicos e geoquímicos prévios já existentes na literatura, visam contribuir com as discussões petrológicas, bem como do ambiente geotectônico em que esses corpos graníticos cristalizaram.

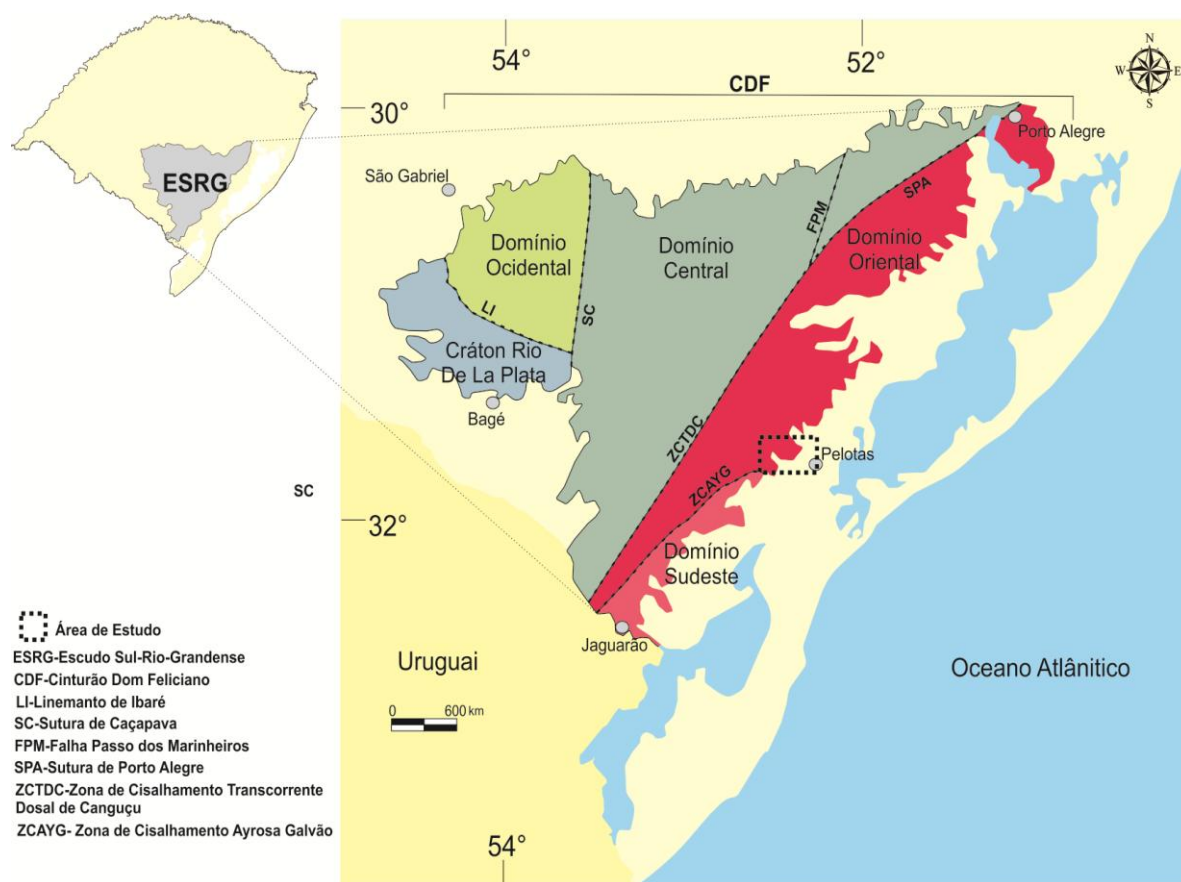
### **4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo, está localizada no município de Porto Alegre, e em parte da região metropolitana (municípios de Alvorada, Cachoeirinha, Gravataí e Viamão), com uma área aproximada de 900 km<sup>2</sup>. Compreende as latitudes 29°56'15" a 30°24'00" S e longitudes 50°55'00" a 51°16'00" W. O trabalho desenvolvido abrangeu a folha cartográfica de Porto Alegre e parte das folhas

de Itapuã, Desertas, Passo do Vigário, Guaíba, Gravataí e Novo Hamburgo, na escala 1:50.000.

Esta área está inserida no contexto geológico do Escudo Sul-riograndense, mais especificamente na porção nordeste do Cinturão Dom Feliciano, que divide-se em quatro domínios/terrenos: a) Domínio Oeste ou Terreno Vila Nova, b) Domínio Central ou Terreno Tijucas, c) Domínio Leste ou Batólito Pelotas e d) Domínio Sudeste ou Terreno Punta del Este (Fig. 1).

Segundo modelos propostos (Fernandes *et al.*, 1995; Chemale Jr., 2000; Philipp *et al.*, 2016), o Cinturão Dom Feliciano constitui-se no registro catazonal de um antigo orógeno que abrange a quase totalidade da área de afloramento do Escudo Sul-riograndense, o qual está representado por associações de rochas alongadas segundo uma direção NE-SW. Esta colagem orogênica foi originada durante a convergência entre os crátons Rio de la Plata e Kalahari, no neoproterozoico, e compreende diversas associações petrotectônicas de diferentes idades.



**Figura 1.** Mapa do Escudo Sul-rio-grandense com as principais divisões geotectônicas, seus limites e a localização da área de estudo (retângulo tracejado) no contexto geológico.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos preliminares constituíram-se de revisões de trabalhos científicos publicados anteriormente sobre a área de estudo. A etapa seguinte foi constituída pela escolha das amostras as quais já haviam sido coletadas em trabalho de campo e já se encontravam moídas e pulverizadas, essas amostras foram utilizadas na dissertação de mestrado de Oliveira *et al.* (2001). A partir da divisão proposta por Menegat *et al.* (1998), para os granitos pós-colisionais e da subdivisão desses granitos em três suítes principais proposta por Oliveira *et al.* (2001), foram selecionadas 23 amostras no total (Tabela 1), sendo duas de cada granito com o mais alto e o mais baixo teor de sílica, os Granitos Restinga e São Caetano possuem apenas uma amostra, enquanto os Granitos Cantagalo e Santana possuem três e quatro amostras, respectivamente.

**Tabela 1.** Tabela com as suítes intrusivas na região de Porto Alegre, seus respectivos granitos e amostras selecionadas no presente estudo (extraído de Menegat *et al.*, 1998, Oliveira *et al.*, 2001).

<b>Suíte Intrusiva Itapuã</b>	<b>Granito Cantagalo</b>	<b>PGP 91-A PGP 148 PGP 188</b>
	<b>Granito Santo Antônio</b>	<b>PMP 29 PGP 20-A</b>
	<b>Granito Santana</b>	<b>PMP 36 PMP 46 PGP 41 PGP 45</b>
<b>Suíte Intrusiva Porto Alegre</b>	<b>Granito Feijó</b>	<b>PMP 33 PMP 102</b>
	<b>Granito Independência</b>	<b>PMP 121 PMP 127</b>
	<b>Granito Lami</b>	<b>PMP 77 PMP 124</b>
	<b>Granito Restinga</b>	<b>PMP 50</b>
	<b>Granito São Caetano</b>	<b>PGP 100-B</b>
	<b>Granito São Pedro</b>	<b>PMP 79 PMP 98 B</b>
<b>Suíte Intrusiva Viamão</b>	<b>Granito Pitinga</b>	<b>PMP 53 PMP 112</b>
	<b>Granito Saint Hilaire</b>	<b>PMP 87 PMP 123</b>

## 5.1. Preparação das amostras

A etapa de preparação de amostras foi executada no Núcleo de Preparação de Amostras (NPA) do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) do Instituto de Geociências (IGeo) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

### 5.1.1. Pulverização de amostras

As amostras foram fragmentadas, quarteadas, e parte desses fragmentos foram reduzidas com auxílio de um cadinho (gal) de ágata e pistilo. Posteriormente, a amostra foi submetida ao processo de pulverização com a utilização de um moinho de bolas de ágata, que permite a obtenção de frações inferiores a 200 *mesh* para realização das análises isotópicas de rocha total. A rotação e o período de duração do processo de pulverização das amostras é de 3000 rpm e 30 minutos, respectivamente.

## 5.2. Sistemas Isotópicos Sr-Nd-Pb

A partir das amostras selecionadas para o estudo do presente trabalho iniciou-se o processo de abertura e digestão para análise isotópica; as análises isotópicas em rocha total nos sistemas isotópicos Sr, Nd e Pb foram geradas no Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) do CPGq com a utilização de um espectrômetro de massa multicoletor por ionização térmica TIMS (TRITON).

As amostras pulverizadas de rocha total foram pesadas (0,1 g) em frascos de *teflon* (*savillex*) em uma balança analítica (Fig. 2), foi adicionado ainda na balança 100 µL de *spike* (traçador misto para análise de Sm-Nd), e após a pesagem foi adicionado 15 gotas de HNO<sub>3</sub> concentrado. Os procedimentos empregados na abertura das amostras estão relacionados a seguir:

- 1) Adicionar 2 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado + 5 mL de HF concentrado;
- 2) Colocar o *savillex* sem tampa na chapa elétrica (Fig. 3) até a secagem total;
- 3) Após este ataque adicionar 2 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado + 6 mL de HF concentrado com a amostra ainda quente para facilitar a dissolução do resíduo. Fechar o *savillex* e deixar na chapa quente durante 3 dias em temperatura em torno dos 200°C;
- 4) Após os 3 dias, abrir o *savillex* e adicionar algumas gotas de HNO<sub>3</sub> concentrado na tampa para retirar as gotas que condensaram na mesma e devolvê-las ao *savillex*. Colocar o *savillex* na chapa elétrica deixando atacar a amostra até a secagem total;
- 5) Após o ataque e a secagem da amostra adicionar 5 mL de HCl concentrado com o *savillex* ainda quente e agitar para dissolver. Fechar o *savillex* e levar à chapa elétrica (fechado) durante 1 dia;
- 6) Abrir o *savillex*, adicionando algumas gotas de HCl concentrado na tampa para retirar as gotas que condensaram na mesma e devolvê-las ao *savillex*. Deixar atacando até a secagem total;
- 7) Deixando o *savillex* na chapa elétrica para mantê-lo quente, adicionar 1 mL de HCl 2,5 N e agitar o mesmo para dissolver o resíduo, passar este 1mL para o tubo de ensaio e ir adicionando + 1 mL de HCl 2,5 N no *savillex*, passando

para o tubo + 1 mL do mesmo para completar os 3 mL de HCl 2,5 N. Numerar os tubos e vedar com parafilme;

8) Centrifugar por 15 minutos para decantar no tubo de ensaio algum possível resíduo que não tenha sido dissolvido durante a etapa de digestão, pois na etapa seguinte de separação dos isótopos nas colunas cromatográficas não pode ir resíduo sólido para as mesmas, após esta etapa, as amostras estão prontas para a separação isotópica nas colunas.



**Figura 2.** Balança analítica de alta precisão utilizada para pesagem das amostras de rocha total.



**Figura 3.** Amostras em digestão na chapa elétrica.

A separação do Sr, Nd e Sm foi feita através de colunas cromatográficas preenchidas por resina de troca catiônica Bio Rad AG-50W-X8 (200-400 *mesh*) (Fig.4) e aniônica Eichrom LN-B50-S (50-100  $\mu\text{m}$ ) (Fig. 5).



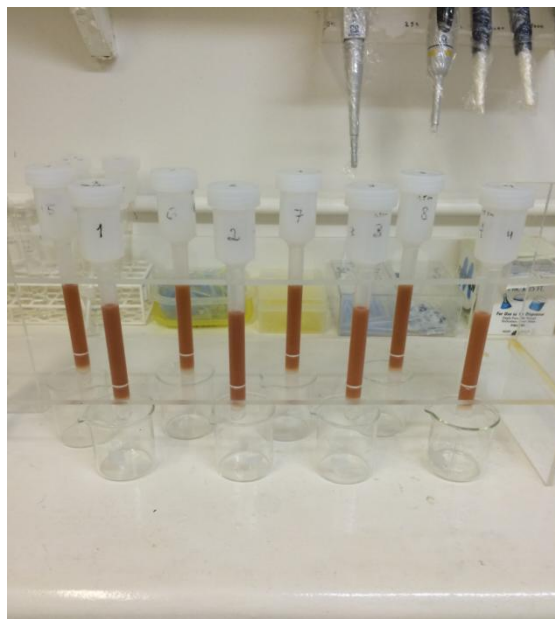
O procedimento de separação química para coleta do Sr e ETR's está relacionado a seguir:

- 1) Adicionar 20 mL de HCl 2,5 N nas colunas e desprezar;
- 2) Adicionar 1 mL da solução de amostra na coluna e desprezar;
- 3) Adicionar 1 mL de HCl 2,5 N por 3 vezes e desprezar;
- 4) Adicionar 12 mL de HCl 2,5 N e desprezar;
- 5) Neste momento o Rb deveria ser coletado, mas neste caso 23 mL de HCl 2,5 N são adicionados na coluna e o líquido é desprezado;
- 6) A coleta de Sr se dá a partir da adição de 14 mL de HCl 2,5 N em *savillex* de 15 mL;
- 7) Após a coleta do Sr adicionar 2 gotas de HNO<sub>3</sub> 7 N no *savillex* e colocar na chapa elétrica até a secagem total;
- 8) Adicionar 7 mL de HCl 6 N na coluna e desprezar;
- 9) A coleta dos ETR's se dá a partir da adição de 15 mL de HCl 6 N em *savillex* de 15 mL;
- 10) Após a coleta dos ETRs adicionar 2 gotas de HNO<sub>3</sub> 7 N no *savillex* e colocar na chapa elétrica até a secagem total;
- 11) A lavagem e descompactação da resina é feita com 30 mL de HCl 6 N e desprezado o líquido.

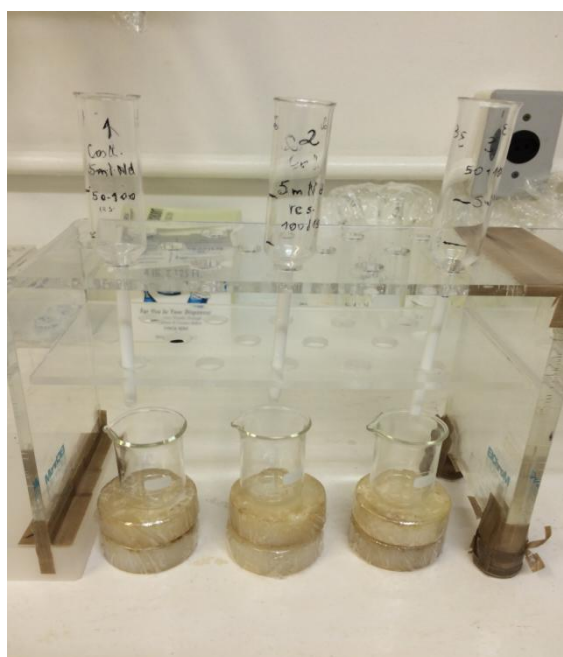
O procedimento de separação química para coleta de Nd e Sm está relacionado a seguir:

- 1) Adicionar 3 mL de HCl 0,18 N para condicionamento da resina e desprezar;
- 2) Adicionar 0,2 mL de HCl 0,18 N no resíduo de ETR (amostra) e aquecer levemente na chapa elétrica;
- 3) Adicionar 0,2 mL da solução da amostra na coluna e desprezar;
- 4) Adicionar 0,250 mL de HCl 0,18N por 2 vezes e desprezar;
- 5) Adicionar 10 mL de HCl 0,18N e desprezar;
- 6) A coleta de Nd se dá a partir da adição de 10 mL de HCl 0,18 N em *savillex* de 15 mL;
- 8) Após a coleta de Nd adicionar 2 gotas de HNO<sub>3</sub> 7 N no *savillex* e colocar na chapa elétrica até a secagem total;
- 9) Adicionar 0,5 mL de HCl 0,5 N para condicionamento da coluna;

- 10) A coleta de Sm se dá a partir da adição de 3 mL de HCl 0,5 N em *savillex* de 7 mL;
- 11) Após a coleta de Sm adicionar 2 gotas de HNO<sub>3</sub> 7 N no *savillex* e colocar na chapa elétrica até a secagem total
- 12) A lavagem da coluna é feita com 10 mL de HCl 6 N e desprezado o líquido.

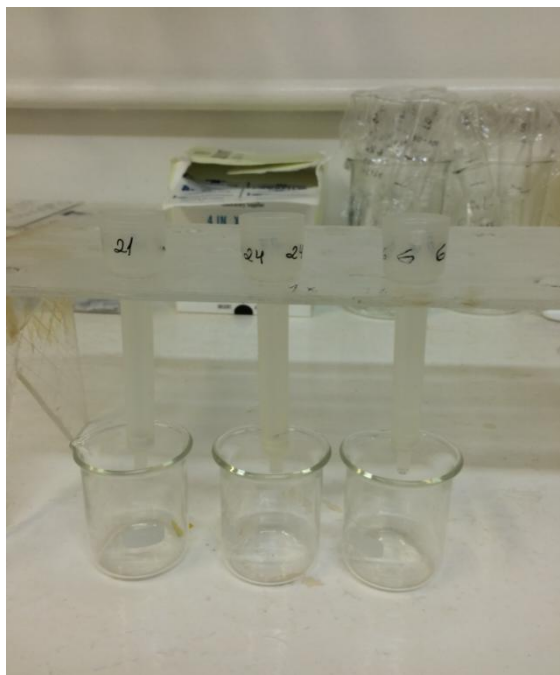


**Figura 4.** Coluna cromatográfica para separação Rb-Sr e ETR's.



**Figura 5.** Coluna cromatográfica para separação Sm-Nd.

A separação isotópica de Pb é realizada em colunas cromatográficas de troca aniônica Eichrom PN A8-B500-F-CL (200-400 *mesh*) (Fig. 6).



**Figura 6.** Coluna cromatográfica para separação Pb-Pb.

O procedimento de separação química para coleta de Pb está relacionado a seguir:

- 1) Adicionar 1 mL de HBr 0,6 N nas amostras e deixar na chapa quente por 1 minuto;
- 2) Adicionar 0,2 mL de resina nas colunas e desprezar;
- 3) Lavar a resina com 2 mL de HCl 6 N e desprezar;
- 4) Lavar a resina com 2 mL de H<sub>2</sub>O Milli-Q e desprezar;
- 5) Condicionar a resina com 1 mL de HBr 0,6 N e desprezar;
- 6) Adicionar 1 mL de amostra diluída em HBr 0,6 N na coluna e desprezar;
- 7) Adicionar 2 mL de HBr 0,6 N por 4 vezes nas colunas e desprezar;
- 8) A coleta de Pb se dá a partir da adição de 1 mL de HCl 6N em *savillex* de 7 mL por 2 vezes.

As soluções de Sr, Nd e Sm coletadas conforme os procedimentos citados acima, foram secas na chapa elétrica e depositadas sobre filamentos duplos de Rênio (Re) utilizando-se 2  $\mu$ L de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> para dissolução do resíduo.

As soluções de Pb foram secas na chapa elétrica e depositadas em filamento simples de Re utilizando-se uma mistura de 3 µL de sílica gel e 3 µL de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

As análises isotópicas foram geradas utilizando-se um espectrômetro de massa multicoletor *Thermo Fisher TRITON™ Plus - Thermal Ionization Mass Spectrometry* (TIMS) (Fig. 7), utilizando coletores faraday no modo estático. As razões de Nd e Sr foram normalizadas para  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$  e  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$  respectivamente. A razão  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  foi calculada a partir da concentração elementar do Rb e Sr. Os padrões utilizados para verificar a estabilidade do equipamento foram os padrões NIST NBS-987 para  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710260 \pm 0.000014$ , JNdi para  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511859 \pm 0.000010$  e NIST NBS-981 para  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.9406 \pm 0.000003$ . Os brancos obtidos foram menores que 100 ng para Sr, Sm e Pb e menores que 60 ng para Nd.

### 5.3. Espectrometria de massas

O espectrômetro de massas tipo TIMS (*Thermal Ionization Mass Spectrometry*), conforme descrito em Faure (1986) é um equipamento em geral de setor eletromagnético desenhado para permitir a separação de átomos e moléculas com base nas suas massas utilizando um campo elétrico e um campo magnético. Este instrumento emprega métodos eletrônicos de detecção de íons separados, e consiste de três partes essenciais: fonte iônica, analisador magnético e coletor de íons.

Na fonte iônica são produzidos feixes de íons próximos de mono-energéticos. A amostra sólida é introduzida no espectrômetro de massa depositando-a em filamento duplo de Re (para as análises de Sr e Sm-Nd) e filamento simples de Re (para as análises de Pb). O equipamento utilizado neste trabalho é um espectrômetro de massa multicoletor por ionização térmica (TIMS) modelo Triton Plus da *Thermo Scientific* (Fig. 7), com fonte de ionização térmica e um sistema de multicoletores variáveis (sendo um central e oito laterais), são colocadas até 21 amostras no carrossel, sendo analisadas uma a uma na forma manual com interferência do operador ou no modo automático.

O filamento com a amostra depositada é aquecido eletricamente a uma temperatura suficiente para volatilizar lentamente o elemento a ser analisado. A alta temperatura propicia o surgimento de átomos neutros e íons do

elemento. Os íons são extraídos para o analisador de massa (setor eletromagnético) pela aplicação de uma diferença de potencial de aproximadamente 10 Kv. O feixe de íons é colimado automaticamente ou manualmente por uma série de lentes eletrostáticas.

No analisador, o feixe de íons entra em um campo magnético produzido por um eletroímã onde os pólos são cuidadosamente posicionados de maneira que a linha do campo magnético fique perpendicular à direção da trajetória dos íons. O campo magnético desvia os íons ao longo do caminho cujo ângulo de desvio é inversamente proporcional à massa dos isótopos. Desse modo, os íons mais pesados são desviados menos que os íons mais leves. O feixe de íons separado com base na massa dos átomos continua através do tubo analisador até atingir o coletor de íons (copo de *Faraday*) onde é detectado eletricamente.

O sinal elétrico resultante consiste de uma série de picos proporcionais à abundância isotópica e ao variar o campo magnético obtem-se o espectro de massas do elemento. Cada pico corresponde a uma determinada razão massa/carga que identifica cada isótopo no espectro de massas do elemento em análise (Faure, 1986).

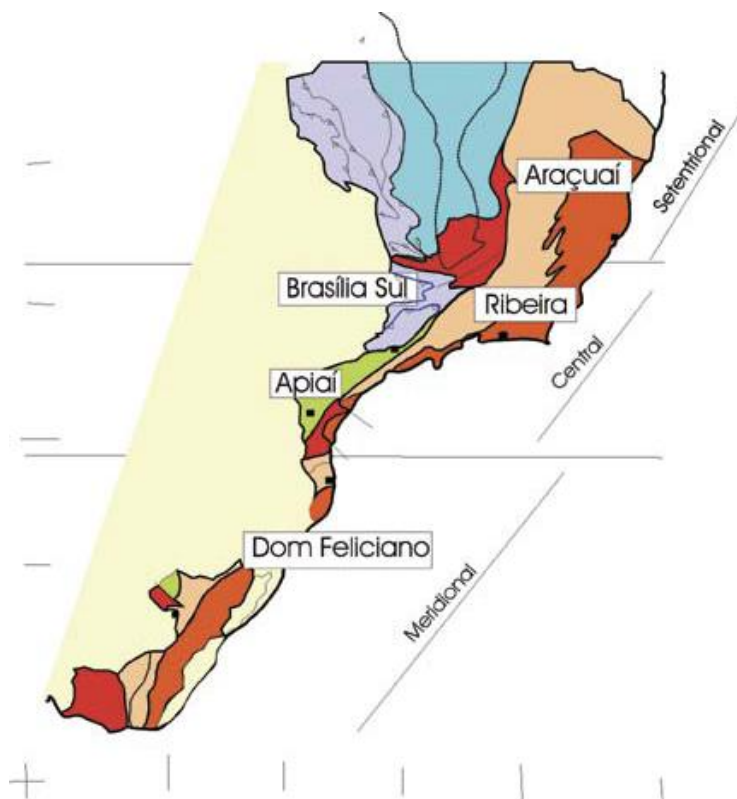
A técnica utilizada para a análise é destrutiva, pois a amostra é ionizada. O equipamento possui uma excelente estabilidade, faixa dinâmica, linearidade e estabilidade.



**Figura 7.** Espectrômetro de massa multi-coletor por ionização térmica TIMS (TRITON) da *Thermo Scientific*.

## 6. CONTEXTO GEOLÓGICO

A região estudada está adentrada na Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1981), um sistema orogênico neoproterozoico, que se estende do Uruguai à Bahia, o qual é resultado da amalgamação do Gondwana Ocidental. A divisão clássica para a Província Mantiqueira foi proposta por Almeida *et al.*(1977) e Bizzi *et al.* (2003). Os autores compartimentam a província em Sistema Araçuaí, Sistema Mantiqueira Norte, Sistema Mantiqueira Central (Ribeira), Cráton Luís Alves e Sistema Dom Feliciano. Heilbron *et al.*(2004) propõe que a província (Fig. 8) seja compartimentada em orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano, São Gabriel e pela zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira, porém ainda existem indefinições sobre a localização e extensão dessa faixa.



**Figura 8.** Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira: o segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui o orógeno Dom Feliciano.

Fonte: Heilbron *et al.* (2004).

No Escudo Sul-rio-grandense, a Província Mantiqueira Meridional (Da Silva *et al.*, 2005), é representada pelo Cinturão Dom Feliciano e pelo Cráton Rio de la Plata. O Cinturão Dom Feliciano divide-se em quatro domínios/terrenos: a) Domínio Oeste ou Terreno Vila Nova, b) Domínio Central ou Terreno Tijucas, c) Domínio Leste ou Batólito Pelotas e d) Domínio Sudeste ou Terreno Punta del Este.

No Cráton Rio de la Plata predominam rochas paleoproterozoicas do Complexo Granulítico Santa Maria Chico, interpretado como o registro de um arco magmático de aproximadamente 2,4 Ga (Nardi & Hartmann, 1979; Girelli *et al.*, 2019). As demais unidades do escudo correspondem ao Cinturão Dom Feliciano, em geral com idades neoproterozoicas, dividido em quatro domínios (terrenos, blocos, e/ou batólito) com base em critérios geológicos e geofísicos (Fernandes *et al.*, 1995; Costa, 1997; Ramos *et al.*, 2014; Hartmann *et al.*, 2016; Hueck *et al.*, 2018; Cruz, 2019).

No domínio oeste há o predomínio de rochas ígneas e metamórficas relacionadas a dois arcos magmáticos e fragmentos de rochas de assoalho oceânico e bacias associadas (Kraemer, 1995; Leite *et al.*, 1998), enquanto no central predominam rochas metasedimentares vinculadas a bacias de *back-arc* e/ou *forearc*, bem como fragmentos de rochas paleoproterozoicas ortoderivadas (Porcher *et al.*, 1999; Remus *et al.*, 2002; Philipp *et al.*, 2004; Gregory *et al.*, 2015). No domínio leste ocorrem predominantemente rochas graníticas criogenianas relacionadas a um arco magmático e/ou pós-colisionais, com intenso magmatismo vinculado a zonas de cisalhamento (Philipp, 1998; Koester *et al.*, 2002; Bitencourt & Nardi, 2000).

Por fim, na porção sudeste afloram rochas metasedimentares vinculadas a bacias de *back-arc* e/ou *forearc*, bem como fragmentos de rochas de assoalho oceânico. Além disto, fazem parte deste domínio rochas tonianas orto e paraderivadas, vinculadas a um ambiente de arco magmático (Lenz *et al.*, 2012; Peel *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2018; Cruz, 2019).

Ao final deste ciclo orogênico, na transição do neoproterozoico-cambriano, ocorre a deposição da Bacia do Camaquã, representada por expressiva sedimentação e vulcanismo na porção centro-oeste do escudo (Paim *et al.*, 2000), bem como concomitante intrusão de diversos corpos plutônicos que ocorrem de forma sistemática em todo o Escudo Sul-riograndense.

A área de estudo, região de Porto Alegre, está inserida no contexto do domínio leste ou Batólito Pelotas, do Cinturão Dom Feliciano. Esse batólito tem área de aproximadamente 40.000 km<sup>2</sup>, se estende a norte até o estado de Santa Catarina, e a sul até o Uruguai (Shukowsky *et al.*, 1991; Hallinan *et al.*, 1993; Bitencourt & Nardi, 2000). No Batólito Pelotas foram caracterizadas por Philipp (1998) seis suítes graníticas (Pinheiro Machado, Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira e Dom Feliciano) e uma sienítica, o Maciço Sienítico Piquiri. Além dessas unidades, foram identificados fragmentos de rochas tonianas (Gnaisses Piratini, Tambara *et al.*, 2019), bem como corpos dioríticos (562 Ma: Diorito Alto Alegre, Barbosa *et al.*, 2017) e gabroicos (591 Ma: Gabros Passo da Fabiana, Dal Olmo-Barbosa *et al.*, 2018). Desta forma, depreende-se que o batólito possui sua evolução geodinâmica principal compreendida no intervalo de 780 a 562 Ma.



Ainda sobre sua evolução, o Batólito Pelotas tem sido interpretado como o resultado da soma de diversos processos tectônicos que ocorreram no Ciclo Brasileiro-Panafricano. Estes compreendem eventos de subducção de crosta oceânica em margem continental espessa (Figueiredo *et al.*, 1990; Philipp, 1990; Fragoso-Cesar, 1991; Philipp *et al.*, 1993; Philipp, 1998; Chemale Jr., 2000; Basei *et al.*, 2018), colisão continental (Hartmann *et al.*, 2000; Philipp & Machado, 2001) e reativações tardi-a pós-colisionais, de fontes mantélicas (Bitencourt & Nardi, 1993,2000; Hueck *et al.*, 2018).

A região de Porto Alegre (Fig. 9) está situada na porção NE do Escudo Sul-rio-grandense, no extremo norte do Batólito Pelotas. Geologicamente, essa área é constituída por rochas de composição granítica com fragmentos (septos) metamórficos de idade neoproterozoica. Tais septos representam a antiga crosta continental formada em um arco magmático na porção sul da Plataforma Sul-Americana sobre a qual se deu origem ao Batólito Pelotas. Nessa região ocorrem diversas exposições de granitos com idades em torno de  $600 \pm 10$  Ma (Granito Santana, Koester *et al.*, 2001) relacionados aos estágios finais do ciclo orogênico Brasileiro/Panafricano. Os granitos da região apresentam geralmente formas alongadas segundo a direção NE-SW, concordantes com as principais estruturas regionais, o que sugere posicionamento controlado pela tectônica brasileira (Schneider *et al.*, 1974; Menegat *et al.*, 1998; Philipp, 1998; Oliveira *et al.*, 2001; Philipp & Machado, 2005; Koester *et al.*, 2001; 2016).

O primeiro trabalho de mapeamento na região de Porto Alegre foi realizado por Schneider *et al.* (1974), que descreveram sete grandes unidades de rochas graníticas e migmatíticas, além de duas gerações de diques. As duas unidades mais antigas descritas são os migmatitos heterogêneos constituídos de rochas à base de quartzo e oligoclásio, e os migmatitos homogenêos caracterizados pela presença de fenoblastos de microclínio, imersos em uma matriz de granitos sub-alcálinos a dioritos quartzíticos. As rochas ígneas mais jovens foram divididas em cinco grandes unidades: Granito Granófiro, Granito Cantagalo, Granito Ponta Grossa, Granito Independência e o Granito Santana. Na década de 90, Philipp *et al.* (1994) e Philipp (1995) e principalmente Philipp (1998) e Philipp *et al.*(1998), retomaram a pesquisa na região, onde foram individualizadas uma unidade metamórfica, representada por xenólitos de ortognaisses de composição granodiorítica a tonalítica,

denominados de Gnaisses Porto Alegre, e cinco unidades graníticas. As rochas graníticas foram descritas como pertencentes às suítes graníticas tardi a pós-colisionais Viamão e Dom Feliciano, com o posicionamento vinculado às movimentações finais das zonas de cisalhamento subverticais de direção NE-NS. A Suíte Intrusiva Viamão, composta pelo Granito Independência de Schneider *et al.* (1974) e pelo Granito Viamão, representado por granitos porfíricos com megacristais de feldspato alcalino orientados marcando uma foliação de fluxo, é a suíte granítica mais antiga, conforme Philipp (1998). A Suíte Intrusiva Dom Feliciano, mais jovem, é descrita como sendo composta por leucogranitos com pequena variação composicional. Os granitos Ponta Grossa, Cantagalo e Santana, descritos por Schneider *et al.* (1974), compõem a suíte. Segundo esses autores, as rochas graníticas evoluíram em um ambiente tardi a pós-colisional relacionado ao final da estruturação do Batólito Pelotas. Os granitos mais precoces estariam relacionados à fusão de fontes com intensa participação crustal, enquanto que os granitos mais tardios, de afinidade alcalina, teriam a gênese vinculada ao magmatismo básico alcalino, com participação da crosta.

Menegat *et al.* (1998) a partir de um mapeamento geológico de detalhe, situaram a região de Porto Alegre no cruzamento de duas grandes falhas, que são a Sutura de Porto Alegre e a Zona de Cisalhamento Transcorrente de Porto Alegre (Fernandes *et al.*, 1995a e 1995b), originadas em torno de 800 Ma pela colisão de dois continentes que geraram o Cinturão Dom Feliciano. Esse mapeamento separou 16 unidades de rochas do Pré-Cambriano, que foram agrupadas em: Granitoides Colisionais, Granitoides Sintranscorrentes, Granitoides Pós-Colisionais alojados na Sutura de Porto Alegre e Granitoides Pós-Colisionais.

Os Granitoides Colisionais correspondem ao Gnaisse Ponta Grossa, de origem paraderivada, ocorrendo na forma de xenólitos nos Gnaisses Chácara das Pedras (Oliveira *et al.*, 2001). O Gnaisse Chácara das Pedras possui origem ortoderivada, composição tonalítica e idade de cristalização de  $777,3 \pm 3,6$  Ma, com metamorfismo de fácies anfíbolito em torno de 660 Ma (U-Pb SHRIMP em zircão, Koester *et al.*, 2016). Philipp & Campos (2004) caracterizam o Gnaisse Porto Alegre (ou Gnaisse Chácara das Pedras, Menegat *et al.*, 1998) como de afinidade cálcio-alcalina médio-K, relacionados

a um ambiente de margem continental ativa. O Gnaisse Chácara das Pedras, por sua vez, ocorre como xenólitos e/ou *roof pendants* no Granodiorito Três Figueiras (ca. 600 Ma, Koester *et al.*, 2016). Essas três unidades constituem o embasamento neoproterozoico da região.

Este embasamento é intrudido pelos granitos sintranscorrentes à Zona de Cisalhamento de Porto Alegre, Lomba do Sabão e São Geraldo (Menegat *et al.*, 1998; Vieira *et al.*, 2019).

Os Granitoides Pós-Colisionais foram caracterizados como episódios magmáticos posteriores, associada à tectônica pós-transcorrente na região de Porto Alegre com ampla variação composicional e textural (Menegat *et al.*, 1998; Oliveira *et al.*, 2001), e foram agrupados em 12 corpos graníticos agrupados nas suítes a seguir, com base em critérios geoquímicos, petrográficos e estruturais: (i) Suíte Intrusiva Viamão (constituída pelos Granitos Saint Hilaire e Pitinga), (ii) Suíte Intrusiva Porto Alegre (constituída pelos Granitos Independência, São Caetano, Feijó, Lami, São Pedro e Restinga) e (iii) Suíte Intrusiva Itapuã (constituída pelos Granitos Santana, Cantagalo, Santo Antônio e Passo das Pedras).

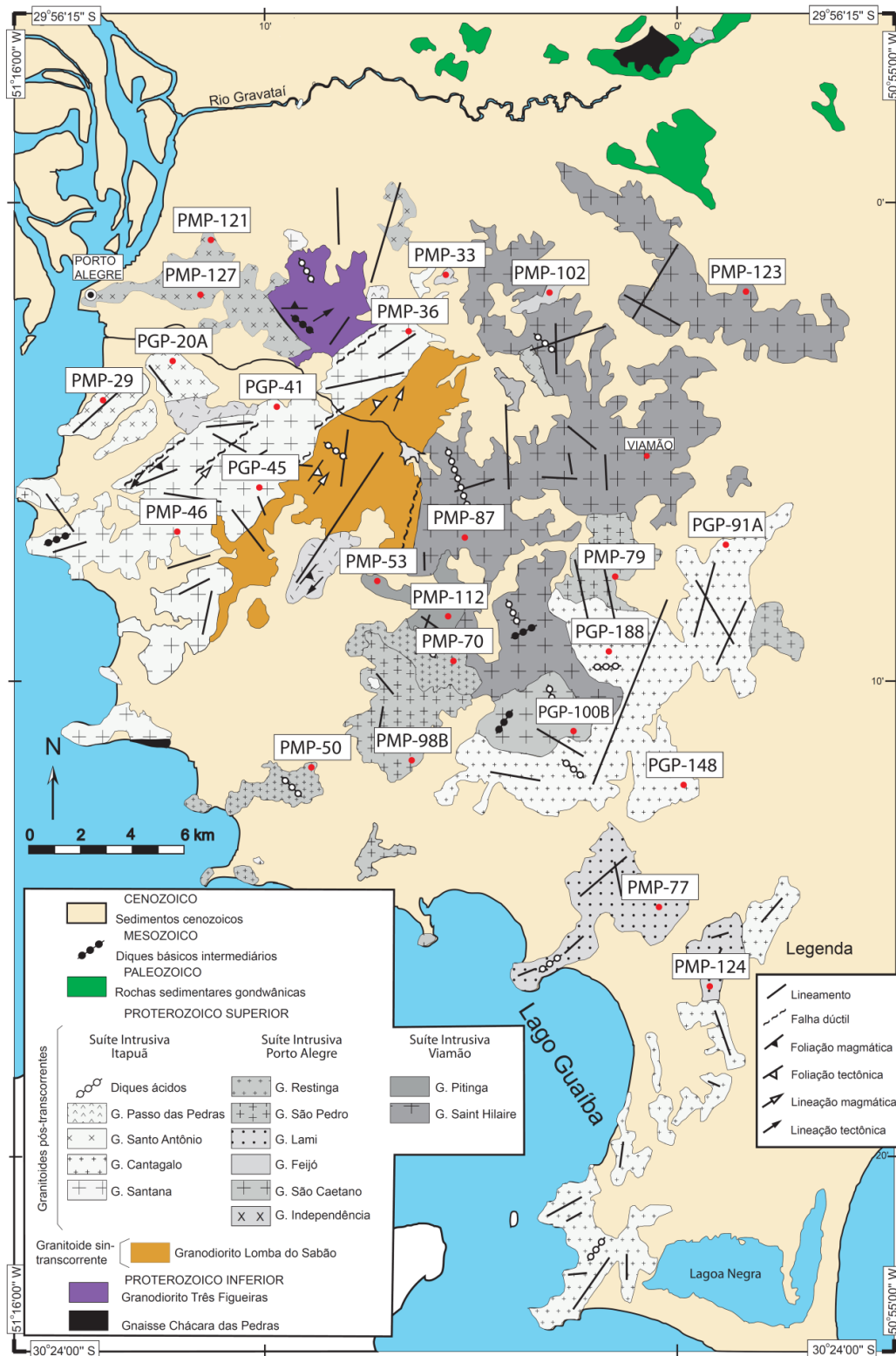
A **Suíte Intrusiva Viamão (SIV)** é formada pelos granitos Saint Hilaire e Pitinga, variando de monzogranitos a granodioritos cinza escuros, com textura porfirítica, presença de megacristais de feldspato alcalino, imersos em matriz equigranular média a fina, com estrutura maciça por vezes apresentando uma foliação ígnea marcada pelo alinhamento dos megacristais. Na matriz, ocorrem feldspatos alcalinos peritéticos, além de plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda, com titanita como acessório diagnóstico.

A **Suíte Intrusiva Porto Alegre (SIPA)** é formada pelos granitos Independência, São Caetano, Feijó, Lami, São Pedro, e Restinga. Esses granitos variam de monzogranitos a sienogranitos com textura equigranular média, por vezes porfirítica (K-feldspato), são em geral maciços com coloração cinza-rosada, compostos por K-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita e, subordinadamente, hornblenda.

A **Suíte Intrusiva Itapuã (SII)** é formada pelos granitos Santana, Cantagalo, Santo Antônio e Passo das Pedras. Composto por rochas sienograníticas e subordinadamente, álcali-feldspáticas, de coloração rosa-avermelhada. Os granitos Santana, Cantagalo e Santo Antônio, que compõem

essa suíte, ocorrem como intrusões aproximadamente circulares ou alongadas na direção NE-SW apresentando textura equigranular grossa, com raros fenocristais de K-feldspato, maciços. K-feldspato e quartzo são os minerais principais, e subordinadamente plagioclásio e biotita. Ocorre ainda como pequenos *stocks* com texturas subvulcânicas (Granito Passo das Pedras). Diques riolíticos que cortam as duas suítes mais antigas e injeções pegmatíticas e aplíticas são relacionados à fase final desse magmatismo.

Oliveira *et al.* (2001) apresenta a caracterização geoquímica dessas suítes. A Suíte Intrusiva Viamão apresenta características cálcio-alcálicas alto-K, enquanto a Suíte Intrusiva Porto Alegre apresenta características similares aos termos cálcio-alcálicos mais desenvolvidos. A Suíte Intrusiva Itapuã mostra características compatíveis com os granitos metaluminosos da associação alcalina.



**Figura 9.** Mapa geológico simplificado da região de Porto Alegre com a localização das amostras estudadas, nordeste do Escudo Sul-rio-grandense, modificado de Oliveira *et al.* (2001).

## 7. RESUMO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS

A partir de critérios de campo e geoquímicos obtidos de Oliveira *et al.* (2001), os granitos pós-transcorrentes da região de Porto Alegre foram separados em três suítes: Viamão, Porto Alegre e Itapuã. Sob ponto de vista geocronológico e relações temporais das três suítes, Koester *et al.* (2008) sugere uma idade de cristalização de  $604 \pm 5$  (U-Pb zircão LA-ICP-MS) para o Granito Saint Hilaire pertencente a Suíte Intrusiva Viamão, a mais antiga das três suítes. Por sua vez, o Granito Santana, pertencente a Suíte Intrusiva Itapuã foi datada por U-Pb SHRIMP em zircão, com idade de cristalização de  $600 \pm 10$  Ma (Koester *et al.*, 2001). As relações de corte em campo sugerem que a Suíte Intrusiva Porto Alegre é cortada pelos granitos da Suíte Intrusiva Itapuã (Menegat *et al.*, 1998).

Os estudos geoquímicos realizados por Oliveira *et al.* (2001) mostram que as rochas das três suítes são metaluminosas a fracamente peraluminosas, com o índice de aluminosidade (Al – Shand, 1927) variando de 0,9 a 1,1. A Suíte Intrusiva Viamão pertence a associação de rochas graníticas cálcio-alcálicas. A Suíte Intrusiva Porto Alegre foi interpretada como termos diferenciados da associação cálcio-alcálica que, segundo Sylvester (1989), são variações dos granitos alcalinos, enquanto as rochas da Suíte Intrusiva Itapuã apresentam características compatíveis com granitos metaluminosos da associação alcálica (Nardi & Bonin, 1991), ou com os granitos alcalinos (Sylvester, 1989) e granitos do Tipo-A (Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987).

Sob ponto de vista geotectônico, na região de Porto Alegre, o Gnaiss Chácara das Pedras foi interpretado como o registro do magmatismo cálcio-alcálico associado a um arco magmático continental de idade toniana (777 Ma), sendo o metamorfismo dessas rochas em torno de 660 Ma. O evento seguinte ao metamorfismo foi o da geração de granitos sincinemáticos a zona de cisalhamento Porto Alegre, o Grandiorito Lomba do Sabão (Menegat *et al.*, 1998). As três suítes em estudo, sob ponto de vista de ambiente tectônico, são tardias a esses eventos e, segundo o diagrama de Pearce *et al.* (1984), situam-se no campo dos granitos pós-colisionais.

Com relação a processos magmáticos e fontes, o magmatismo pós-

colisional da região de Porto Alegre não tem estudos de detalhe, apenas a sugestão a partir de dados de petrografia de que o processo de cristalização fracionada com concomitante assimilação de crosta deve ter sido importante na geração das rochas nas três suítes, em função da descrição de feições de desequilíbrio textural, observados principalmente nos plagioclásios (Oliveira *et al.*, 2001; Philipp *et al.*, 2002).

Assim, nos diagramas  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  vs.  $1/\text{Nd}$  e  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  vs.  $\text{SiO}_2$ , a presença de componentes crustais pode ser verificada na SIPA e SII, pois os *trends* observados indicam um aumento da razão isotópica de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  em relação a razão  $1/\text{Nd}$  ou mesmo com a evolução da cristalização evidenciadas pelo aumento no teor de  $\text{SiO}_2$ . Assim, para as rochas dessas duas suítes, o processo evolutivo de cristalização fracionada mais assimilação das rochas encaixantes pode ser o processo magmático envolvido em sua geração, uma vez que com a diferenciação, ocorre a modificação da composição isotópica desses magmas em função da assimilação de materiais com composições isotópicas distintas (Faure & Messing, 2005; Gill, 2010). Para a Suíte Intrusiva Viamão, os valores de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  tendem a se manter constantes, tanto nos diagramas  $1/\text{Nd}$  vs.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  e  $\text{SiO}_2$  vs.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , sugerindo que a assimilação de material crustal não foi tão importante quanto nas duas outras suítes, ou seja, com o predomínio de processos de cristalização fracionada.

As amostras da Suíte Intrusiva Viamão mostram pouca variação nas razões de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0,708 a 0,716), bem como de Nd radiogênico (-6,0 a -6,7), em relação às outras duas suítes, as amostras dispõem-se no campo das rochas crustais. Assim, o cenário mais adequado para a geração dos granitos dessa suíte seria a fusão de um membro final mantélico, potencialmente dos tipos HIMU, PUM ou DM, com participação de uma crosta paleoproterozoica ou toniana-criogeniana.

As amostras da Suíte Intrusiva Porto Alegre, mostram uma ampla variação nas razões de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0,709 a 0,743), e ampla variação no Nd radiogênico (-4,2 a -8,3), apresentando um *trend* semelhante às amostras Suíte Intrusiva Viamão, as amostras dispõem-se no campo das rochas crustais. Assim, o cenário mais adequado para a geração dos granitos dessa suíte, seria a fusão de um membro final mantélico, potencialmente os *end-members* HIMU, PUM ou DM, com participação de uma crosta toniana-criogeniana.

As amostras da Suíte Intrusiva Itapuã, mostram uma ampla variação nas razões de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0,711 a 0,748) e Nd radiogênico (-1,6 a -6,0), mostrando um *trend* distinto das Suítes Intrusivas Viamão e Porto Alegre. Isto pode sugerir que as rochas da Suíte Intrusiva Itapuã tenham uma fonte distinta, ou seja, não seriam produto da interação de magmas derivados do manto com adição de rochas de crosta paleoproterozoicas ou mesmo tonianas-criogenianas. Uma potencial fonte para essa suíte seriam magmas mantélicos derivados de um *end-member* como o HIMU, PUM ou DM, com interação de fontes metasedimentares da crosta superior.

As amostras da Suíte Intrusiva Viamão, mostram uma pequena variação nas razões de  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  e  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , quando comparados as outras duas suítes. Apresentam ainda valores distintos para os dois granitos (Saint Hilaire e Pitinga), mas com sugestão de participação de crosta superior em ambiente associado a orogênese. Em termos de componente mantélico, parece definir um *trend* vinculado a um manto similar ao EMI, EMII ou DM.

As amostras da Suíte Intrusiva Porto Alegre mostram uma ampla variação nas razões de  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  e  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ . Apresentam valores dispersos, mas com sugestão de participação de crosta superior em ambiente associado a orogênese. Em termos de componente mantélico, parece definir um *trend* vinculado ao HIMU, apresentando para algumas amostras valores de  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  típicos desse membro final (21,5 de Zindler & Hart, 1986).

As amostras da Suíte Intrusiva Itapuã mostram uma ampla variação nas razões de  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  e  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ . Os valores também estão dispersos, mas com sugestão de participação de crosta superior em ambiente associado a orogênese, onde dispõem-se a maioria das amostras. Em termos de componente mantélico, uma amostra apresenta valores de  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  similares ao membro final HIMU (21,5 de Zindler & Hart, 1986), porém, algumas amostras apresentam valores em torno de 20 para esta razão, e ainda o *trend* definido por todas amostras sugere um membro final similar ao HIMU.

## 8. CONCLUSÕES

As rochas graníticas da região de Porto Alegre, NE do Cinturão Dom Feliciano tem processos magmáticos similares, porém fontes distintas. As três



suítes têm a cristalização fracionada como mecanismo de diferenciação com a participação de material crustal observada a partir dos trends com tendência positiva em diagramas do tipo  $\text{SiO}_2$  vs. Nd principalmente na Suíte Intrusiva Porto Alegre e Itapuã. Os valores de  $\epsilon\text{Nd}$  negativos para as três suítes (-1 a -8), bem como os valores de  $T_{\text{DM}}$  da ordem de 1,2 a 1,8 Ga também sugerem essa participação de material crustal paleoproterozoico. A integração dos dados de campo, petrografia e geoquímica com os isótopos de Sr-Nd-Pb permite traçar um cenário com três fontes distintas para cada suíte.

A Suíte Intrusiva Viamão é o resultado de um magma mantélico tipo DM interagindo com uma crosta paleoproterozoica similar ao Complexo Arroio dos Ratos.

A Suíte Intrusiva Porto Alegre é o resultado de uma fonte mantélica gerada a partir da fusão de uma placa oceânica reciclada (HIMU) em conjunto com uma crosta continental de idade toniana-criogeniana, similar ao Gnaiss Chácara das Pedras.

A Suíte Intrusiva Itapuã, tem um membro mantélico similar ao HIMU, porém com um componente de crosta distinto em relação à Suíte Intrusiva Porto Alegre, menos enriquecido em Nd.

A integração dessas informações sugere que o magmatismo pós-colisional na região de Porto Alegre têm uma evolução similar as *Hot Deep Zone*, onde o magmatismo básico é acumulado no limite manto crosta, que por sua vez através de processos de diferenciação magmática associado a fontes distintas gera a diversidade de rochas graníticas observadas na região NE do Escudo Sul-rio-grandense.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allegre, C.J. 2012. *Isotope Geology*. Institut de Physique du Globe de Paris. Cambridge University Press, 289p.
- Allegre, C.J. & Ben Othmn, D.1980. Nd-Sr isotopic relationship in granitoid rocks and continental crust development: a chemical approach to orogenesis. *Nature*, 286, 335 -342.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B.,1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*,17, 1-29.
- Alves, P.V.F.S., Botelho, N.F., Dantas, E.L., Cuadros, F.A.,2019. The Cambrian peraluminous Santa Luzia granite suite in the Araguaia Belt, central Brazil: Evidence for closure of the Clymene Ocean based on zircon and monazite U-Pb data *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 116–133.
- Barbosa, L.D., Koester, E., Gastal, M.C., Ramos, R.C.,2017. Basic Ediacaran magmatism (562 Ma) in southeast Sul-Riograndense Shield: U-Pb SHRIMP zircon dating of Alto Alegre Diorite. In: X Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 2017, Curitiba-PR. *Anais do X Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*.
- Basei, M.A.S., Frimmel, H.R., Neto, M.C.C., Ganade, C.E., Castro, N.A., Passarelli, C.R., 2018. The Tectonic History of the Southern Adamastor Ocean Based on a Correlation of the Kaoko and Dom Feliciano Belts. In: Siegfried Siegesmund; Miguel Basei; pedro Oyhantçabal; Sebastian Oriolo. (Org.). *Regional Geology Reviews*. 3ed.: Springer International Publishing, 63-85.
- Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. 1993. Late- to Post-collisional Brasiliano Magmatism in Southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 65, 3-16.
- Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30 (1), 186-189.
- Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M., Gonçalves, J.H., 2003. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. CPRM.

- Burton-Johnson, A., Macpherson, C.G., Ottley, C.J., Nowell, G.M., Boyce, A.J., 2019. Generation of the Mt. Kinabalu Granite by crustal contamination of intraplate magma modeled by equilibrated major element assimilation with fractional crystallization (EME-AFC) British Antarctic Survey. *Journal of Petrology*, 60(7), 1461-1487.
- Chemale Jr., F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz M., DE Ros L.F. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO-UFRGS, 1, 13-52.
- Costa, A.F.U. 1997. *Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense*. Porto Alegre, 291f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Collins, W.J. Beams, S.D. White, A.J.R. Chapell, B.W., 1982. Nature and Origin of A-Type Granites with Particular Reference to Southeastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80, 189-200.
- Cruz, R.F. 2019. Levantamento geológico e do potencial mineral de novas fronteiras: Projeto Sudeste do Rio Grande do Sul: escalas 1:250.000 e 1:100.000, estado do Rio Grande do Sul. CPRM.
- Dal Olmo-Barbosa, L., Koester, E., Fontes, T.F., 2018. New insights into the basic post-collisional Ediacaran magmatism (591 Ma) in southeast Dom Feliciano Belt, RS: geochronology of Passo da Fabiana Gabbros. In: 49º Congresso Brasileiro de Geologia, 2018, Rio de Janeiro. *Anais do 49º Congresso Brasileiro de Geologia*.
- Da Silva, L. C., McNaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L.A., Fletcher, I.R., 2005. The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, 136(3), 203-240.
- De Paolo, D.J. 1981a. A neodymium and strontium isotopic study of the mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California. *Journal of Geophysical Research*, 86, 10470-10488.

- Dickin, A. 2018. *Radiogenic Isotope Geology*. Cambridge: Cambridge University Press. 349 p.
- Faure, G. 1986. *Principles of Isotope Geology*. 2<sup>a</sup> ed. John Wiley & Sons, 589p.
- Faure, G. & Mensing, T.M. 2005. *Isotopes Principles and Applications*. Third Edition. Wiley. 587 p.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.R., Camozzato, E., 1995a. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-riograndense: Parte I – Uma contribuição a partir do registro geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, 25 (4), 351–374.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.R., Camozzato, E., 1995b. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-riograndense: Parte II – Uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25 (4), 375–384.
- Figueiredo, M.C.H., Fragoso-Cesar, A.R.S., Kronberg B.I., 1990. Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 36. Natal. *Anais...*, Natal: SBG, 1990, v. 4, p. 1623-1738.
- Fragoso-César, A.R.S. 1991. *Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul*. Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade de São Paulo, pp. 367.
- Gill, R. 2010. *Igneous rocks and processes: a practical guide*. Oxford, Wiley-Blackwell, 390p.
- Girelli, T.J., Chemale Jr., F., Lavina, E.L.C., Laux, J.H., Bongioiolo, E.V., Lana, C., 2018. Granulite accretion to Rio de la Plata Craton, based on zircon U-Pb-Hf isotopes: Tectonic implications for Columbia Supercontinent reconstruction. *Gondwana Research*, 56, 105-118.
- Gregory, T.R., Bitencourt, M.F., Nardi, L.V., Florisbal, L.M., Chemale Jr., 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 of South American Earth Sciences*, 57, 49–60.

- Hallinan, E.S., Mantovani, M.S.M., Shukoesky, W., Braggion Jr., I. 1993. Estrutura do Escudo Sul-Brasileiro: uma revisão através de dados gravimétricos e magnetométricos. *Revista Brasileira de Geociências* 23(3), 201-214.
- Hartmann, L.A., Porcher, C.C., Remus, M.V.D., 2000. Evolução das rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. *In: Holz M. & De Ros L.F. (eds.). Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, edição CIGO/UFRGS, 79-118.
- Hartmann, L.A., Lopes, W.R., Savian, J.F., 2016. Integrated evaluation of the geology aerogammaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-Riograndense Shield, southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88, 75-92.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M.C. Silva, L.C. Trouw, R. Janasi, V.A. 2004. Província Mantiqueira. *In: Mantesso-Neto, V., et al. (Orgs) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 203-235.
- Hueck, M., Oyhantcabal, P., Philipp, R.P., Basei, M.A.S., Siegsmund, S., 2018. The Dom Feliciano Belt in Southern Brazil and Uruguay. *In: Geology of Southwest Gondwana*.
- Koester, E., Soliani Jr., E. Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., Fernandes, L.A.D., McNaughton, N.J., Santos, J.O.S., Oliveira, L.D., 2001. SHRIMP U-Pb age for the emplacement of the Santana Granite and reactivation of the Porto Alegre Suture, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 14, 91-99.
- Koester, E., Pawley, A. R., Fernandes, L.A.D., Porcher, C.C., Soliani Jr., E., 2002. Experimental melting of cordierite gneiss and the petrogenesis of syntranscurrent peraluminous granites in the southern Brazil. *Journal of Petrology*, 48, (43), 1595-1616.
- Koester, E., Chemale Jr., F. Porcher, C.C., Bertotti, A.L., Fernandes, L.A.D., 2008. U-Pb ages of granitoids from Eastern Sul-rio-grandense Shield. *In: VI South American Symposium on Isotope Geology*, San Carlos de Bariloche. Proceedings. Buenos Aires, v. 1.

- Koester, E., Porcher, C.C., Pimentel, M.M., Fernandes, L.A.D., Vignol-Lelarge, M.L., Oliveira, L.D., Ramos, R.C., 2016. Further evidence of 777 Ma subduction-related continental arc magmatism in Eastern Dom Feliciano Belt, southern Brazil: the Chácara das Pedras Orthogneiss. *Journal of South American Earth Sciences*, 68, 155–166.
- Kraemer, G., Soliani Jr., E., Fernandes, L.A.D., Nardi, L.V.S. 1995. Acreção Juvenil Brasileira na Porção Oeste do Escudo Sul-Rio-Grandense: A Suíte Ortometamórfica Imbicuí.. In: V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos – SNET. Boletim de Resumos Expandidos, Gramado, RS v. 1. p. 50-51.
- Laurent, O., Couzinie, S., Zeh, A., Vanderhaeghe, O., Moyen, J-F., Arnaud, V., Gardien, V., Chelle-Michou, C., 2017. Protacted coeval crust and mantle melting during Variscan late-orogenic evolution: U-Pb dating in the eastern French Massif Central International. *Journal of Earth Sciences*, 106(2), 421-451.
- Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., McNaughton, N.J., Chemale Jr., F., 1998. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil. *International Geology Review*, 40, 688–705.
- Lenz, C., Porcher, C.C., Fernandes, L.A.D., Masquelin, H., Koester, E., Conceição, R.V., 2012. Geochemistry of the Neoproterozoic (800 - 767 Ma) Cerro Bori orthogneisses, Dom Feliciano belt in Uruguay: tectonic evolution of an ancient continental arc. *Mineralogy and Petrology*, 1, 10.
- Menegat, R., Fernandes, L.A.D., Koester, E., Scherer, C.M.S., 1998. Porto Alegre antes do Homem: evolução geológica. Em: Menegat R., Porto, M.L., Carraro, C.C., Fernandes, L.A.D., (Eds). *Atlas Ambiental de Porto Alegre*, Editora Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp. 11-24.
- Moyen, J-F., 2019. Archean granitoids; classification, petrology, geochemistry and origin, 2019. Université de Lyon, Laboratoire Magmas et Volcans Special Publication - Geological Society of London, Archean granitoids of India; windows into early Earth tectonics, Vol.489.
- Nardi, L.V.S., Hartmann, L.A., 1979. O Complexo Santa Maria Chico do Escudo Sul-riograndense. *Acta Geologica Leopoldensia*, 6, 45-75.

- Nardi, L.V.S., Bonin, B., 1991. Post-orogenic and non-orogenic alkaline granite associations: the Saibro intrusive suite, southern Brazil – A case study. *Chemical Geology*, 92:197-211.
- Niu P.P., Jiang, S.Y., 2019. Petrogenesis of the Late Mesozoic Qijinfeng Granite Complex in the Tongbai orogen: Geochronological, geochemical and Sr-Nd-Pb-Hf isotope evidence. *Lithos*, 37, 335-347.
- Oliveira, L.D., Koester, E., Soliani Jr. E., 2001. Geoquímica das rochas graníticas pós-transcorrentes da região de Porto Alegre e Viamão, RS. *Geochimica Brasiliensis*, 15 (1/2), 65-92.
- Paim, P.S.G., Chemale Jr. F., Lopes, C., 2000. A Bacia do Camaquã. Geologia do Rio Grande do Sul, CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p. 231-274.
- Pearce, J. 1996. Sources and Settings of Granitic Rocks. *Episodes*, 19(4), 120-125.
- Pearce, J. A., Harris, N. Bw., Tindle, A. G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- 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.
- Philipp, R.P. 1990. *Geologia e Petroquímica dos granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas. RS. Porto Alegre*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 231p.
- Philipp, R.P., Mesquita, M.J.M., Gomes, M.E.B., Almeida, D.P.M., 1993. Reconhecimento Estrutural e Geoquímico dos Granitóides Brasileiros da Região de Pelotas, RS. *Pesquisas em Geociências*, 20(1), 39-48.
- Philipp R.P., Rego, I.T.S.F., Siviero, R.S., 1994. Geologia dos granitóides da região de Porto Alegre. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., Balneário de Camboriú, 1994. Boletim de Resumos Expandidos...Balneário Camboriú: SBG., v.2, p.98-99.

- Philipp, R.P. 1995. Condições de posicionamento do plutonismo da Suíte Dom Feliciano na região de Porto Alegre, RS. *In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 5., Gramado, Boletim de Resumos Expandidos...Gramado: SBG., p.207-208.
- Philipp, R.P. 1998. *A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 371p.
- Philipp, R.P., Machado, R., Nardi, L.V.S., 1998. Magmatismo Granítico Neoproterozoico tardi a pós-colisional da região de Porto Alegre, RS. *In: H. Conceição (Ed). Contribuição ao Estudo dos Granitos e Rochas Correlatas. Publicação Especial n 5. Ed. Sociedade Brasileira de Geologia*, p.129-152.
- Philipp, R.P. & Machado R. 2001. Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3) 257-268.
- 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 de geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2), 277-290.
- Philipp, R.P. & Campos, R.S. 2004. Geologia, petrográfica e litogeoquímica dos Gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: implicações geotectônicas. *Pesquisas em Geociências* 31(2), 79–94.
- Philipp, R.P. & Machado R. 2005. The Late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 19, 461-478.
- Porcher, C.C., McNaughton, N.J., Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., Fernandes, L.A.D., 1999. Idade SHRIMP em zircão: vulcanismo ácido do Complexo Metamórfico Porongos. *In: I Simpósio Sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, Gramado. Abstracts*, pp. 110.
- Ramos, R.C., Toniolo, J.A., Pinto, G.R., Koester, E., 2014. Zona de cisalhamento (sutura) de Arroio Grande e o novo Domínio Geofísico Sudeste (Escudo Sul-rio-grandense): discussões baseadas em dados geofísicos e de campo. *In: VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre. Book of Abstracts*.



- 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.
- Remus, M.V.D., Camatti, C., Macambira, M.B., Nunes, L.C., 2002. Precious and base-metal mineralization linked to Neoproterozoic granites in the Rio Grande do Sul Shield, southern Brazil: are they connected to the E-W Camaquã Lineament. In: 41 Congresso Brasileiro de Geologia, 2002, João Pessoa. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*.
- Rollinson, H.R. 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Routledge.
- Schneider, A.W., Loss, E.L., Pinto, J.F., 1974. Mapa Geológico da Folha de Porto Alegre, RS. Porto Alegre, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Shukowsky, W., Vasconcellos, A.C.B.C., Mantovani, M.S.M., 1991. Estruturação dos terrenos pré-Cambrianos da região sul do Brasil e oeste do Uruguai: Um estudo por modelamento gravimétrico. *Revista Brasileira de Geofísica*, 9(2), 275-287.
- Tambara, G.B., Koester, E., Ramos, R.C., Porcher, C.C., Vieira, D.T., Fernandes, L.A.D., Lenz, C., 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*, 46, 1-21.
- Vieira, D.T., Ramos, R.C., Koester, E., Vignol-Lelarge, M.L., Porcher, C.C., Gonzati, C., Gomes, M.E.B., Barbosa, L.D., Pinto, T.F., 2019. Petrografia e química mineral do Granito São Geraldo: evidências de magmatismo peraluminoso na região de Porto Alegre, RS. *Pesquisas em Geociências*, 46, 1-21.
- Whalen, J.B., Currie, K.L., Chapell, B.W., 1987. A-types granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95, 407-419.

Zindler A. & Hart S. 1986. Chemical geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 493-571.

## 10. ARTIGO SUBMETIDO

### Sources of neoproterozoic post-collisional granites from the northeastern portion of the Dom Feliciano Belt, RS, Brazil: Sr, Nd and Pb isotopic constraints

Mariana da Silva Assis<sup>a,b\*</sup>, Edinei Koester<sup>b</sup>, Felipe Padilha Leitzke<sup>b</sup>, André Abreu Martins<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PO Box 15001, zip code 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil E-mail: assis.mari@gmail.com, andreabreumartins@yahoo.com.br

<sup>b</sup> Instituto de Geociências, Laboratório de Geologia Isotópica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves Avenue, 9500, zip code 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: koester@ufrgs.br, felipe.leitzke@ufrgs.br

**Abstract.** The Dom Feliciano Belt, located in southern Brazil, is a mobile belt formed during the neoproterozoic, in response to the collision between three cratons: Kalahari, Congo and Rio de la Plata. In the eastern domain of this belt, more precisely in its NE portion, the Porto Alegre region is characterized by the presence of numerous neoproterozoic granites with crystallization ages of ca. 600 Ma, which intruded older calc-alkaline gneisses from the basement that was generated during a previous subduction event. In this work we present new isotopic data (Sr-Nd-Pb), which integrated with previous data suggest that the Viamão Intrusive Suite ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600\text{Ma})} = 0.708920-0.716871$ ;  $\epsilon\text{Nd}_{(600)} = -6.0$  to  $-6.7$ ;  $T_{\text{DM}} = 1.4-1.5$  Ga;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.20657-19.71906$ ) has magmatic sources with a depleted mantle (DM) signature, which interacted with a paleoproterozoic crust with isotopic signatures similar to the Arroio dos Ratos complex. For the Porto Alegre Intrusive Suite, isotopic data ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600\text{Ma})} = 0.709081-0.743773$ ;  $\epsilon\text{Nd}_{(600)} = -4.2$  to  $-8.3$ ;  $T_{\text{DM}} = 1.3-1.8$  Ga;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.89154-22.19739$ ) suggest a source comprised by a mantle component originated by partial melting of a recycled oceanic plate (HIMU) and mixed with a continental crust of tonian-cryogenian age, similar to the Chacara das Pedras Gneiss. The Itapuã Intrusive Suite ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600\text{Ma})} = 0.711615-0.873336$ ;  $\epsilon\text{Nd}_{(600)} = -1.6$  to  $-6.0$ ;  $T_{\text{DM}} = 1.2-1.6$  Ga;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.44917-22.20464$ ) has a mantle source similar to HIMU, although with a crust component depleted in Nd when compared to the Porto Alegre Intrusive Suite. All these granitic rocks are related to Neoproterozoic post-collisional settings, where previous subduction events, as well as oceanic plates relicts and DM

components produced mantle-derived magmas mixed with crustal components. This process led to the extensive granite generation and the wide diversity of granites registered in the NE sector of the Dom Feliciano Belt an environment similar to those proposed to the genesis of granites associated with a “Deep Hot Zone”.

**Keywords.** Dom Feliciano Belt, magmatic sources, HIMU, DM, Deep Hot Zone, Porto Alegre.

## 1. Introduction

Isotope geology is an important field of geochemistry, which gathers and applies, to the most diverse purposes in geology, all methods and analytical procedures that quantify precisely isotope ratios of certain elements (Rollinson, 1993; Gill, 2010).

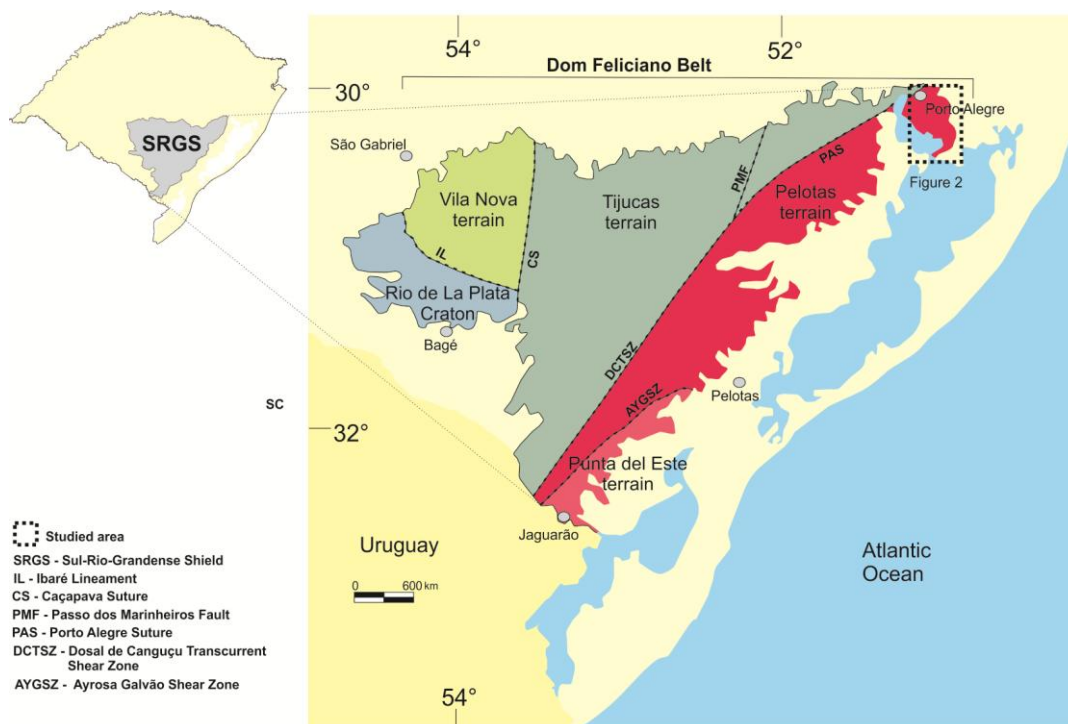
Variations in isotope ratios of chemical elements are a consequence of natural processes. Stable isotope fractionation occurs mainly for light elements and provides important information for paleoceanography, paleoclimatology and glaciology studies, while for unstable nuclei, radioactive decay produces isotope fractionation with radiogenic isotope being accumulated in a material over time. Radiogenic isotopes are widely applied in petrology to provide information about the following topics: 1) determine the nature and composition of the magmatic sources; 2) identify the isotopic signature of a mantle derived source (e.g., depleted mantle – DM, enriched mantle – EM, HIMU); 3) identify the presence of crustal level (lower or upper) and ages of continental crust involved in the origin of rocks; 4) obtain an age of a given rock by geochronology and radiometric dating; 5) determine the most likely tectonic setting involved during the formation of a given geological unit (Faure e Mensing, 2005, Dickin, 2018). Thus, radiogenic isotopes are extensively applied in geochemistry and petrology to determine crystallization or metamorphic age of minerals and rocks as well as to identify the geological processes and magmatic sources in petrogenetic studies. There is a broad application of radiogenic isotope geochemistry to the study of granites (e.g. Qijinfeng Granite Complex, Niu and Jiang, 2019; Santa Luzia Granite Suite, Alves *et al.*, 2019; Mt. Kinabalu Granite, Burton-Johnson *et al.*, 2019), being the focus of this study.

Granitic bodies represent a significant proportion of the continental masses. They can constitute bodies with large extensions (hundreds of km), with both lateral and vertical variations. Regarding its genesis, since the source rocks have been only partially melted, large volumes of rocks might have been involved in their generation. Therefore, they can provide information on the composition, state, and history of their sources, as well, in a bigger scenario, about the evolution of the continents (Allegre and Ben Othman, 1980; De Paolo, 1981, Pearce, 1996; Laurent *et al.*, 2017; Moyen *et al.*, 2019). The importance of the application of radiogenic isotopes to evaluate magmatic processes is because isotopic ratios are considered to be unchanged during such processes and, in consequence, reflect directly the magmatic sources (Allegre, 2012), while major and trace elements are strongly fractionated during magmatic processes.

At the Porto Alegre region (RS, Brazil), located in the NE portion of the Dom Feliciano Belt, there is a wide occurrence of granitic rocks that can provide important information regarding their origin, by tracking magmatic processes and their sources. Therefore, our aim is to show new isotope data (Sr-Nd-Pb) obtained for all granites from the Porto Alegre area and apply them to propose a petrological evolution model for these units and during crust formation at the post-collisional stages of the Brasiliano/Pan-African orogenic cycle.

## **2. Geological setting**

The study area is located at the Porto Alegre municipality and part of its metropolitan area (Alvorada, Cachoeirinha, Gravataí e Viamão). The area comprises a total of approximately 900 km<sup>2</sup>, between the parallels 29°56'15" to 30°24'00" S and meridians 50°55'00" to 51°16'00" W. The work developed in this study included the cartographic sheet of Porto Alegre and part of the sheets of Itapuã, Desertas, Passo do Vigário, Guaíba, Gravataí and Novo Hamburgo (1: 50.000). This region is inserted in the geological context of the Sul-riograndense shield (Fig. 1), more specifically in the northeast portion of the Dom Feliciano Belt in Rio Grande do Sul.



**Figure 1.** Simplified geological map of the Sul-río-grandense shield with the main tectonic domains, their limits and the study area (dashed rectangle).

The Sul-río-grandense shield can be divided by a cratonic area, the Río de la Plata craton to the West, and the Dom Feliciano Belt at the center and east portion. Additionally, the Dom Feliciano Belt is divided into four tectonic domains/terrains: a) Western Domain or Vila Nova terrain, b) Central domain of Tijucas terrain, c) Eastern domain or Pelotas Batholith and d) Southeastern domain or Punta del Este terrain.

At the Río de la Plata craton, paleoproterozoic rocks from the Santa Maria Chico granulitic complex predominate, which are interpreted as formed in a magmatic arc at approximately 2.4 Ga (Nardi and Hartmann, 1979, Girelli *et al.*, 2019). The rest of the Sul-río-grandense shield is represented by mainly neoproterozoic rocks originated during the Brasiliano/Pan-African orogenic cycle, and divided into four domains (terrains, blocks or batholith), mentioned above, based on geological and geophysical criteria (Fernandes *et al.*, 1995, Costa, 1997, Ramos *et al.*, 2014; Hartmann *et al.*, 2016, Cruz, 2019).

At the western domain, there is a prevalence of igneous and metamorphic rocks related to two magmatic arcs and fragments of oceanic crust, as well as associated volcano-sedimentary basins (Kraemer, 1995; Leite *et al.*, 1998), while at the central domain predominate metasedimentary rocks associated with back-arc or fore-arc basins, as well as orthoderived paleoproterozoic rock

fragments (Porcher *et al.*, 1999, Remus *et al.*, 2002; Philipp *et al.*, 2004, Gregory *et al.*, 2015). At the eastern domain, mainly cryogenian granites occur, originated in a magmatic arc setting and/or during its post-collisional stage, with extensive production of magmatism at shear zones (Philipp, 1998; Koester *et al.*, 2002; Bitencourt and Nardi, 2000). At the southeastern portion of the shield, metasedimentary rocks associated with back-arc or fore-arc basins also occur, as well as fragments from the oceanic floor. Besides, paraderived rocks of tonian age also occur also originated in a magmatic arc setting (Lenz *et al.*, 2012; Peel *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2018, Cruz, 2019). At the end of this orogenic cycle, on the transition between the neoproterozoic-cambrian, there is the formation of a volcano-sedimentary basin at the center-west portion of the shield, called Camaquã Basin (Paim *et al.*, 2000), which has volcanic episodes linked to systematic intrusion of plutons in the area of the Sul-rio-grandense shield.

The study area, in the Porto Alegre region, is located on the geological context of the eastern domain or Pelotas Batholith, on the Dom Feliciano Belt. This batholith covers an area of approximately 40,000 km<sup>2</sup>, with occurrences registered from the state of Santa Catarina to the north until Uruguay to the south. (Shukowsky *et al.*, 1991, Hallinan *et al.*, 1993, Bitencourt and Nardi, 2000). At the Pelotas Batholith, Philipp (1998) identified six granitic suites (Pinheiro Machado, Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira e Dom Feliciano), as well a syenitic suite, the Piquiri Sienite. In addition to these units, rock fragments of tonian age are also identified (Piratini Gneisses, Tambara *et al.*, 2019), as well as diorite bodies (562 Ma: Alto Alegre diorite, Barbosa *et al.*, 2017) and gabbros (591 Ma: Passo da Fabiana Gabbro, Dal Olmo-Barbosa *et al.*, 2018). Thus, the Pelotas Batholith has its main geodynamic evolution in the range of 780 to 562 Ma.

Still about its geological evolution, the Pelotas Batholith has been interpreted as the result of the sum of several tectonic processes that occurred in the Brasiliano/Pan-african orogenic cycle. These processes comprise oceanic crust subduction events on a thick continental margin (Figueiredo *et al.*, 1990, Philipp, 1990, Fragosó-Cesar, 1991, Philipp *et al.*, 1993, Philipp, 1998, Chemale Jr, F., 2000, Basei *et al.*, 2018), continental collision (Hartmann *et al.*,

2000, Philipp and Machado, 2001) and post-collisional late reactivations from mantle sources (Bitencourt and Nardi, 1993, 2000; Hueck *et al.*, 2018).

In the Porto Alegre region (Fig. 2) there are several exposures of granites with ages of around  $600 \pm 10$  Ma (Santana Granite, Koester *et al.*, 2001) related to the final stages of the Brasiliano/Pan-african orogenic cycle. The granites in the region generally have elongated shapes according to the NE-SW direction, in agreement with the main regional structures, which suggests a positioning of the intrusion controlled by the Brasiliano cycle tectonic features (Schneider, 1974; Menegat *et al.*, 1998; Philipp, 1998; Oliveira *et al.*, 2001; Philipp and Machado, 2005; Koester *et al.*, 2001; 2016).

In this same region, the oldest rocks are the paraderived Ponta Grossa Gneisses, occurring in the form of xenoliths in the Chácara das Pedras Gneisses (Oliveira *et al.*, 2001). The Chácara das Pedras Gneiss (Fig. 3a) is orthoderived, has tonalitic composition and crystallization age of  $777.3 \pm 3.6$  Ma, with metamorphism of amphibolite facies around 660 Ma (U-Pb SHRIMP in zircon, Koester *et al.*, 2016). Philipp and Campos (2004) characterize the Chácara das Pedras Gneiss (or Porto Alegre Gneisses) as having a medium-K calc-alkaline affinity, related to an active continental margin environment. The Chácara das Pedras Gneiss, in turn, occurs as xenoliths and/ or roof pendants in the Três Figueiras Granodiorite (ca. 680 Ma, Koester *et al.*, 2016). These three units constitute the neoproterozoic basement of the region, later intruded by granites along the syntranscurrent Porto Alegre, Lomba do Sabão and São Geraldo shear zones (Menegat *et al.*, 1998; Vieira *et al.*, 2019).

The post-collisional stage, associated with the post-transcurrent tectonics in Porto Alegre (Oliveira *et al.*, 2001), consists of 12 granitic bodies grouped in the following suites, based on geochemical, petrographic and structural criteria: (i) Viamão Intrusive Suite (Saint Hilaire and Pitinga), (ii) Porto Alegre Intrusive Suite (Independência, São Caetano, Feijó, Lami, São Pedro and Restinga granites) e (iii) Itapuã Intrusive Suite (Santana, Cantagalo, Santo Antônio and Passo das Pedras granites).

The **Viamão Intrusive Suite (VIS)** is composed of Saint Hilaire and Pitinga granites (Fig. 3b), which are porphyritic monzogranites and granodiorites with alkali- feldspar megacrystals, immersed in medium to fine equigranular matrix, with massive structure, sometimes showing a marked

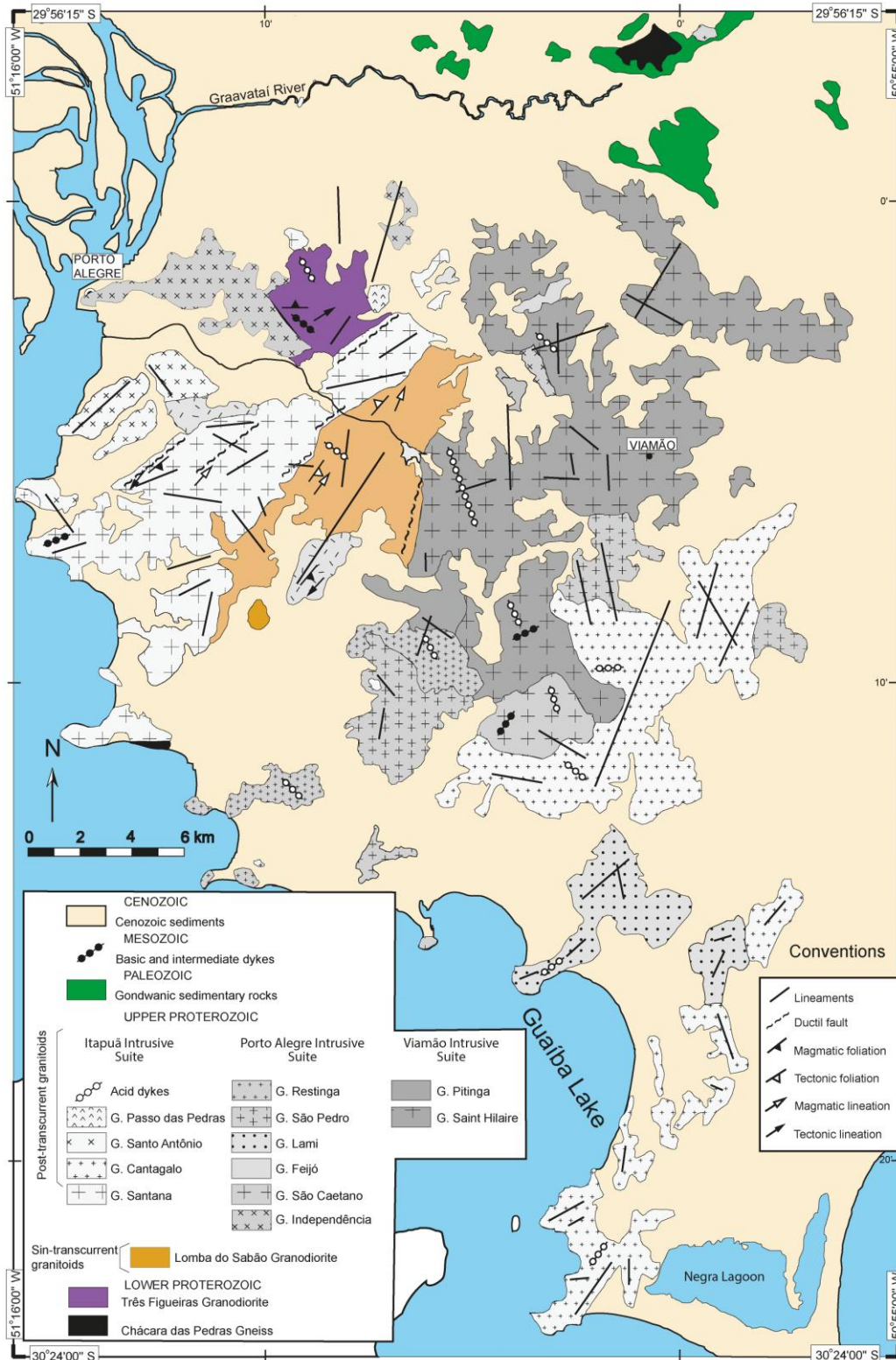


igneous foliation by alignment of the megacrystals. In the matrix, perthite alkali-feldspars occur, in addition to plagioclase, quartz, biotite and hornblende, with titanite as an accessory mineral.

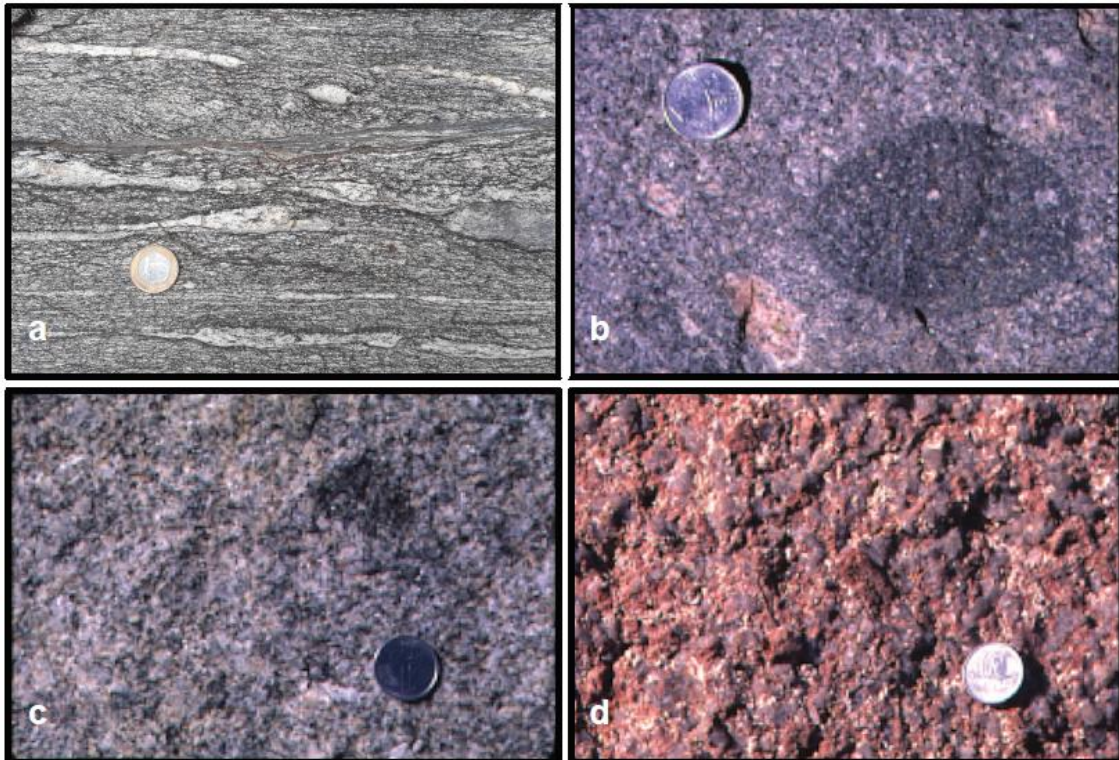
The **Porto Alegre Intrusive Suite (PAIS)** is formed by the Independência (Fig. 3c), São Caetano, Feijó, Lami, São Pedro, and Restinga granites. These granites range from monzogranites to syenogranites with medium equigranular texture, sometimes porphyritic (K-feldspar). Generally, these granites are massive with a pinkish gray color, composed of K-feldspar, plagioclase, quartz, biotite and, subordinately, hornblende.

The **Itapuã Intrusive Suite (IIS)** is formed by syenogranitic rocks with a reddish-pink color. The Santana (Fig. 3d), Cantagalo and Santo Antônio granites, which make up this suite, occur as approximately circular or elongated intrusions in the NE-SW direction, presenting a thick equigranular texture, with rare, massive K-feldspar phenocrysts. K-feldspar and quartz are the main minerals, and subordinately plagioclase and biotite. It also occurs as small stocks with subvolcanic textures (Passo das Pedras Granite). Rhyolitic dykes that intrude the two oldest suites and pegmatitic and aplitic injections are related to the final phase of this magmatism.

Oliveira *et al.* (2001) presents the geochemical characterization of these suites. The Viamão Intrusive Suite has high-K calc-alkaline affinity, while the Porto Alegre Intrusive Suite has characteristics similar to the more developed calc-alkaline series. The Itapuã Intrusive Suite shows characteristics compatible with metaluminous granites of alkaline affinity.



**Figure 2.** Geological map of the Porto Alegre region (RS, Brazil), northeastern portion of the Dom Feliciano Belt (modified from Oliveira *et al.*, 2001).



**Figure 3.** Textures found in the Porto Alegre region rock outcrops. a) Chacara das Pedras gneiss (Porto Alegre Intrusive Suite – PAIS, 777 Ma), b) Pitinga granite, (Viamão Intrusive Suite – VIS), c) Independência granite (Porto Alegre Intrusive Suite - PAIS), d) Santana granite (Itapuã Intrusive Suite - IIS, 600 Ma).

### 3. Materials and methods

The field campaign aimed to gather textural and structural data in macro and mesoscale of the granites, as well as the systematic representative sampling of each unit to petrographic studies and isotopic analyzes. The major and trace element data were compiled from Oliveira *et al.* (2001) and the geochemical and isotopic diagrams produced using the GCDKit software (Janousek *et al.*, 2006). Twenty-three whole-rock samples were selected for the Sr-Nd-Pb isotopic analyzes, carried out at the Laboratório de Geologia Isotópica (LGI), Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq), Instituto de Geociências (IGeo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

The pulverized whole-rock samples (< 200 mesh) were weighed (0.1 g) in teflon flasks (Savillex), and 15 drops of concentrated HNO<sub>3</sub> were added using a precision balance. For the Sm-Nd analysis, 100 µL of mixed spike were added, while the Sr and Pb analyzes were performed without adding spikes. Specific procedures were used in the total dissolution of the samples in hot plate, with different volumes and concentrations of HF, HNO<sub>3</sub> and HCl. After dissolution,

the samples were diluted in 3 mL of 2.5 N HCl and placed in polypropylene test tubes.

The separation of Sr, Sm and Nd was carried out using chromatographic columns filled with cation exchange resin Bio Rad AG-50W-X8 (200-400 mesh) and anionic Eichrom LN-B50-S (50-100  $\mu\text{m}$ ), according to standardized procedures involving dilution with HCl. The samples of each Sr, Sm and Nd solutions were dried on the hot plate and deposited with the aid of 2  $\mu\text{L}$  of 0.25 N  $\text{H}_3\text{PO}_4$  to dissolve the residue on double filaments of rhenium (Re). For Pb isotope measurements, a 1 mL aliquot of the same whole-rock solution was used. The separation of Pb was done through chromatographic columns filled with anion exchange resin Eichrom PN A8-B500-F-CL (200-400 mesh), according to procedures involving HBr. The Pb solutions were dried on the hot plate and deposited in a single Re filament using a mixture of 3  $\mu\text{L}$  silica gel and 3  $\mu\text{L}$   $\text{H}_3\text{PO}_4$  0.25 N. The isotopic analyzes were carried out using a Thermo Fisher multicollector mass spectrometer TRITON™ Plus - Thermal Ionization Mass Spectrometry (TIMS), using faraday collectors in static mode.

The Nd and Sr ratios were normalized to  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$  and  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ , respectively. The  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  ratio was calculated from the elemental concentration of Rb and Sr. The standards used to check the stability of the equipment were the NIST NBS-987 standards for  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710260 \pm 0.000014$ , JNdl for  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511859 \pm 0.000010$  and NIST NBS-981 for  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.9406 \pm 0.000003$ . The blanks obtained were less than 100 ng for Sr, Sm and Pb and less than 60 ng for Nd. The initial isotope ratios of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and initial  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  for all samples were recalculated using the age of the Santana Granite ( $600 \pm 10$  Ma, Koester *et al.*, 2001).

## 4. Results

### 4.1 Sr-Nd-Pb isotopic analyzes of the Viamão Intrusive Suite (VIS)

Four samples from the Viamão Intrusive Suite were analyzed for Sr, Sm-Nd and Pb-Pb (Table 1) isotopes, two of them from the Pitinga Granite (PMP 53, PMP 112), and two of Saint Hilaire Granite (PMP 87, PMP 123).

The isotopic values of the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600 \text{ Ma})}$  ratio ranged from 0.708920 to 0.716871, and the Pitinga Granite has lower ratios than Saint Hilaire Granite. The isotopic values of the  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600 \text{ Ma})}$  ratio ranged from 0.511520 to 0.511559. The  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600)}$

ratio for Pitinga Granite ranges from 0.511545 to 0.511559, the  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  values range from -6.0 to -6.3, while the Sm-Nd model age,  $T_{\text{DM}}$ , was around 1.4 Ga. The  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600)}$  ratio for Saint Hilaire granite ranges from 0.511520 to 0.511558,  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  values range from -6.0 to -6.7, while the  $T_{\text{DM}}$  age ranges from 1.4 Ga to 1.5 Ga.

The isotopic values of the  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratio for Pitinga granite ranged from 15.56039 to 15.58720 and 18.20657 to 18.31879 respectively. For Saint Hilaire granite, the  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios ranged from 15.75359 to 15.75831 and 19.54848 to 19.71906, respectively.

**Table 1.** Results of Rb-Sr, Sm-Nd and Pb-Pb isotopic analyses for the Viamão Intrusive Suite.

Unity Sample	Pitinga Granite		Saint Hilaire Granite	
	PMP 53	PMP 112	PMP 87	PMP 123
<b>Sr (ppm)</b>	437	425	297	146
<b>Rb (ppm)</b>	126	132	236	286
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.715926	0.716426	0.736075	0.763714
<b>error (abs.)</b>	0.000005	0.000009	0.000009	0.000007
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.814399	0.877270	2.244418	5.533010
<b>error (%)</b>	0.0811440	0.087727	0.224442	0.553301
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.715926	0.716426	0.736075	0.763714
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(i)$	0.708958	0.708920	0.716871	0.716371
<hr/>				
<b>Sm (ppm)</b>	6.5	7.1	6.2	4.9
<b>Nd (ppm)</b>	42.6	47.2	43.9	26.2
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.091795	0.091424	0.085143	0.112629
<b>SE (%)</b>	0.109980	0.110426	0.118573	0.089636
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ( $t=0$ )	0.511920	0.511904	0.511855	0.512001
<b>error (ppm)</b>	5	4	2	11
<b><math>\epsilon\text{Nd}(0)</math></b>	-14.0	-14.3	-15.3	-12.4
<b><math>\epsilon\text{Nd}(t)</math></b>	-6.0	-6.3	-6.7	-6.0
<b><math>T_{\text{DM}}</math></b>	1398	1413	1402	1562
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(t)$	0.511559	0.511545	0.511520	0.511558
<hr/>				
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	38.61502	38.66926	39.37313	39.03842
<b>error (abs.)</b>	0.00221	0.00219	0.00843	0.00392
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	15.56039	15.58720	15.75359	15.75831
<b>error (abs.)</b>	0.00088	0.00086	0.00276	0.00163
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	18.20657	18.31879	19.54848	19.71906
<b>error (abs.)</b>	0.00108	0.00107	0.00314	0.00196
$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2.12091	2.11094	2.01410	1.97969
<b>error (abs.)</b>	0.00007	0.00002	0.00017	0.00007
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0.85446	0.85069	0.80569	0.79895
<b>error (abs.)</b>	0.00002	0.00001	0.00003	0.00002

#### 4.2. Sr-Nd-Pb Isotopic analyzes of the Porto Alegre Intrusive Suite (PAIS)

Ten samples from the Porto Alegre Intrusive Suite were analyzed for Sr and Sm-Nd and eleven samples were analyzed for Pb-Pb (Table 2), being two samples for the Independência granites (PMP 121, PMP 127), Feijó (PMP 33, PMP 102), Lami (PMP 77, PMP 124), São Pedro (PMP 98B, PMP 79), Restinga (PMP 50, PMP 70), and one sample for the São Caetano granite (PGP 100-B).

The isotopic values of the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600 \text{ Ma})}$  ratio ranged from 0.729581 to 0.743773 for the Independência granite, from 0.729935 to 0.729983 for the Feijó granite, from 0.709081 to 0.710627 for the Lami granite and from 0.717913 to 0.719657 for the São Pedro granite. For the Restinga granite the value was 0.710573, and for São Caetano granite the ratio was 0.712379.

The isotopic values of the  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratio at the time of the rock crystallization age (600 Ma) ranged from 0.511439 to 0.511651. The  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600)}$  ratio for Independence granite ranges from 0.511439 to 0.511477, the  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  values range from -7.6 to -8.3, while the Sm-Nd model age,  $T_{\text{DM}}$ , was around 1.6 Ga. The  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600)}$  ratio for Feijó granite ranges from 0.511453 to 0.511465, the  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  values range from -7.8 to -8.0, while the Sm-Nd,  $T_{\text{DM}}$  model age ranges from 1.5 to 1.6 Ga. The  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600)}$  ratio for Lami granite ranges from 0.511564 to 0.511651, and the  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  values ranging from -4.2 to -5.9, while the Sm-Nd model age,  $T_{\text{DM}}$ , ranges from 1.3 to 1.4 Ga. The  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600)}$  ratio for São Pedro granite ranges from 0.511505 to 0.511511, the  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  values were around -7.0, while the Sm-Nd model age,  $T_{\text{DM}}$ , ranges from 1.4 to 1.8 Ga. For Restinga granite, the ratio  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600)}$  was 0.511573,  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  was -5.7 and the model age Sm-Nd,  $T_{\text{DM}}$ , was 1.3 Ga, and for São Caetano granite the ratio value  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600)}$  was 0.511636,  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  was -4.5 and the model age Sm-Nd,  $T_{\text{DM}}$ , was 1.3 Ga.

The isotopic values of the  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratio for the Independência granite ranged from 15.72719 to 15.84971 and 18.89154 to 21.21748 respectively. For Feijó granite they varied from 15.71791 to 15.83048 and 19.43338 to 20.71026, for Lami granite they ranged from 15.65661 to 15.74584 and 19.53408 to 20.16291, for São Pedro granite they ranged from 15.69308 to 15.72528 and 19.11144 to 19.27374, for the Restinga granite from 15.66773 to 15.73879 and from 19.41730 to 20.61155. For the São Caetano

granite the value of the  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratio was 15.83982 and 22.19739 was obtained for the  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratio.

**Table 2.** Results of Rb-Sr, Sm-Nd and Pb-Pb isotopic analyses for the Porto Alegre Intrusive Suite. n.a: not analyzed

Unity Sample	Independência Granite		Feijó Granite		Lami Granite		São Pedro Granite		Restinga Granite		São Caetano Granite
	PMP 121	PMP 127	PMP 33	PMP 102	PMP 77	PMP 124	PMP 98 B	PMP 79	PMP 50	PMP 70	PGP 100-B
<b>Sr (ppm)</b>	81	170	104	87	124	101	221	48	150	n.a	261
<b>Rb (ppm)</b>	380	274	353	410	202	242	290	270	243		302
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.857154	0.768534	0.811967	0.843878	0.748451	0.768620	0.749626	0.855602	0.749725		0.740343
<b>error (abs.)</b>	0.000009	0.000014	0.000021	0.000006	0.000017	0.000031	0.000010	0.000010	0.000084		0.000008
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	13.250945	4.552500	9.587153	13.311068	4.601273	6.767718	3.706415	15.888058	4.575761		3.268246
<b>error (%)</b>	1.325095	0.455250	0.958715	1.331107	0.460127	0.676772	0.370641	1.588806	0.457576		0.326825
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.857154	0.768534	0.811967	0.843878	0.748451	0.768534	0.749626	0.855602	0.749725		0.740343
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(i)$	0.743773	0.729581	0.729935	0.729983	0.709081	0.710627	0.717913	0.719657	0.710573		0.712379
<b>Sm (ppm)</b>	7.0	7.8	21.1	11.6	6.1	5.7	3.2	8.7	1.3	n.a	3.7
<b>Nd (ppm)</b>	39.7	43.5	120.8	75.4	35.5	35.6	20.9	39.7	9.4		23.6
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.107260	0.108245	0.105770	0.093182	0.104121	0.097059	0.092634	0.132156	0.085077		0.094143
<b>SE (%)</b>	0.094123	0.093266	0.095449	0.108343	0.096961	0.104015	0.108984	0.076392	0.118665		0.107237
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t=0)}$	0.511899	0.511865	0.511869	0.511831	0.511973	0.512033	0.511869	0.512030	0.511908		0.512006
<b>error (ppm)</b>	3	6	3	18	41	7	6	13	18		9
$\epsilon \text{ Nd}(0)$	-14.4	-15.1	-15.0	-15.7	-13.0	-11.8	-15.0	-11.9	-14.2		-12.3
$\epsilon \text{ Nd}(t)$	-7.6	-8.3	-8.0	-7.8	-5.9	-4.2	-7.0	-6.9	-5.7		-4.5
$T_{DM}$	1628	1692	1648	1525	1480	1314	1470	1880	1340		1317
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t)}$	0.511477	0.511439	0.511453	0.511465	0.511564	0.511651	0.511505	0.511511	0.511573		0.511636
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	39.51635	39.05865	42.22403	40.47088	40.17349	39.74307	38.86740	39.36205	38.97806	38.56650	39.086930
<b>error (abs.)</b>	0.00196	0.00243	0.00479	0.00249	0.00509	0.00225	0.00607	0.01024	0.00282	0.00214	0.006499
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	15.84971	15.72719	15.83048	15.71791	15.74584	15.65661	15.69308	15.72528	15.73879	15.66773	15.839826
<b>error (abs.)</b>	0.00079	0.00099	0.00158	0.00077	0.00152	0.00087	0.00238	0.00330	0.00114	0.00074	0.002770
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	21.21748	18.89154	20.71026	19.43338	20.16291	19.53408	19.11144	19.27374	20.61155	19.41730	22.197391
<b>error (abs.)</b>	0.00107	0.00122	0.00176	0.00084	0.00192	0.00108	0.00278	0.00344	0.00148	0.00095	0.003717
$^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1.86239	2.06750	2.03885	2.08247	1.99250	2.03453	2.03371	2.04224	1.89106	1.98580	1.760833
<b>error (abs.)</b>	0.00002	0.00002	0.00011	0.00006	0.00009	0.00002	0.00006	0.00021	0.00002	0.00004	0.000033
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0.74682	0.83229	0.76418	0.80863	0.78075	0.80132	0.82095	0.81570	0.76341	0.80663	0.713447
<b>error (abs.)</b>	0.00001	0.00001	0.00002	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00004	0.00001	0.00002	0.000015



### 4.3 Sr-Nd-Pb Isotopic analyzes of the Itapuã Intrusive Suite (SII)

Seven samples from the Itapuã Intrusive Suite were analyzed for Sr and Sm-Nd, and nine samples were analyzed for Pb-Pb (Table 3), being four samples of Santana granite (PMP 36, PMP 46, PGP 41, PGP 45), two of Santo Antônio granite (PMP 29, PGP 20A) and three of Cantagalo granite (PGP 91A, PGP 148, PGP 188). The isotopic values of the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(600\text{ Ma})}$  ratio ranged from 0.711615 to 0.831350 for Santana granite and 0.739289 to 0.873336 for Cantagalo granite.

The isotopic values of the  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600\text{ Ma})}$  ratio ranged from 0.511559 to 0.511780. The  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600\text{ Ma})}$  ratio for Santana granite ranges from 0.511598 to 0.511756, while  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  values range from -2.1 to -5.2 and the  $T_{\text{DM}}$  age ranges from 1.2 to 1.7 Ga. The  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(600\text{ Ma})}$  ratio for Cantagalo granite ranges from 0.511559 to 0.511780,  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  values range from -1.6 to -6.0, while the  $T_{\text{DM}}$  age ranges from 1.2 to 1.6 Ga.

The isotopic values of the  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratio for Santana Granite ranged from 15.63232 to 15.68272 and 19.00542 to 19.88909 respectively, for Santo Antônio granite ranged from 15.74152 to 15.90676 and 20.11616 to 22.20464, and for Cantagalo granite varied from 15.60 to 15.62825 and 18.44917 to 19.37164.

**Table 3.** Results of Rb-Sr, Sm-Nd and Pb-Pb isotopic analyses for the Itapuã Intrusive Suite. n.a: not analyzed

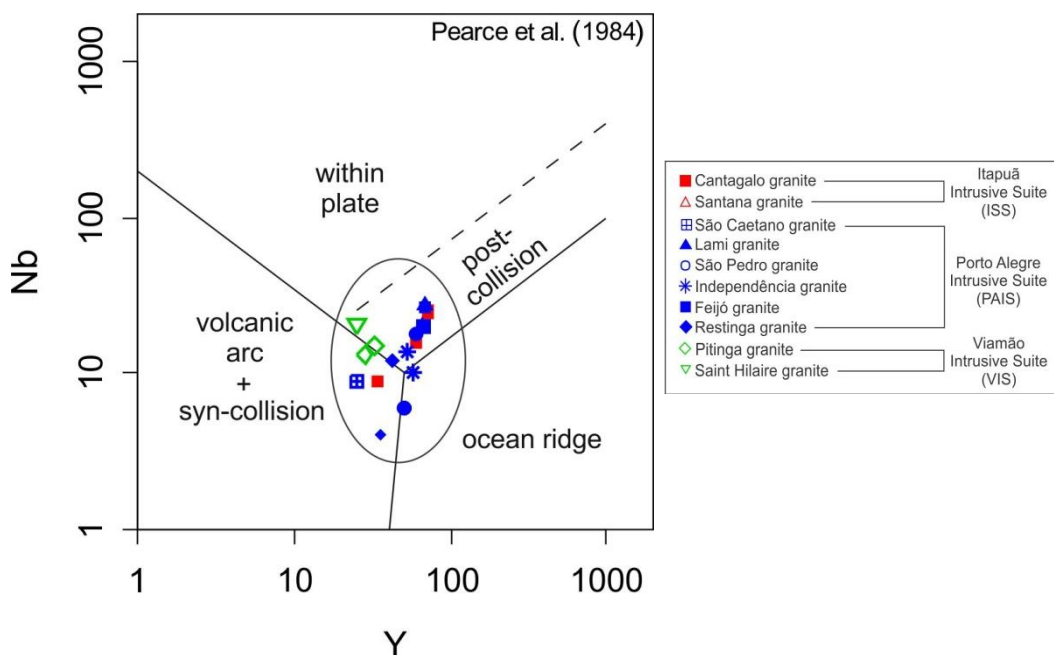
Unity Sample	Santana Granite				Santo Antonio Granite		Cantagalo Granite		
	PMP 36	PMP 46	PGP 41	PGP 45	PMP 29	PGP 20A	PGP 91A	PGP 148	PGP 188
<b>Sr (ppm)</b>	105	216	46	22	n.a	n.a	28	48	38
<b>Rb (ppm)</b>	295	204	239	205			164	298	260
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.779515	0.757350	0.859597	1.056551			1.014891	0.889331	0.913386
<b>error (abs.)</b>	0.000012	0.003300	0.000007	0.000010			0.000014	0.000008	0.000026
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	7.935623	2.667625	14.675346	26.319611			16.543755	17.535708	19.325825
<b>error (%)</b>	0.793562	0.266762	1.467535	2.631961			1.654376	1.753571	1.932582
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.779515	0.757350	0.859597	1.056551			1.014891	0.889331	0.913386
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(i)$	0.711615	0.734524	0.734029	0.831350			0.873336	0.739289	0.748026
<b>Sm (ppm)</b>	7.5	12.8	6.1	4.1	n.a	n.a	5.2	8.1	4.5
<b>Nd (ppm)</b>	42.8	57.9	33.2	21.5			36.5	41.8	19.8
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.105866	0.133275	0.110787	0.116000			0.085470	0.117174	0.138570
<b>SE (%)</b>	0.095362	0.075751	0.091126	0.087031			0.118119	0.086159	0.072856
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t=0)}$	0.512146	0.512122	0.512073	0.512212			0.511895	0.512241	0.512228
<b>erro (ppm)</b>	3	18	10	4			5	6	7
<b><math>\epsilon</math> Nd (0)</b>	-9.6	-10.1	-11.0	-8.3			-14.5	-7.7	-8.0
<b><math>\epsilon</math> Nd (t)</b>	-2.6	-5.2	-4.4	-2.1			-6.0	-1.6	-3.5
<b><math>T_{DM}</math></b>	1262	1732	1428	1290			1359	1261	1640
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t)}$	0.511730	0.511598	0.511638	0.511756			0.511559	0.511780	0.511684
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	40.06161	38.94598	39.11681	39.44251	40.92751	39.53832	38.85659	40.43858	38.88862
<b>error (abs.)</b>	0.00481	0.00350	0.00420	0.00411	0.00222	0.004016	0.002111	0.014562	0.009840
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	15.68272	15.63232	15.66342	15.65012	15.90676	15.74152	15.61404	15.62825	15.60778
<b>error (abs.)</b>	0.00186	0.00140	0.00174	0.00165	0.00087	0.001603	0.000824	0.005680	0.004171
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	19.88909	19.20966	19.50358	19.00542	22.20464	20.11616	18.44917	19.37164	18.70435
<b>error (abs.)</b>	0.00239	0.00170	0.00216	0.00201	0.00124	0.002029	0.000920	0.007044	0.004789
$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2.01448	2.02787	2.00563	2.07530	1.84318	1.96549	2.10606	2.08745	2.07909
<b>error (abs.)</b>	0.00004	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002	0.000032	0.000027	0.000067	0.000050
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0.78844	0.81368	0.80295	0.82326	0.71621	0.78235	0.84612	0.80655	0.83419
<b>error (abs.)</b>	0.00001	0.00001	0.00001	0.00002	0.00001	0.000014	0.000012	0.000032	0.000025

## 5. Discussion

Based on field and geochemical data obtained from Oliveira *et al.* (2001), the post-transcurrent granites of the Porto Alegre region were separated into three suites: Viamão, Porto Alegre and Itapuã. From the geochronological point of view and temporal relations of the three suites, Koester *et al.* (2008) suggests a crystallization age of  $604 \pm 5$  (U-Pb in zircon LA-ICP-MS) for the Granite Saint Hilaire, belonging to the Viamão intrusive suite, the oldest of the three suites. In turn, the Santana Granite, belonging to the Itapuã Intrusive Suite, has a crystallization age of  $600 \pm 10$  Ma (U-Pb in zircon LA-ICP-MS). The field relation between both units suggest that the Porto Alegre Intrusive Suite is intruded by granites of the Itapuã Intrusive Suite (Menegat *et al.*, 1998).

The geochemical studies carried out by Oliveira *et al.* (2001) show that the rocks of the three suites are metaluminous to weakly peraluminous, with the alumina-saturation index (Al - Shand, 1927) varying from 0.9 to 1.1. The Viamão Intrusive Suite belongs to the association of calc-alkaline granitic rocks. The Porto Alegre Intrusive Suite was interpreted as differentiated terms of the calc-alkaline series which, according to Sylvester (1989), are variations of the alkaline granites. Rocks from the Itapuã Intrusive Suite have characteristics compatible with metaluminous granites of alkaline affinity (Nardi and Bonin, 1991), or with alkaline granites (Sylvester, 1989) and type-A granites (Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987).

From the geotectonic point of view, in the Porto Alegre region, the Chácara das Pedras Gneiss was interpreted as the record of a calc-alkaline magmatism associated with a continental magmatic arc of tonian age (777 Ma), being the metamorphism of these rocks around 660 Ma. The event following the metamorphism was the generation of syntranscurrent granites in the Porto Alegre shear zone, the Lomba do Sabão Granodiorite (Menegat *et al.*, 1998). The three suites considered in this study, from the point of view of tectonic environment, are later to these events and, according to the Nb vs. Y diagram by Pearce *et al.* (1984), are located in the field of post-collisional granites (Fig. 4).

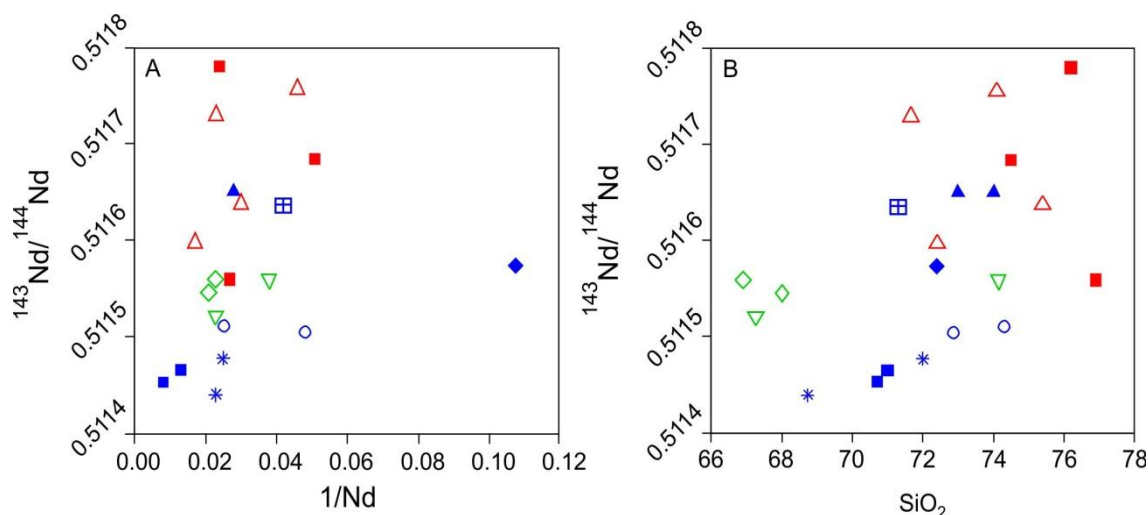


**Figure 4.** Nb vs. Y diagram by Pearce *et al.* (1984) with data for the granitic rocks of the Porto Alegre region, NE of the Dom Feliciano Belt. Viamão Intrusive Suite = green; Porto Alegre Intrusive Suite = blue; Itapuã Intrusive Suite = red. Geochemical data extracted from Oliveira *et al.* (2001).

Regarding magmatic processes and sources, post-collisional magmatism in the Porto Alegre region has no detailed studies. The suggestion based on petrography data is that fractional crystallization process with concomitant crust assimilation must have been important in the generation of granites in the three suites, due to the description of features of textural disequilibrium, observed mainly in plagioclase crystals (Oliveira *et al.*, 2001; Philipp *et al.*, 2002). With regard to the magmatic sources, the mantle participation in the generation of rocks in the three suites was inferred because in all suites there are microgranular mafic enclaves (Philipp *et al.*, 2002). However, the crustal participation on the source of these magmas is evidenced due to the high values of silica, high levels of trace elements such as Rb, Sr and Ba, as well as high levels of LILE in relation to HFSE (Oliveira *et al.*, 2001; Philipp *et al.*, 2002).

Thus, data from our study in the  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  vs.  $1/\text{Nd}$  and  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  vs.  $\text{SiO}_2$  diagrams (Fig. 5A and 5B), indicates the presence of crustal components in SIPA and SII, as the observed trends indicate an increase in the isotopic ratio of  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  in relation to the  $1/\text{Nd}$  ratio (Fig. 5A), or even with the evolution of crystallization and differentiation evidenced by the increase in  $\text{SiO}_2$  content (Fig. 5B). As a consequence, for the rocks of these two suites, the process of fractional crystallization coupled to the assimilation of the country rocks may be the magmatic process involved in their generation, since as differentiation occurs, the isotopic

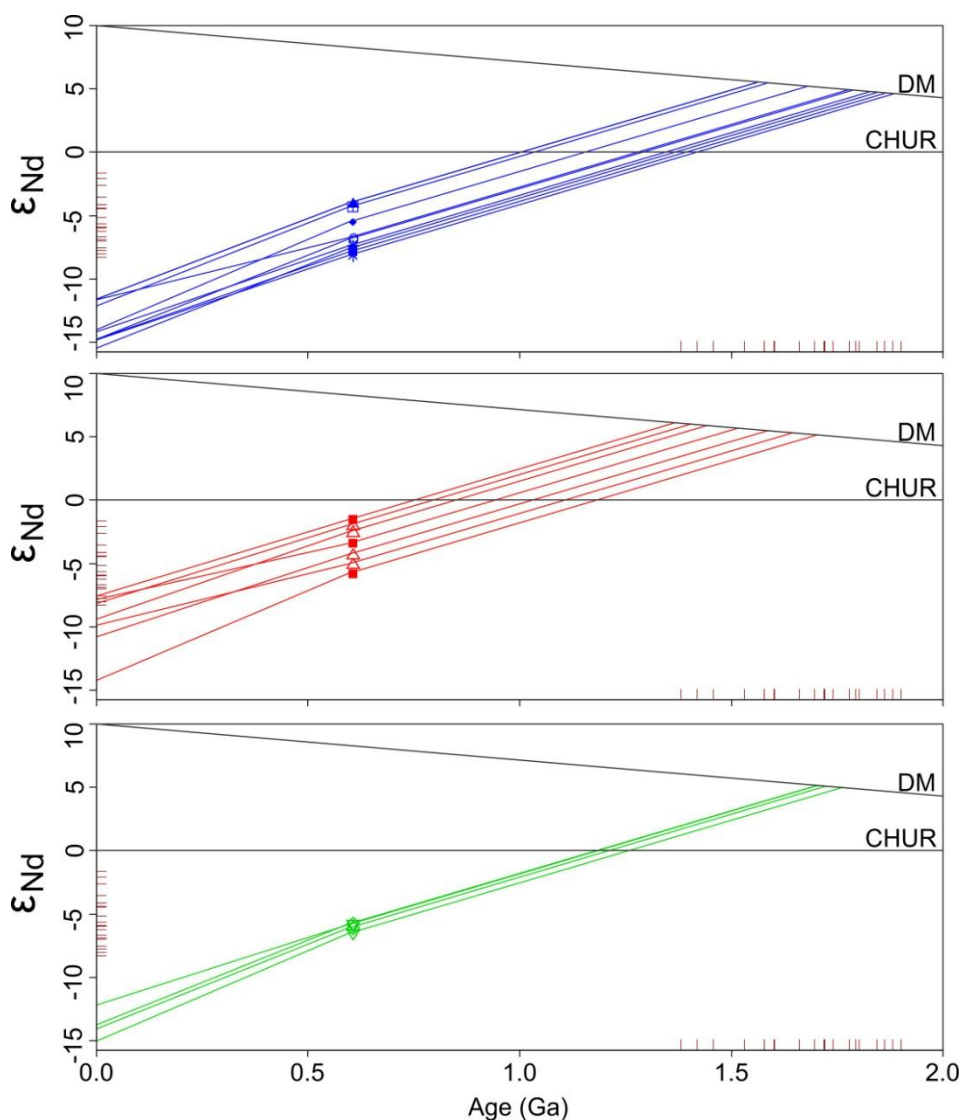
composition of these magmas changes depending on assimilation of materials with different isotopic compositions (Faure e Mensing, 2005; Gill, 2010). For the VIS, the values of  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  tend to remain constant, both in diagrams  $1/\text{Nd}$  vs.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  and  $\text{SiO}_2$  vs.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (Fig. 5A and 5B), suggesting that the assimilation of crustal material was not as important as in the other two suites, that is, there is a predominance of fractional crystallization processes on the origin of these rocks.



**Figure 5.** Diagram of isotopic ratio vs. element concentration for granitic rocks in the Porto Alegre region, NE of the Dom Feliciano Belt. Viamão Intrusive Suite = green; Porto Alegre Intrusive Suite = blue; Itapuã Intrusive Suite = red. Legends as in Figure 4. A)  $^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$  vs.  $1/\text{Nd}$ , B)  $^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$  vs.  $\text{SiO}_2$ . Geochemical data  $\text{SiO}_2$  extracted from Oliveira *et al.* (2001).

The contribution of crustal material in the source of granitic rocks of the Porto Alegre region can be evidenced by the age vs.  $\epsilon\text{Nd}$  diagrams, as shown in Figure 6, because of the high values of  $\epsilon\text{Nd}$  and the high  $T_{\text{DM}}$ . The  $\epsilon\text{Nd}_{(600)}$  values for all suites are negative, with values ranging from -1 to -8. In general, the most negative values are those from the VIS and PAIS (-4 to -8). The highest values observed are from samples from the IIS (-1 to -6). Negative  $\epsilon\text{Nd}$  values may be related not only to the contribution of crustal material, but also to the presence of a modified mantle (metasomatised, enriched mantle) by fluids, for example, from a pre-existing subduction zone such as, for example, in the Sanjiang Orogen (SW China) (Zi *et al.*, 2012) where granitoids have a genesis from an enriched hydrated mantle, originated from the partial melting of the lithospheric subcontinental mantle in a subduction zone. However, based on geochemical data with high values of LILE (Oliveira *et al.*, 2001), the presence of zircons inherited from country rocks with ages of 780 Ma (Koester *et al.*, 2001; Philipp *et al.*, 2002), as well as high values of model Nd ages showing  $T_{\text{DM}}$  values from 1.2 to 1.8, suggest that the crustal contribution played a

major role on the origin of the granites of the three suites in the Porto Alegre region, possibly with a crust of paleoproterozoic age, due to the values of  $T_{DM}$  close to 1.8 Ga.



**Figure 5.** Diagram for  $\epsilon_{Nd}$  vs. time for the granitic rocks of the Porto Alegre region, NE of the Dom Feliciano Belt (modified from DePaolo, 1981). a) Viamão Intrusive Suite = green; b) Porto Alegre Intrusive Suite = blue; c) Itapuã Intrusive Suite = red. Captions as in Figure 4. DM = Depleted mantle, CHUR = chondritic uniform reservoir.

The source of the granitic magmatism in the Porto Alegre region can be discussed in terms of the participation of a mantle component, plus a crustal component. Thus, in the Sr-Nd diagram calculated at 600 Ma shown in Figure 6, one can observe the behavior of the granites of the three suites in relation to some mantle and crustal reservoirs, in order to suggest potential sources of this magmatism.

It is noteworthy that the mantle end members chosen (PUM, HIMU, DM, EMI, EMII, Zindler and Hart, 1986; Rollinson, 1993) serve only as a comparison of similar modern analogues, since in the neoproterozoic the mantle may not reflect the composition of these current reservoirs (Blichert-Toft *et al.*, 2010). Mantle convection generates the continuous formation of oceanic crust and meso-oceanic ridges, which are subsequently consumed in subduction zones. This slow process involves the reciprocal exchange of material between the surface and the interior of the planet, resulting in the modification of the mantle (metasomatism). The creation of oceanic crust and the constant recycling of materials introduced by it in the mantle developed heterogeneous mantle reservoirs, with different mineralogical, chemical, physical and isotopic characteristics. Mantle metasomatism is the result of contamination or re-enrichment processes (e.g. subduction zones or mantle plumes), generating mantle reservoirs of the EMI, EMII type. The mantle with the greatest primordial characteristics corresponds to the PUM, which, due to its depletion in extension zone, generate the depleted mantle called DM. The portion of the mantle enriched in U and Pb due to the recycling of basaltic oceanic crust generates a mantle with different characteristics in terms of isotopic Pb ratios, called HIMU (High- $\mu$  or high U-Pb ratio, Faure and Mensing, 2005; Gil, 2010).

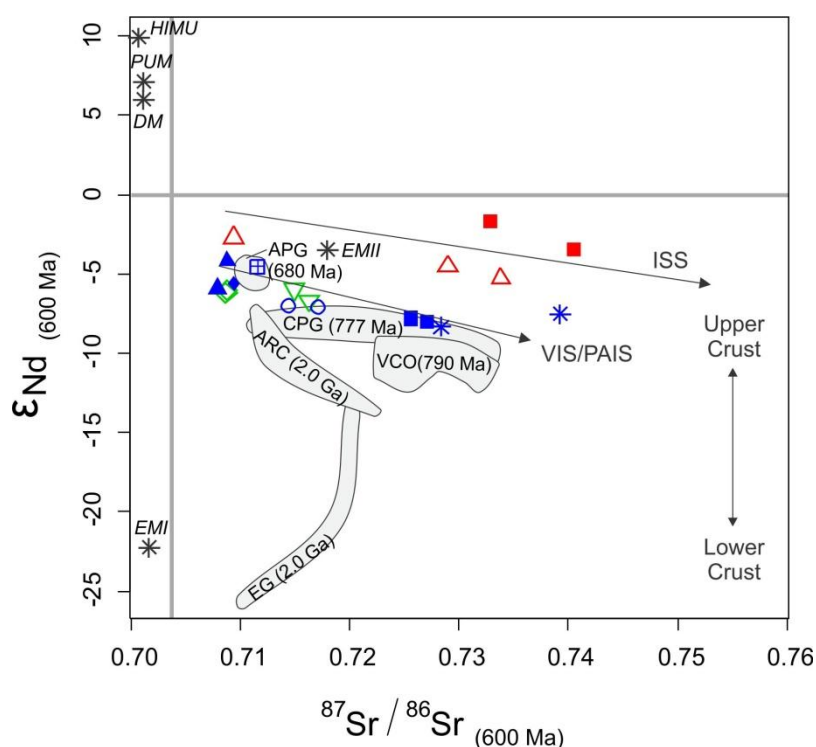
The crustal components shown in the diagram in Figure 6 are two fields of paleoproterozoic rocks potentially sources for the generation of granites, the Arroio dos Ratos complex, described by Gregory *et al.* (2015), and the Encantadas complex, with data from May (1990). In addition, three fields of neoproterozoic rocks from tonian to cryogenian age are also illustrated, also potentially sources for granites: the Várzea do Capivarita complex, with data from Martil *et al.* (2017), Chácara das Pedras Gneiss (Koester *et al.*, 2016) and Arroio Pedrado Gneiss, data extracted from Vieira *et al.* (2019).

The samples from the Viamão Intrusive Suite show little variation in the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.708920 to 0.716871) ratios, as well as radiogenic Nd (-6.0 to -6.7), in relation to the other two suites. As shown in Figure 6, the samples are arranged in the field of crustal rocks. Thus, the most suitable scenario for the generation of granites in this suite would be the partial melting of a final mantle member, potentially of the HIMU, PUM or DM types, with the participation of a paleoproterozoic or tonian-cryogenian crust.

The samples from the Porto Alegre Intrusive Suite show a wide variation in the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.709081 to 0.743773) ratios, and a wide variation in the radiogenic Nd (-

4.2 to -8.3), showing a similar trend to the Viamão Intrusive Suite samples. As shown in Figure 6, the samples plot in the field of crustal rocks. Thus, the most suitable scenario for the origin of granites in this suite would also be the melting of a mantle end-member, potentially the HIMU, PUM or DM, with the assimilation of a tonian-cryogenian crust, as evidenced by the trend indicated in the figure 6.

The samples of the Itapuã Intrusive Suite, show a wide variation in the ratios of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.711615 to 0.748026), the higher values obtained were not included in the diagram in the figure 6, and radiogenic Nd (-1.6 to -6.0), showing a distinct trend from the Viamão and Porto Alegre Intrusives Suites. This may suggest that the rocks of the IIS have a different source, that is, they would not be the product of the interaction of magmas derived from the mantle with the addition of paleoproterozoic or even tonian-cryogenian crustal rocks, as shown in Figure 6. A potential source for this suite would be mantle magmas derived from an end-member such as HIMU, PUM or DM, with interaction of metasedimentary sources from the upper crust. The participation of mantle end-members of the EMI and EMII type cannot be ruled out, but in all three suites the trends presented by the samples in relation to the two enriched end-members do not suggest that they were the dominant source.



**Figure 6.** Diagram  $\epsilon\text{Nd}$  (600) vs.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (600) for the granitic rocks of the Porto Alegre region (modified from DePaolo and Wasserburg, 1979). Endmembers of the mantle (calculated for 600 Ma) were extracted from Zindler and Hart (1986) e Rollinson (1993). HIMU (mantle with high U-Pb ratio), DM (mantle depleted), Primitive Uniform mantle (PUM); EMI (enriched mantle 1), EMII (heated mantle 2). Sources: Arroio dos Ratos Complex (ARC) from Gregory *et al.* (2015), Encantadas Complex (EC) from May (1990), Várzea do Capivarita Orthogneisses (VCO) from Martil *et al.* (2017), Chácara das Pedras Gneisses (CPG) from Koester *et al.* (2016) and Arroio Pedrado Granite (APG) from Vieira *et*



*al.*, (2019). Viamão Intrusive Suite = green; Porto Alegre Intrusive Suite = blue; Itapuã Intrusive Suite = red. Captions as in Figure 4

In the  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  diagram, shown in Figure 7, one can observe the behavior of the granites of the three suites in relation to some mantle reservoirs (PREMA, HIMU, DM, EMI, EMII), as well as the Pb evolution curves (Plumbotectonics, Doe and Zartman, 1979) for reservoirs of the lower, upper crust and mantle. Also, the Pb evolution curve for rocks with the participation of a component linked to an orogen is presented.

The samples of the Viamão Intrusive Suite show a small variation in the  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios, when compared to the other two suites. They also present different values for the two granites (Saint Hilaire and Pitinga), but with a suggestion of participation of the upper crust in a tectonic environment associated with orogenesis. In terms of the mantle component, it seems to define a trend linked to a mantle similar to EMI, EMII or DM.

The samples from the Porto Alegre Intrusive Suite show a wide variation in the  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios. They present dispersed values, but with suggestion of participation of an upper crust in an environment associated with orogenesis. In terms of the mantle component, it seems to define a trend linked to the HIMU, presenting for some samples  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  values typical of this end-member (21.5 by Zindler and Hart, 1986).

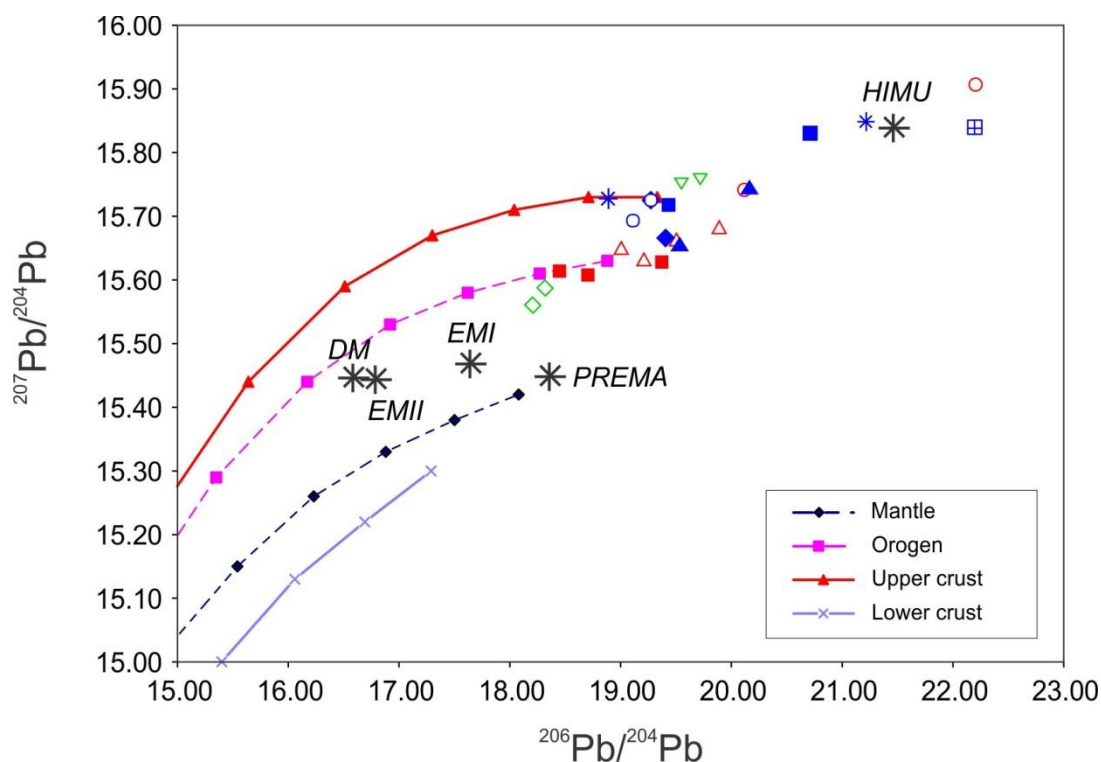
The samples from the Itapuã Intrusive Suite show a wide variation in the  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios. The values are also dispersed, but with the suggestion of participation of an upper crust in an environment associated with orogenesis. In terms of the mantle component, a sample shows values of  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  similar to the HIMU end-member (21.5 by Zindler and Hart, 1986), and some samples have values around 20, a factor that can be used to suggest an end member similar to HIMU.

Thus, for both the Porto Alegre Intrusive Suite and the Itapuã Intrusive Suite, the high  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios indicate that the source of this magmatism would correspond to a mantle similar to HIMU (High- $\mu$  or high U/Pb ratio). Their mantle source has generally been considered to represent recycled basaltic oceanic crust that preferentially lost fluid-mobile trace elements, such as the alkali metals and Pb, during hydrothermal alteration at ocean ridges or through slab dehydration processes during subduction (Weiss *et al.*, 2016).

The integration of the discussion presented from the Sr-Nd-Pb isotope data of the rocks of the granite suites in the Porto Alegre region, suggests that the Viamão Intrusive Suite was generated from a DM-type mantle, with the participation of paleoproterozoic crust, similar to the Arroio dos Ratos Complex. Other rocks of this age, such as the Encantadas Complex, in addition to being geographically further away from the granites, have isotopic compositions a little more enriched in Nd. However, they cannot be discarded.

For the Porto Alegre Intrusive Suite, the dominant mantle is similar to the final member of the HIMU type, with the participation of a tonian to cryogenian crust, such as the Chácara das Pedras Gneiss. Other rocks of these ages have a similar isotopic composition and could

be the crustal source, but the gneiss appears in the geographical proximity of the rocks from the Porto Alegre Intrusive Suite. In turn, in the Itapuã Intrusive Suite, the dominant mantle is similar to the end-member of the HIMU type, with the participation of a crust distinct from the paleoproterozoic and even tonian-cryogenian. The crustal source rocks are less enriched in Nd, when compared to the two other suites, and could potentially be rocks with an upper crust component.



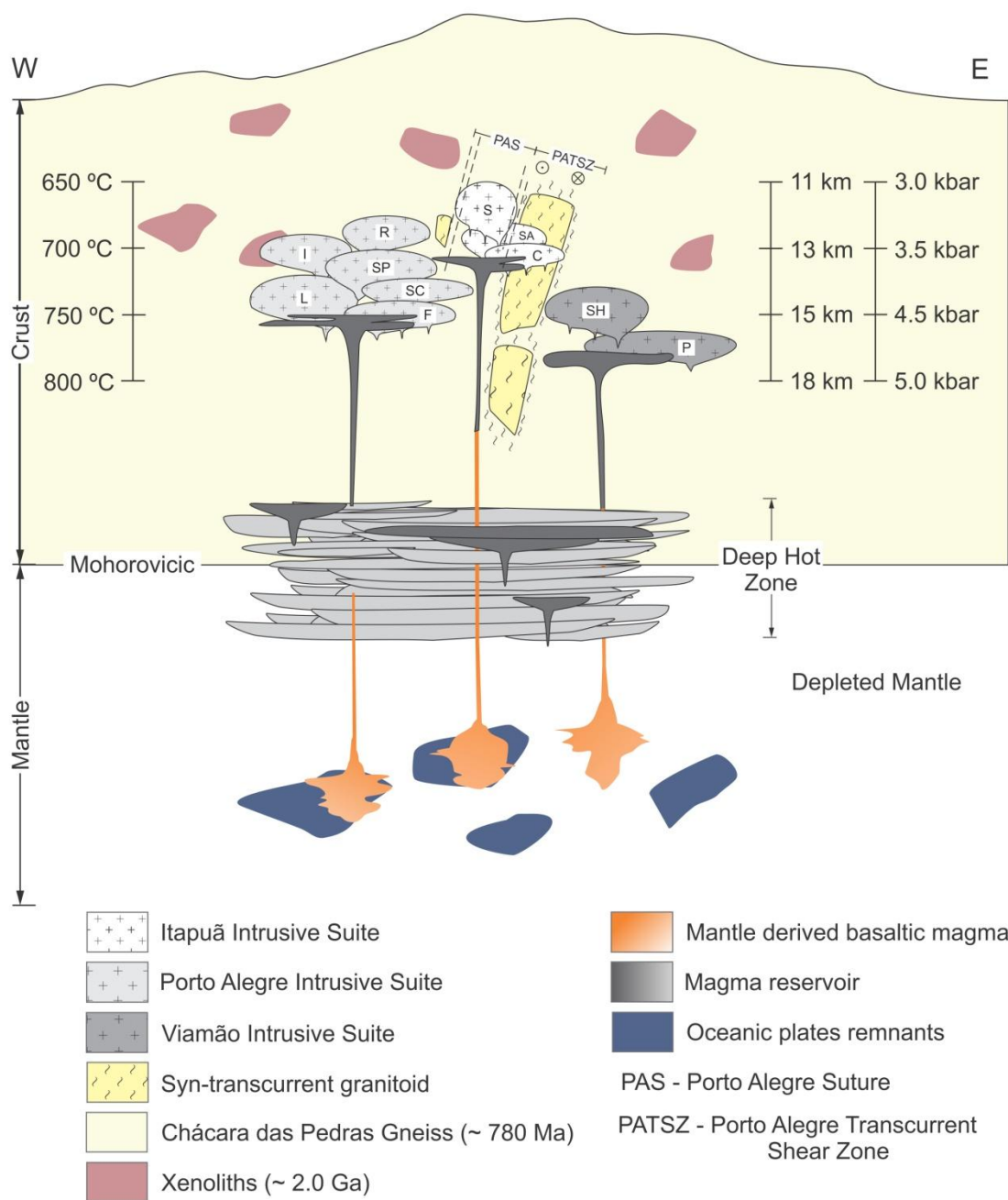
**Figure 7.** Diagram showing  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  for the granitic rocks of the Porto Alegre region in comparison with the mantle members (PREMA, DM, EMI, EMII and HIMU (Zindler and Hart 1986)). Viamão Intrusive Suite = green; Porto Alegre Intrusive Suite = blue; Itapuã Intrusive Suite = red, captions as in Figure 4.

Based on the discussions on the magmatic sources of granitic rocks in the Porto Alegre region, a schematic cartoon (Fig. 8) on their evolution was elaborated. In this cartoon, we considered field aspects described by Oliveira *et al.* (2001), such as the presence of mafic enclaves, petrographic features (plagioclases zoning), whole-rock geochemistry (calc-alkaline to alkaline affinities, high contents of Ba, Sr, LILE), radiometric dating, with neoproterozoic ages obtained by Koester *et al.* (2001, 2008) for the Saint Hilaire granite and Santana granite. Likewise, we also used the P-T conditions of crystallization for these granites as estimated by Drago *et al.* (2020), which range from 3 to 5 kbar and T from 650 to 800°C, compatible with the placement of these magmas at depths of 12 to 18 km, in a post-collisional environment (Oliveira *et al.*, 2001, Philipp *et al.*, 2005).

In terms of magmatic sources, as outlined in Figure 8, we can suggest three different sources for the rocks in the three suites. The Viamão Intrusive Suite is the

result of a DM type source, interacting with a paleoproterozoic crust. The Porto Alegre Intrusive Suite is the result of a mantle source generated from the partial melting of a recycled oceanic plate (HIMU), which assimilated a continental crust of tonian-cryogenian age. As for the Intrusive Suite Itapuã, a mantle similar to HIMU is also observed, but with a distinct crust component in relation to the Porto Alegre intrusive suite, less enriched in Nd.

In general, all post-collisional granitic rocks in the Porto Alegre region were formed from mantle derived magmas, with subsequent participation of crust, similar to the models already proposed by Annen *et al.* (2006) and Bryan *et al.* (2010). Thus, the placement of basic magmas at the crust-mantle boundary generates Deep Hot Zones, which in turn evolve from the interaction with different crustal materials and or magmatic processes. This context is responsible for generating the diversity of granites rocks in the Porto Alegre region, southeast of the Dom Feliciano Belt, during the final stages of the neoproterozoic Brasiliano/Pan-African orogenic cycle.



**Figure 8.** Geological model proposed for the northeast portion of the Dom Feliciano Belt, during the large granite intrusions in the Porto Alegre region around 600 Ma (Based on the models by Annen *et al.*, 2006 and Bryan *et al.*, 2010).

## 6. Conclusions

The granitic rocks of the Porto Alegre region, NE of the Dom Feliciano Belt in RS, have similar magmatic processes in their origin, but different sources. The three suites have fractional crystallization as a differentiation mechanism, together with the participation of crustal material, observed in the positive trends in diagrams such as

SiO<sub>2</sub> vs. Nd, mainly in the Porto Alegre and Itapuã Intrusive Suite. The negative  $\epsilon_{\text{Nd}}$  values for the three suites (-1 to -8), as well as the  $T_{\text{DM}}$  values in the range of 1.2 to 1.8 Ga, also suggest the participation of paleoproterozoic crustal material. The integration of field, petrography and geochemistry data with the Sr-Nd-Pb isotopes, allows to outline a scenario with three different sources for each suite.

In summary, the Viamão Intrusive Suite is the result of a DM type mantle magma, interacting with a paleoproterozoic crust similar to the Arroio dos Ratos Complex. The Porto Alegre Intrusive Suite is the result of a mantle source generated from the partial melting of a recycled oceanic plate (HIMU) which interacted during ascent with a continental crust of tonian-cryogenian age, similar to the Chácara das Pedras Gneiss. The Itapuã Intrusive Suite, has a mantle member similar to HIMU, but with a distinct crust component compared to the Porto Alegre Intrusive Suite, less enriched in Nd.

The integration of this information suggests that post-collisional magmatism in the Porto Alegre region has a similar evolution to the Deep Hot Zone (Annen *et al.*, 2008) where basic magmatism is accumulated at the mantle-crust boundary, which in turn, through magmatic differentiation processes associated with different sources, generates the diversity of granitic rocks observed in the NE region of the Sul-Rio-Grandense shield at the later stages of the Brasiliano/Pan-African orogeny.

### **Acknowledgments**

The authors would like to thank: the anonymous reviewers for their comments and suggestions about the manuscript and the editor for editorial handling. This work was supported and funded by FAPERGS, CNPq and CAPES, and by the Laboratório de Geologia Isotópica (LGI), Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq), Instituto de Geociências (IGeo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

## References

- Allegre, C.J., 2012. *Isotope Geology*. Institut de Physique du Globe de Paris. Cambridge University Press.
- Allegre, C.J., & Ben Othman., D., 1980. Nd-Sr isotopic relationship in granitoid rocks and continental crust development: a chemical approach to orogenesis. *Nature*, 286, 335 -342.
- Alves, P.V.F.S., Botelho, N.F., Dantas, E.L., Cuadros, F.A., 2019. The Cambrian peraluminous Santa Luzia granite suite in the Araguaia Belt, central Brazil: Evidence for closure of the Clymene Ocean based on zircon and monazite U-Pb data. *J. South Am. Earth Sci.* 92, 116–133.
- Annen, C., Blundy, J.D., Sparks, R.S.J., 2006. The Genesis of Intermediate and Silicic Magmas in Deep Crustal Hot Zones. *Journal of Petrology*, 47(3), 505-539.
- Basei, M.A.S., Frimmel, H.R., Neto, M.C.C., Ganade, C.E., Castro, N.A., Passarelli, C.R., 2018. The Tectonic History of the Southern Adamastor Ocean Based on a Correlation of the Kaoko and Dom Feliciano Belts. In: Siegfried Siegesmund; Miguel Basei; Pedro Oyhançabal; Sebastian Oriolo. (Org.). *Regional Geology Reviews*. 3ed.: Springer International Publishing, 63-85.
- Barbosa, L.D., Koester, E., Gastal, M.C., Ramos, R.C., 2017. Basic Ediacaran magmatism (562 Ma) in southeast Sul-Riograndense Shield: U-Pb SHRIMP zircon dating of Alto Alegre Diorite. In: X Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 2017, Curitiba-PR. *Anais do X Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*.
- Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S., 1993. Late- to Post-collisional Brasiliano Magmatism in Southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 65, n.1, p. 3-16.
- Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S., 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30 (1), 186-189.
- Blichert-Toft, J., Puchtel, I.S., 2010. Depleted mantle sources through time: Evidence from Lu-Hf and Sm-Nd isotope systematic of Archean komatiites. *Earth and Planetary Science Letters*, 297(3), 598-606.
- Bryan, S.E., Ukstins Peate, I.A., Self, S., Peate, D., Jerram, D.A., Mawby, M.R., Miller, J., and Marsh, J.S., 2010, The largest volcanic eruptions on Earth: *EarthScience Reviews*, v. 102, p. 207–229.
- Burton-Johnson, A., Macpherson, C.G., Ottley, C.J., Nowell, G.M., Boyce, A.J. 2019.

- Generation of the Mt. Kinabalu Granite by crustal contamination of intraplate magma modeled by equilibrated major element assimilation with fractional crystallization (EME-AFC) British Antarctic Survey. *Journal of Petrology*, 60(7), 1461-1487.
- Chemale Jr. F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz M., DE Ros L.F. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO-UFRGS, 1, 13-52.
- Collins, W.J., Beams, S.D., White, A.J.R., Chapell, B.W., 1982. Nature and Origin of A-Type Granites with Particular Reference to Southeastern Australia. *Contr. Mineral Petrol.*, 80, 189-200.
- Costa, A.F.U. 1997. Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 291f. Tese (Doutorado em Geociências).
- Cruz, R.F., 2019. Levantamento geológico e do potencial mineral de novas fronteiras: Projeto Sudeste do Rio Grande do Sul: escalas 1:250.000 e 1:100.000, estado do Rio Grande do Sul. CPRM.
- Dal Olmo-Barbosa, L., Koester, E., Fontes, T.F., 2018. New insights into the basic post-collisional Ediacaran magmatism (591 Ma) in southeast Dom Feliciano Belt, RS: geochronology of Passo da Fabiana Gabbros. In: 49º Congresso Brasileiro de Geologia, 2018, Rio de Janeiro. *Anais do 49º Congresso Brasileiro de Geologia*.
- De Paolo, D.J., 1981a. A neodymium and strontium isotopic study of the mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California. *J. Geophys. Res.*, 86, 10470-10488.
- Dickin, A. 2018. *Radiogenic Isotope Geology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Doe, R.E., Zartman, B.R., 1979. *Plumbotectonics I, The Phanerozoic Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 2º. Ed., Wiley Interscience, 22-70.
- Drago, S.M., Gomes, M.E.B., Koester, E., 2020. Mineral chemistry and geothermobarometry of neoproterozoic rocks from northeast Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* (submetido).

- Faure, G., Mensing, T.M., 2005. *Isotopes Principles and Applications*. Third Edition.
- Fernandes, L.A.D.; Tommasi, A.; Porcher, C.C.; 1992. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Sciences* 5, 77-96.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Kramer, G., Tommasi, A., Porcher, C.C., Ramgrab, G.E. & Camozzato, E. 1995. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências* 25 (4), 375-384.
- Figueiredo, M.C.H., Fragoso-Cesar, A.R.S., Kronberg B.I. 1990. Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 36. Natal. *Anais...*, Natal: SBG, 1990, v. 4, p. 1623-1738.
- Fragoso-César, A.R.S., 1991. Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. PhD Thesis. São Paulo, Universidade de São Paulo, pp. 367.
- Gill, R. 2010. *Igneous rocks and processes: a practical guide*. Oxford, Wiley-Blackwell, 390p.
- Girell, T.J., Chemale Jr, F., Lavina, E.L.C., Laux, J.H., Bongioiolo, E.V., Lana, C., 2018. Granulite accretion to Rio de la Plata Craton, based on zircon U-Pb-Hf isotopes: Tectonic implications for Columbia Supercontinent reconstruction. *Gondwana Research*, v. 56, p. 105-118.
- Gregory, T.R., Bitencourt, M.F., Nardi, L.V., Florisbal, L.M., Chemale Jr., 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. *J. South Am. Earth Sci.* 57, 49–60.
- Hallinan, E.S., Mantovani, M.S.M., Shukoosky, W., Braggion Jr. I., 1993. Estrutura do Escudo Sul-Brasileiro: uma revisão através de dados gravimétricos e magnetométricos. *Revista Brasileira de Geociências* 23(3), 201-214.
- Hartmann, L.A., Porcher, C.C., Remus, M.V.D., 2000. Evolução das rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. *In: Holz M. & De Ros L.F. (eds.). Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, edição CIGO/UFRGS, 79-118.
- Hartmann, L.A., Lopes, W.R., Savian, J.F., 2016. Integrated evaluation of the geology aerogammaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-



- Riograndense Shield, southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (online), 88, 75-92.
- Hueck, M., Oyhantcabal, P., Philipp, R.P., Basei, M.A.S., Siegsmund, S., The Dom Feliciano Belt in Southern Brazil and Uruguay. In book: *Geology of Southwest Gondwana*.
- Janousek, V., Farrow, C.M., Erban, V. 2006. Interpretation of whole-rock Geochemical Data in Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCD kit). *Journal of Petrology*, 47(6), 1255-1259.
- Koester, E., Soliani Jr, E., Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., Fernandes, L.A.D., McNaughton, N.J., Santos, J.O.S., Oliveira, L.D., 2001. SHRIMP U-Pb age for the emplacement of the Santana Granite and reactivation of the Porto Alegre Suture, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 14, 91-99.
- Koester, E., Pawley, A. R., Fernandes, L.A.D., Porcher, C.C., Soliani Jr., E., 2002. Experimental melting of cordierite gneiss and the petrogenesis of syntranscurrent peraluminous granites in the southern Brazil. *Journal of Petrology*, Inglaterra, v. 48, n.43, p. 1595-1616.
- Koester, E., Chemale Jr, F., Porcher, C.C., Bertotti, A., Fernandes, L.A.D., 2008. U-Pb ages of granitoids from Eastern Sul-rio-grandense Shield. In: VI South American Symposium on Isotope Geology, San Carlos de Bariloche. *Proceedings*. Buenos Aires, v. 1.
- Koester, E., Porcher, C.C., Pimentel, M.M., Fernandes, L.A.D., Vignol-Lelarge, M.L., Oliveira, L.D., Ramos, R.C., 2016. Further evidence of 777 Ma subduction-related continental arc magmatism in Eastern Dom Feliciano Belt, southern Brazil: the Chácara das Pedras Orthogneiss. *J. South Am. Earth Sci.* 68, 155–166.
- Kraemer G., Soliani Junuor, E., Fernandes, L.A.D., Nardi, L.V.S., 1995. *Acresção Juvenil Brasileira na Porção Oeste do Escudo Sul-Rio-Grandense: A Suíte Ortometamórfica Imbicuí.* In: V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos – SNET. *Boletim de Resumos Expandidos do V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*. Gramado, RS. v. 1. p. 50-51.
- Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., McNaughton, N.J., Chemale Jr., F., 1998. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil. *Int. Geol. Rev.* 40, 688–705.

- Lameyre, J., 1980. Les magmas granitiques: leurs comportements, leurs associations et leurs sources. Mem . h. ser . Soe. Géol . France, 10, 51-62.
- Laurent, O., Couzinie, S., Zeh, A., Vanderhaeghe, O., Moyen, J-F., Arnaud, V., Gardien, V., Chelle-Michou, C., 2017. Protacted coeval crust and mantle melting during Variscan late-orogenic evolution: U-Pb dating in the eastern French Massif Central International. *Journal of Earth Sciences*, 106(2), 421-451.
- Lenz, C., Porcher, C.C., Fernandes, L.A.D., Masquelin, H., Koester, E., Conceição, R.V., 2012. Geochemistry of the Neoproterozoic (800 - 767 Ma) Cerro Bori orthogneisses, Dom Feliciano belt in Uruguay: tectonic evolution of an ancient continental arc. *Mineral. Petrol.* 1, 10.
- Martil, M.M., Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S., Koester, E., Pimentel, M.M., 2017. Precollisional, Tonian (ca. 790 Ma) continental arc magmatism in southern Mantiqueira Province, Brazil: geochemical and isotopic constraints from the Várzea do Capivarita Complex. *Lithos* 274–275, 39–52.
- Martin, H., 1985. Nature, origine et évolution d'un segment de croûte continentale archéenne: contra intes chimiques et isotopiques. Exemple de la Finlande orientale; Centre Armoricaïn d'Etude Structurale des Socles, Mémoires et Documents , 1:392 p.
- May, G.E., 1990. Pan-African Magmatism and Regional Tectonics of South Brazil. Ph.D. Thesis. Open University, Milton Keynes, pp. 343.
- Menegat, R., Fernandes, L.A.D., Koester, E., Scherer, C.M.S., 1998. Porto Alegre antes do Homem: evolução geológica. Em: Menegat R., Porto, M.L., Carraro, C.C., Fernandes, L.A.D., (Eds). *Atlas Ambiental de Porto Alegre*, Editora Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp. 11-24.
- Moyen, J-F., 2019. Archean granitoids; classification, petrology, geochemistry and origin, 2019. Université de Lyon, Laboratoire Magmas et Volcans Special Publication - Geological Society of London, Archean granitoids of India; windows into early Earth tectonics, Vol.489.
- Nardi, L.V.S.; Bonin. B., 1991. Post-orogenic and non-orogenic alkaline granite associations: the Saibro intrusive suite, southern Brazil – A case study. *Chemical Geology*, 92:197-211.
- Nardi, L.V.S.; Hartmann, L.A. 1979. O Complexo Santa Maria Chico do Escudo Sul-riograndense. *Acta Geologica Leopoldensia*, 6, 45-75.

- Niu P.P., Jiang, S.Y., 2019. Petrogenesis of the Late Mesozoic Qijinfeng Granite Complex in the Tongbai orogen: Geochronological, geochemical and Sr-Nd-Pb-Hf isotope evidence. *Lithos*.
- Oliveira, L.D.; Koester, E.; Soliani Jr., E., 2001. Geoquímica das rochas graníticas pós-transcorrentes da região de Porto Alegre e Viamão, RS. *Geochimica Brasiliensis*, Vol.15 (1/2), 065-092.
- Paim, P.S.G., Chemale Jr. F., Lopes C., 2000. A Bacia do Camaquã. *Geologia do Rio Grande do Sul*, CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p. 231-274.
- Pearce, J., 1996. Sources and Settings of Granitic Rocks. *Episodes*, 19(4), 120-125.
- Pearce, J. A.; Harris, N. Bw; Tindle, A. G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of petrology*, v. 25, n. 4, p. 956-983.
- 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). *J. South Am. Earth Sci.* 85, 250–262.
- Philipp, R.P., 1990. *Geologia e Petroquímica dos granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas. RS. Porto Alegre. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Master Degree Dissertation, pp. 231.*
- Philipp, R.P., Mesquita, M.J.M., Gomes., M.E.B., Almeida, D.P.M., 1993. Reconhecimento Estrutural e Geoquímico dos Granitóides Brasileiros da Região de Pelotas, RS. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 20, n.1, p. 3.
- Philipp, R.P., 1998. *A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, pp. 255p.*
- Philipp, R.P., Machado R., 2001. Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 31, n.3, p. 257-268.
- 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 de geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2). 277-290.

- Philipp, R.P., Campos, R.S., 2004. Geologia, petrográfica e litogeoquímica dos Gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: implicações geotectônicas. *Pesqui. em Geociencias* 31 (2), 79–94.
- Philipp, R.P., Machado R., 2005. The Late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Londres, v. 19, p. 461-478.
- Porcher, C.C., McNaughton, N.J., Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., Fernandes, L.A.D., 1999. Idade SHRIMP em zircão: vulcanismo ácido do Complexo Metamórfico Porongos. In: I Simpósio Sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, Gramado. Abstracts, pp. 110.
- Remus, M.V.D., Camatti, C., Macambira, M.B., Nunes, L.C., 2002. Precious and base-metal mineralization linked to Neoproterozoic granites in the Rio Grande do Sul Shield, southern Brazil: are they connected to the E-W Camaquã Lineament. In: 41 Congresso Brasileiro de Geologia, 2002, João Pessoa. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*.
- Ramos, R.C., Toniolo, J.A., Pinto, G.R., Koester, E., 2014. Zona de cisalhamento (sutura) de Arroio Grande e o novo Domínio Geofísico Sudeste (Escudo Sul-riograndense): discussões baseadas em dados geofísicos e de campo. In: VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre. *Book of Abstracts*.
- 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. *J. South Am. Earth Sci.* 86, 38–53.
- Rollinson, H.r., 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Routledge, 2014.
- Shukowsky, W., Vasconcellos, A.C.B.C., Mantovani, M.S.M., 1991. Estruturação dos terrenos pré-Cambrianos da região sul do Brasil e oeste do Uruguai: Um estudo por modelamento gravimétrico. *Rev. Bras. Geof.*, 9(2), 275-287.
- Schneider, A.W., Loss, E.L., Pinto, J.F., 1974 *Mapa Geológico da Folha de Porto Alegre – RS*. Porto Alegre, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Sylvester, P.J., (1989). Post-collisional alkaline granites. *Journal of Geology*, 97, 261-280.
- Sylvester, P.J., 1989. Post-Collisional Alkaline Granites. *Journal of Geology*, 97, 261-280.

- Tambara, G.B., Koester, E., Ramos, R.C., Porcher., C.C., Vieira., D.T., Fernandes., L.A.D., Lenz, C., 2019. 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). *Pesquisas em Geociências (online)*, v. 46, p. 1-21.
- Taylor, P.N.; Jones, N.W.; Moor bath, S., 1984. Isotopic assessment of relative contributions from crust and mantle sources to the magma genesis of Precambrian granitoid rocks, *Phil. Trans. R. Soc. London*, A 310, 605- 625.
- Vieira, D.T., Ramos, R.C., Koester, E., Vignol-Lelarge, M.L., Porcher, C.C., Gonzati, C., Gomes, M.E.B., Barbosa, L.D., Pinto, T.F., 2019. Petrografia e química mineral do Granito São Geraldo: evidências de magmatismo peraluminoso na região de Porto Alegre, RS. *Pesquisas em Geociências (online)*, v. 46, p. 1-21.
- 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. *J. South Am. Earth. v.95*, p.102294.
- Vlach, S.R.F., & Cordani, U.G., 1986. A sistemática Rb/Sr em rochas granitoides: considerações interpretativas, limitações e exemplos brasileiros. *Rev, Bras . Geoc.16(1)*, 38-53.
- Weiss, Y., Class, C., Goldstein, S.L., Hanyu, T., (2016). Key new pieces of the HIMU puzzle from olivines and diamond inclusions. *Nature*, 537, 666-670.
- Whalen, J.B., Currie, K.L., Chapell, B.W., 1987. A-types granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contr. Mineral Petrol.*, 95, 407-419.
- Zi, J-W., Cawood, P.A., Fan, W-M., Tohver, E., Wang, Y-J., Mccuaig, T.C., 2012. Generation of Early Indosinian enriched mantle-derived pluton in the Sanjiang Orogen (SW China) in response to closure of the Paleo-Tetys. *Lithos*, v. 140-141, pp. 166-182.
- Zindler A., Hart S., 1986. Chemical geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 493-571.

## Anexo - Carta de submissão

### Journal of South American Earth Sciences

#### Sources of neoproterozoic post-collisional granites from the northeastern portion of the Dom Feliciano Belt, RS, Brazil: Sr, Nd and Pb isotopic constraints

--Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	
<b>Article Type:</b>	Research Paper
<b>Keywords:</b>	Dom Feliciano Belt, magmatic sources, HIMU, DM, Deep Hot Zone, Porto Alegre.
<b>Corresponding Author:</b>	Mariana da Silva Assis Universidade Federal do Rio Grande do Sul BRAZIL
<b>First Author:</b>	Mariana da Silva Assis
<b>Order of Authors:</b>	Mariana da Silva Assis Edinei Koester, Dr. Felipe Padilha Leitzke André Abreu Martins
<b>Abstract:</b>	The Dom Feliciano Belt, located in southern Brazil, is a mobile belt formed during the neoproterozoic, in response to the collision between three cratons: Kalahari, Congo and Rio de la Plata. In the eastern domain of this belt, more precisely in its NE portion, the Porto Alegre region is characterized by the presence of numerous neoproterozoic granites with crystallization ages of ca. 600 Ma, which intruded older calc-alkaline gneisses from the basement that was generated during a previous subduction event. In this work we present new isotopic data (Sr-Nd-Pb), which integrated with previous data suggest that the Viamão Intrusive Suite ( $87\text{Sr}/86\text{Sr}(600\text{Ma}) = 0.708920-0.716871$ ; $\text{E}\text{Nd}(600) = -6.0$ to $-6.7$ ; $\text{TDM} = 1.4-1.5$ Ga; $206\text{Pb}/204\text{Pb} = 18.20657-19.71906$ ) has magmatic sources with a depleted mantle (DM) signature, which interacted with a paleoproterozoic crust with isotopic signatures similar to the Arroio dos Ratos complex. For the Porto Alegre Intrusive Suite, isotopic data ( $87\text{Sr}/86\text{Sr}(600\text{Ma}) = 0.709081-0.743773$ ; $\text{E}\text{Nd}(600) = -4.2$ to $-8.3$ ; $\text{TDM} = 1.3-1.8$ Ga; $206\text{Pb}/204\text{Pb} = 18.89154-22.19739$ ) suggest a source comprised by a mantle component originated by partial melting of a recycled oceanic plate (HIMU) and mixed with a continental crust of tonian-cryogenian age, similar to the Chacara das Pedras Gneiss. The Itapuá Intrusive Suite ( $87\text{Sr}/86\text{Sr}(600\text{Ma}) = 0.711615-0.873336$ ; $\text{E}\text{Nd}(600) = -1.6$ to $-6.0$ ; $\text{TDM} = 1.2-1.6$ Ga; $206\text{Pb}/204\text{Pb} = 18.44917-22.20464$ ) has a mantle source similar to HIMU, although with a crust component depleted in Nd when compared to the Porto Alegre Intrusive Suite. All these granitic rocks are related to Neoproterozoic post-collisional settings, where previous subduction events, as well as oceanic plates relicts and DM components produced mantle-derived magmas mixed with crustal components. This process led to the extensive granite generation and the wide diversity of granites registered in the NE sector of the Dom Feliciano Belt an environment similar to those proposed to the genesis of granites associated with a "Deep Hot Zone".
<b>Suggested Reviewers:</b>	<p>Tiago Jalowitzki, PhD. Professor, Universidade de Brasilia jalowitzki@unb.br Dr. Jalowitzki is an expert in igneous petrology and isotope geochemistry, having done several studies in Brazil</p> <p>Anelise Bertotti, Dr. Professor, UFPE aneber79@gmail.com Dr. Bertotti is an expert in isotope geochemistry and the sul-rio-grandense shield</p> <p>Ruy Philipp, Dr. Professor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul ruy.philipp@ufrgs.br Prof. Ruy Philipp is the pioneer on the study of granitic rocks in Porto Alegre</p>

	<p>Pedro Oyhantcabal, Dr. Professor, Universidad de la Republica Uruguay Centro Universitario de la Region Este - Sede Maldonado oyhantca@fcien.edu.uy Prof. Oyhantcabal has done extensive studies on the cratonic areas of Rio Grande do Sul and Uruguay, including petrology and isotope geochemistry</p>
<b>Opposed Reviewers:</b>	

Porto Alegre, february28<sup>th</sup> 2020.

To: PhD.Andrés Folguera  
Editor-in-chef of Journal South American Earth Sciences

Dear Sir,

We presently submit to your appreciation the manuscript “Sources of neoproterozoic post-collisional granites from NE of Dom Feliciano Belt, RS, Brazil: Sr, Nd and Pb isotopic constraints”, by Assis, Koester, Gomes, Leitzke and Martins. This paper focuses on the post-collisional magmatism registered at southernmost of Brazil. In order to investigate the source of granite rocks, a series of Sr-Nd-Pb isotopic study was carried out in Porto Alegre region. Presentation of data is followed by discussion of sources of magmatism and implications for crustal evolution of southern Brazil in neoproterozoic times. We consider this a significant scientific contribution and we hope it will be well received by this journal.

Best regards,

Mariana da Silva Assis

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>ISÓTOPOS DE Sr, Nd e Pb DOS GRANITOS DA REGIÃO DE PORTO ALEGRE, NE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS</b>
Área de Concentração: Geoquímica
Autora: <b>Mariana Da Silva Assis</b>
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinador: Prof. Dr. Tiago Luis Reis Jalowitzki
Data: 15 de abril de 2020
Conceito: C (regular)
<b>PARECER:</b>
<p>Agradeço o convite do Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), através do Prof. Dr. Edinei Koester e pela candidata a Mestre Mariana da Silva Assis, para compor a banca de avaliação de sua dissertação.</p> <p>Este parecer tem como base o manuscrito submetido para avaliação da revista Journal of South American Earth Science (fator de impacto 1,655 e Qualis A3 da Capes). O projeto de pesquisa proposto discute dados isotópicos de Sr-Nd-Pb para o conjunto de 21 amostras de granitos da região de Porto Alegre. Essas amostras pertencem às suítes graníticas de Porto Alegre, Viamão e Itapuã. Os resultados gerados têm qualidade, com baixas incertezas, o que permite a interpretação dos mesmos com a finalidade de discutir as possíveis fontes do magmatismo granítico.</p> <p>A compreensão e o domínio do tema proposto consistem no objetivo principal de uma dissertação de mestrado, que pode resultar na publicação dos resultados finais da pesquisa em uma revista científica. No entanto, a discente demonstra dificuldade em responder a grande pergunta deste projeto através dos dados isotópicos de Sr-Nd-Pb. Ela demonstra falta de domínio dos conceitos necessários para interpretar e discutir com propriedade dados geoquímicos e isotópicos.</p>



O trabalho por vezes é de difícil leitura, especialmente quando as razões isotópicas de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  são apresentadas para as 3 suítes de granitos. Os dados de  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  foram completamente negligenciados nos capítulos de resultados e de discussão, aparecendo apenas nas tabelas 1, 2 e 3.

O manuscrito contém muita informação repetida e que poderia ser sumarizada com o intuito de melhorar a qualidade do texto sem perda de conteúdo. Da mesma maneira, o manuscrito contém diversos problemas na escrita do inglês e, antes de ser submetido, deve ser substancialmente melhorado por uma empresa especializada ou por um nativo de língua inglesa.

A autora propõe integrar à sua discussão os dados geoquímicos disponíveis na literatura para as mesmas amostras (Oliveira et al., 2001), mas utiliza os diagramas que relacionam Nb vs. Y (Pearce et al., 1984) e  $\text{SiO}_2$  vs.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ . Na minha opinião, a autora deveria ter correlacionado seus dados isotópicos (especialmente os de Sr e Pb) com os elementos litófilos de raio iônico grande (LILE, e.g. Rb, Ba, K, Sr), elementos de alto potencial iônico (HFSE, e.g. Nb, Ta, Ti) e elementos terras raras (e.g. La, Lu, Ce, Yb). Dessa maneira, ela poderia aprofundar a discussão de contaminação/assimilação crustal, assim como comparar esses resultados com granitos de idades e composições similares aos da região de Porto Alegre.

Com relação ao tratamento dos dados isotópicos, a autora optou por calcular as razões isotópicas de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  e  $\epsilon\text{Nd}$  para 600 Ma, idade de cristalização assumida através da datação do Granito Santana, Suíte Intrusiva Itapuã (Koester et al., 2001). Na minha opinião, os diagramas que relacionam as razões de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t=600 \text{ Ma})}$  vs. (A)  $1/\text{Nd}$  e (B)  $\text{SiO}_2$  não agregam de forma significativa à discussão, pois apenas as amostras da Suíte Intrusiva Porto Alegre mostram tendência positiva em ambos os diagramas. A autora descreve que as amostras da Suíte Intrusiva Viamão têm razões constantes de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  com o progressivo aumento de  $\text{SiO}_2$ . Entretanto, o padrão de distribuição das 4 amostras desta suíte não está bem definido. O diagrama (A) usualmente é utilizado para discutir mistura, mas não há padrão de curva ou reta para o conjunto de amostras das 3 suítes. No diagrama (B), a autora discute a ausência de assimilação crustal para as amostras

das suítes de Porto Alegre e Itapuã. Os padrões são interpretados pela autora como resultado de cristalização fracionada. As amostras da Suíte Intrusiva Porto Alegre definem correlação positiva entre  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t=600 \text{ Ma})}$  e  $\text{SiO}_2$ , diferente do esperado para o processo de cristalização fracionada, que resultaria em correlação negativa. O diagrama que relaciona idades modelo Sm-Nd ( $T_{\text{DM}}$ ) vs.  $\epsilon\text{Nd}$  mostra que para o evento de última extração de magma da fonte ( $T_{\text{DM}} = 1,2\text{-}1,8 \text{ Ga}$ ), o  $\epsilon\text{Nd}$  é positivo. Isso sugere que os magmas graníticos da região de Porto Alegre podem ter derivação mantélica. Entretanto, o  $\epsilon\text{Nd}_{(t=0)}$  (-7,7 a -15,7) e  $\epsilon\text{Nd}_{(t=600 \text{ Ma})}$  (-1,6 a -8,3) são negativos, indicando processo de contaminação crustal ou metassomatismo. Para comparação, o diagrama que relaciona  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t=600 \text{ Ma})}$  vs.  $\epsilon\text{Nd}_{(t=600 \text{ Ma})}$  foi construído com dados da literatura e com as composições dos reservatórios mantélicos. Os reservatórios são: manto depletado (DM), OIB com elevadas razões  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (HIMU ou High- $\mu$ ), manto primitivo superior (PUM) e manto enriquecido (EM-1 e EM-2). Na minha opinião, não está claro qual composição foi usada para o PUM. Ele representa os valores atuais para o *Bulk Silicate Earth* (BSE,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70445$ ) e *CHondritic Uniform Reservoir* (CHUR,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512638$ )? Também não está claro se todas as composições isotópicas tomadas como referência foram devidamente recalculadas para 600 Ma. Isso é fundamental para que a discussão dos resultados tenha sentido. O  $\epsilon\text{Nd}$  é calculado a partir da equação abaixo.

$$\epsilon\text{Nd} = ((^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(\text{amostra})} - ^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(\text{CHUR})}) / ^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(\text{CHUR})}) * 10000.$$

As razões de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (0,512638) e  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  (0,1967) para o  $\text{CHUR}_{(t=0)}$  são utilizadas para calcular a sua razão inicial  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t=600 \text{ Ma})}$  (0,511865). Assim, para obter o  $\epsilon\text{Nd}_{(t=600 \text{ Ma})}$  de cada uma das amostras (incluindo os reservatórios mantélicos) usados para comparação no diagrama, é preciso calcular a razão  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t=600 \text{ Ma})}$  para todas as amostras. Após obter estes resultados, é preciso aplicar a equação acima para calcular o  $\epsilon\text{Nd}_{(t=600 \text{ Ma})}$ . Isso foi feito? Se sim, deve ser devidamente descrito no manuscrito e no corpo da dissertação.

Diante do exposto acima, sugiro que a autora construa seus diagramas com base nos dados isotópicos medidos $_{(t=0)}$ . Dessa forma, a comparação com os reservatórios mantélicos e com os dados da literatura é direta (facilitada). Sobre as razões de

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , 4 amostras da Suíte Intrusiva Porto Alegre e 5 da Suíte Intrusiva Itapuã têm razões anormalmente altas ( $> 0,8$ ). Na minha opinião, estas amostras não devem ser incluídas na discussão.

Os dados de Pb-Pb mostram que os granitos da região de Porto Alegre têm forte afinidade com o reservatório HIMU (ou HIMU-like). A distribuição das amostras no diagrama que relaciona  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  sugere mistura entre EM-1 ou EM-2 com HIMU. A maioria das amostras têm  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 19$ . É importante que as curvas plotadas (manto, orogênica, crosta superior, crosta inferior) neste diagrama sejam explicadas. Qual o significado delas?

Com base nesses diagramas, a autora relaciona a gênese dos granitos da região de Porto Alegre à 3 fontes distintas. Entretanto, considero os resultados apresentados muito similares, provavelmente evidenciando uma única fonte para as 3 suítes. Ao longo do manuscrito, a autora propõe a mistura entre um componente mantélico (DM, PUM ou HIMU) com participação de crosta continental (Porto Alegre e Viamão) e metassedimentos da crosta superior (Itapuã). Na minha opinião, não é possível relacionar esses granitos com o DM ou PUM, pois ambos têm composições significativamente diferentes das dos granitos. O DM tem baixas razões  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0,702-0,703) e elevadas razões  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ( $>0,513$ ). Qual a composição/referência utilizada para o PUM? Conforme evidenciado pelos dados de  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , realmente os granitos da região de Porto Alegre têm relação com o reservatório HIMU. Entretanto, essa relação não é suportada pelos dados de Sr-Nd.

A autora atribui às suítes de Porto Alegre e Viamão um componente crustal (crosta continental superior) Paleoproterozoico. Estou de acordo com esta interpretação, mas através das idades  $T_{\text{DM}}$  (1,2-1,8 Ga) a crosta também pode ter idade Mesoproterozoica. Para a Suíte Itapuã, a autora sugere a contribuição de metassedimentos. Na minha opinião não há motivos para diferenciar o componente crustal das 3 suítes. Considerando-se as idades  $T_{\text{DM}}$ , gostaria de entender como rochas que registram idades Meso- e Paleoproterozoicas para o último processo de fusão parcial têm idade de cristalização de Neoproterozoica (600 Ma). Assim, teríamos entre 0,6 e 1,2 Ga entre fusão e cristalização. De acordo com os dados da

literatura, a autora considera como possíveis fontes para as suítes graníticas as rochas do Granito Arroio Pedrado (Vieira et al., 2019), Gnaiss Chácara das Pedras (Koester et al., 2016), Ortognaiss Várzea do Capivarita (Martil et al., 2017), Complexo Arroio dos Ratos (Gregory et al., 2015) e Complexo Encantadas (May, 1990). Comparativamente, considero que as amostras das 3 primeiras referências são as mais plausíveis. Devido a grande diferença composicional, as 2 últimas são as fontes menos prováveis. Entretanto, é importante considerar que um evento metamórfico (de médio a alto grau) pode ter perturbado o sistema isotópico de Sr. Portanto, a grande variação observada nas razões de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t=0)}$  (0,715926-0,779515, onde os valores acima de 0,8 não foram considerados) com pouca variação nas razões de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t=0)}$  (0,511831-0,512001), candidata o Gnaiss Chácara das Pedras e o Ortognaiss Várzea do Capivarita como possíveis fontes.

Gostaria de destacar o mérito da candidata na geração dos dados isotópicos. Não é comum que o pesquisador produza o seu próprio dado em laboratório e apenas aqueles que têm experiência sabem o quanto é trabalhoso.

Por fim, embora o trabalho apresente diversos problemas, considero que a candidata alcançou o necessário para a obtenção do título de mestre. O conceito atribuído por mim é **C**.

Assinatura:



Data: 14 de abril de 2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>ISÓTOPOS DE Sr, Nd e Pb DOS GRANITOS DA REGIÃO DE PORTO ALEGRE, NE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS</b>
Área de Concentração: Geoquímica
Autora: <b>Mariana Da Silva Assis</b>
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinadora: Profa. Dra. Anelise Losangela Bertotti
Data: 01/04/2020
Conceito: A (Excelente)
<b>PARECER:</b>
<p>Primeiramente, gostaria de agradecer o convite do Programa de Pós-Graduação em Geociências do Instituto de Geociências/UFRGS e do orientador Prof. Dr. Edinei Koester para compor a banca de avaliação da dissertação de mestrado intitulado "ISÓTOPOS DE Sr, Nd e Pb DOS GRANITOS DA REGIÃO DE PORTO ALEGRE, NE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS" da mestranda <b>Mariana da Silva Assis</b>.</p> <p>De modo geral, o trabalho está muito bem organizado e escrito. Ao longo de todo texto da dissertação poucos erros de pontuação e de português foram observados. Cabe destacar que o mesmo está obedecendo as normas estabelecidas pelo programa quanto a sua formatação.</p> <p>As correções e os comentários que foram necessários estão assinalados em amarelo e apontados com notas ao longo do texto da dissertação e que, podem ser conferidos pelo mestrando e seu orientador no documento anexado ao e-mail de envio do parecer.</p> <p>No entanto, gostaria de fazer algumas sugestões e destacar alguns pontos ao mestrando e seu orientador:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Na seção de Materiais e Métodos, poderia ter sido feito textos sobre os métodos analíticos utilizados na pesquisa e neles ter sido abordado as possíveis informações que podem ser obtidas de cada um. E também poderia ter sido explicado o uso da técnica de diluição isotópica em amostras geológicas e que quando não usada, como foi o caso das amostras de Sr do estudo, quais os resultados a serem esperados.</li> <li>2) Também acho que faltou uma breve discussão dos diferentes reservatórios mantélicos que possivelmente a Terra possui, discutindo assim, quais seriam os valores isotópicos esperados para cada um deles.</li> <li>3) Não ficou claro que as fontes mantélicas para os granitos são o DM e o HIMU e porque foram descartados como possíveis fontes os reservatórios EMI e EMII, uma vez que os resultados obtidos são bem próximos a estes. Mas como muitos estudos geológicos, esta também é</li> </ol>

uma área que ainda apresenta questionamentos principalmente acerca das condições de cristalização, caracterização dos enclaves máficos presentes nestes granitos e porcentagem de fusão mantélica, o que poderá ser feito em futuros estudos.

Por fim, parabênizo a discente e seu orientador por sua colaboração com a evolução do conhecimento para o nordeste do Cinturão Dom Feliciano e meu parecer é de A (Excelente).

Assinatura: *Anelise B. Bertotti*

Data:01/04/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>ISÓTOPOS DE Sr, Nd e Pb DOS GRANITOS DA REGIÃO DE PORTO ALEGRE, NE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS</b>
Área de Concentração: Geoquímica
Autora: <b>Mariana Da Silva Assis</b>
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinador: Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp
Data: 25-05-2020
Conceito: C
<b>PARECER:</b>
<p>A dissertação de mestrado da Mariana S. Assis representa uma importante contribuição para a geologia dos granitóides do Batólito Pelotas no RS. Os dados isotópicos apresentados são robustos e significam uma grande contribuição a petrologia do magmatismo granítico do RS. A autora gerou um grande volume de dados e este é um dos maiores méritos da dissertação. A obtenção de dados desta natureza representam um grande esforço pessoal da orientanda e dos colaboradores, com destaque para o orientador. Dados deste nível são ainda muito poucos no RS e representam um grande avanço para a compreensão da petrologia ígnea da região.</p> <p>A dissertação cumpre com os requisitos exigidos pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências do Instituto de Geociências da UFRGS. O texto apresenta os elementos básicos de uma dissertação, entretanto, apresenta diversos problemas de formatação (mais de um tipo de letra por ex.), embora poucos erros gramaticais. A autora apresenta uma pequeníssima Introdução ao tema em estudo e optou por não apresentar uma revisão conceitual sobre os conceitos básicos que envolvem a metodologia utilizada. O texto passa direto para uma extensa descrição dos procedimentos metodológicos. Esta passagem é seca e muito brusca para o leitor.</p> <p>O texto segue com o Contexto Geológico, que apresenta ao leitor uma visão pouco informativa, tendenciosa e sem comprometimento com os trabalhos anteriores. A autora não apresentou uma base geológica satisfatória para o entendimento da geologia regional. Não há uma descrição adequada do cenário regional, faltou uma base de conceitos que conduzisse o leitor a uma visualização dos modelos geotectônicos e petrológicos existentes e propostos para a região. As figuras são muito limitadas quanto a informação geológica e com relação aos aspectos gráficos mínimos de um mundo moderno.</p> <p>A estratigrafia adotada tem com base uma proposta frágil, embasada em dois trabalhos que não apresentaram os elementos mínimos de estratigrafia utilizados para a definição estratigráfica de unidades plutônicas. Não há dados de relação de campo, como relações de corte e de inclusão, não há petrografia, não há qualidade gráfica mínima no trabalho principal (Oliveira et al. 2001) e por fim, não há análises</p>

geoquímicas suficientes para embasar a proposta adotada. A maioria das unidades são definidas com base em três ou quatro análises químicas. As análises são na sua ampla maioria incompletas, contendo os elementos maiores, alguns menores e sem padrão de elementos terras raras. Deste modo, esta proposta não apresenta ainda condições mínimas de ser avaliada. Não há neste artigo, descrição das unidades, descrição das relações estratigráficas, nem mesmo a localização de importantes afloramento é obtida no pobre mapa apresentado. A qualidade gráfica é lamentável para tamanha proposição. Não há uma imagem de campo, uma lâmina delgada, um croqui. Como vamos acreditar no que esta sendo proposto com tão poucos elementos? A outra base geológica é o Atlas Ambiental de Porto Alegre. Este atlas também não apresenta os elementos mínimos para uma proposta estratigráfica. Não há uma linha de descrição das unidades, não há relações de contato, não há NENHUMA evidência de relações estratigráficas. Desta forma, como acreditar nesta proposição? Quais são os elementos? A beleza do atlas?

A autora preferiu colocar seu belíssimo conjunto de dados sobre esta base inconsistente. E também não levou em consideração os trabalhos anteriores, como as 40 análises químicas completas apresentadas por Philipp et al. (1998). Porque? Deste modo, considere o contexto geológico tendencioso, porque a autora despreza fatos e relações que ainda nunca foram demonstradas por nenhum autor em algum periódico geológico consistente.

A apresentação dos resultados é pobre demais. Os dados são apresentados como conjuntos de números com muito pouca correlação com a geologia e sem relação com o significado geoquímico de cada unidade. A discussão é muito pobre e rápida. Os dados estão subutilizados. É uma pena, considerando o esforço e o custo tecnológico e de insumos necessários para sua obtenção.

A ampla maioria dos diagramas apresentados tem qualidade gráfica ruim, e não insere os dados regionais disponíveis para comparação. Porque? Existem trabalhos com dados isotópicos regionais que não foram utilizados (Philipp et al. 2007 – Livro 50 anos. Um capítulo de dados isotópicos do batólito) Porque não comparou?

A autora necessita mais leitura, comprometimento e tempo para produzir um texto com uma discussão mais verdadeira e focada na produção de ciência geológica.

Os méritos da dissertação são a obtenção do banco de dados, um fator muito im-



portante e louvável, mas insuficiente para produzir uma boa dissertação de mestrado.

Segue em anexo ao parecer, o arquivo pdf da dissertação com as minhas observações.

Conceito Final: C

Assinatura:



Data: 25-05-2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: