



Isótopos de Estrôncio (Sr) e Neodímio (Nd) como Indicadores de Proveniência Sedimentar em Rifts Continentais: o Caso do Gráben de Casa de Pedra, Bacia de Volta Redonda (RJ)

Strontium and Neodymium Isotopes as Tracers of Sedimentary Provenance in Continental Rifts: the Case of the Casa de Pedra Graben, Volta Redonda Basin, Southeast Brazil

Suzana dos Santos Matos¹; Renato Rodriguez Cabral Ramos² & Claudio de Morisson Valeriano³

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciência Matemáticas e da Natureza, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Programa de Pós-graduação em Geologia, Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Bloco G, Secretaria do PPGL, Campus Ilha do Fundão (Cidade Universitária), 21.941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, Departamento de Geologia e Paleontologia, Quinta da Boa Vista, São Cristóvão, 20940-040, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

³Universidade do Estado do Rio de Janeiro, TEKTOS- Grupo de Pesquisas em Geotectônica, Faculdade de Geologia, Rua São Francisco Xavier 524/4006-A, Maracanã. 20559-900 Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mails: suzamatos@yahoo.com.br; rrosos@mn.ufrj.br; valeriano.claudio@gmail.com

Recebido em: 19/06/2018 Aprovado em: 27/07/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_538_552

Abstract

The sedimentary basin of Volta Redonda, located in the middle valley of the Paraíba do Sul River, in the state of Rio de Janeiro, is infilled by paleogenic sedimentary rocks of Ribeirão dos Quatis, Resende and Pinheiral formations and by ankaramite volcanic rocks included in the unit called Basanite Casa de Pedra. Neogene and Quaternary sediments cover the whole set and the crystalline basement. The Graben Casa de Pedra is the largest depocenter of the basin, which is 9 km long in the NE-SW direction, 3 km wide in NW-SE direction and has a maximum depth around 112 m. Two outcrops were selected, one near the southern border and the other at the northern edge of the Graben for the determination of the $^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratios in 23 sedimentary rock samples and one ankaramite. The sediment samples were evenly split, ground and chemically prepared for isotopic analysis by Thermal Ionization Mass Spectrometry (TIMS) TRITON. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and ϵ_{Nd} ratio results of the Resende Formation from both sampling points are between 0.7368 and 0.7550 and from -20.9 to -15.2, respectively; those from the Pinheiral Formation range between 0.7421 and 0.7784 and from -20.6 to -18.1. The sample of ankaramite, from the Basanite Casa de Pedra unit, presents $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of 0,7043 and ϵ_{Nd} of -4,6. Results shows that the composition of both sedimentary units reflect a major contribution of the crystalline basement as source areas, as opposed to the Cretaceous-Palaeogenic alkaline rocks; the Resende Formation had a greater contribution of juvenile components (mantelic) in comparison to the Pinheiral Formation. This contribution may be related to local penecontemporary ankaratic spills or erosion of the alkaline complexes of the Resende-Itatiaia region; the Pinheiral Formation, with more crustal isotopic characteristics, can be a product of reworking of the Resende Formation, with other contributions of the pre-Cambrian basement.

Keywords: radiogenic isotopes; Resende Formation; Pinheiral Formation

Resumo

A bacia sedimentar de Volta Redonda, localizada no médio vale do rio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro, é preenchida por rochas sedimentares paleogênicas das formações Ribeirão dos Quatis, Resende e Pinheiral e por rochas vulcânicas ankaramíticas incluídas na unidade denominada Basanito Casa de Pedra. Sedimentos neogênicos e quaternários recobrem o conjunto e o embasamento cristalino. O maior depocentro da bacia é o gráben de Casa de Pedra, que possui 9 km de comprimento na direção NE-SW, 3 km de largura na direção NW-SE e profundidade máxima em torno de 112 m. Foram selecionados dois afloramentos nessa área, um próximo à borda sul e outro à borda norte do gráben para a determinação das razões isotópicas $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em 23 amostras de rochas sedimentares e uma de ankaramito. As amostras sedimentares foram quarteadas, moídas e preparadas quimicamente para as análises isotópicas, realizadas com um espectrômetro de massa por termo-ionização (TIMS) TRITON. Os valores da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e do ϵ_{Nd} para as amostras da Formação Resende de ambos os pontos de coleta encontram-se entre 0,7368 e 0,7550 e desde -20,9 até -15,2, respectivamente; os da Formação Pinheiral entre 0,7421 e 0,7784 e desde -20,6 até -18,1. A amostra de ankaramito, referente à unidade Basanito Casa de Pedra, apresenta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,7043 e ϵ_{Nd} de -4,6. Os resultados indicam que ambas as unidades sedimentares apresentam composições que refletem aporte majoritário de áreas-fonte do embasamento, em contraposição às rochas alcalinas cretáceo-paleogênicas; a Formação Resende teve maior contribuição de componentes juvenis (mantélicos) em comparação à Formação Pinheiral; esta contribuição juvenil pode ser relacionada aos derrames ankaramíticos penecontemporâneos locais ou à erosão dos complexos alcalinos da região de Resende-Itatiaia; a Formação Pinheiral, com características isotópicas mais crustais, pode ser produto de retrabalhamento da Formação Resende, com outros aportes do embasamento pré-cambriano.

Palavras-chave: isótopos radiogênicos, Formação Resende, Formação Pinheiral.



1 Introdução e Objetivos

A bacia sedimentar de Volta Redonda localiza-se na porção central da Faixa Ribeira e integra o conjunto de bacias que compõem o *Rift* Continental do Sudeste do Brasil- RCSB (Riccomini, 1989). Seu preenchimento é composto pelos depósitos siliciclásticos das formações Ribeirão dos Quatis, Resende e Pinheiral, bem como pelas rochas vulcânicas ultrabásicas alcalinas incluídas na unidade Basanito Casa de Pedra, além de depósitos neogênicos e quaternários (Melo *et al.*, 1983; Sanson *et al.*, 2006; Negrão *et al.*, 2015). Seu maior depocentro é o gráben de Casa de Pedra, que abriga expressivos depósitos das formações Resende e Pinheiral, assim como a única ocorrência de rochas vulcânicas em toda a bacia. O objetivo deste estudo foi testar o uso de isótopos radiogênicos de Sr e Nd na investigação da origem dos sedimentos siliciclásticos que compõem essas unidades litoestratigráficas. A metodologia aplicada foi a comparação das razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e do parâmetro ϵ_{Nd} (DePaolo & Wasserburg, 1976) das amostras destas com as das possíveis áreas-fonte circunvizinhas, obtidas através de levantamento bibliográfico. Tal pesquisa fornece informações que contribuem para a compreensão da evolução do RCSB.

2 Localização

A bacia sedimentar de Volta Redonda localiza-se na região SW do estado do Rio de Janeiro, região do médio vale do rio Paraíba do Sul e abrange os municípios de Volta Redonda, Barra Mansa, Porto Real, Pinheiral, Piraí e Barra do Piraí (Figura 1). Os afloramentos estudados encontram-se às margens da Rodovia do Contorno (interditada), no principal depocentro da bacia, o gráben de Casa de Pedra, situado nos municípios de Volta Redonda e Pinheiral, e são acessíveis pela Rodovia dos Metalúrgicos (VRD-001), pouco antes do Bairro Vila Rica, ou pela rodovia que liga Volta Redonda a Pinheiral (VRD-101), na área do bairro Três Poços. O ponto SU02 localiza-se na borda sul do gráben (44°03'09,07"S; 22°32'24,84"W;) e o ponto SU06 em sua borda norte (44°03'01,94"S; 22°31'12,83"W).

3 Contexto Geológico Regional

A área de estudo, localizada na porção central da Faixa Orogênica Ribeira, Província da Mantiqueira, que resultou da amalgamação de terrenos neoproterozoicos e do retrabalhamento de material crustal paleoproterozoico durante a Orogenia Brasileira, que deu origem ao supercontinente Gondwana Ocidental (Heilbron *et al.*, 2004). A Faixa Orogênica Ribeira compreende quatro terrenos tectono-estratigráficos, separados por falhas de empurrões e zonas de cisalhamento oblíquas transpressivas. Os terrenos Ocidental, Oriental e Paraíba do Sul foram amalgamados entre 605 e 580 Ma; enquanto o Terreno Cabo Frio há 520 Ma, durante o Cambriano (Heilbron, 1993; Heilbron & Machado, 2003). Do Cretáceo Superior ao Paleógeno ocorreram atividades magmáticas do tipo plutonismo e vulcanismo alcalino no Sudeste do Brasil e, durante os pulsos magmáticos finais, teve início a abertura do RCSB. Este constitui uma depressão com cerca de 900 km de comprimento, de orientação ENE-WSW, que abriga bacias com sedimentação eminentemente aluvial e manifestações vulcânicas localizadas (Riccomini, 1989; Zalán & Oliveira, 2005). O clímax evolutivo do RCSB ocorreu durante o Eoceno e o Oligoceno, sendo seguido por diversas fases de reativação tectônica, que perduram até o Holoceno (Riccomini *et al.*, 2004; Zalán & Oliveira, 2005).

O embasamento da bacia de Volta Redonda é composto por complexos ortoderivados paleoproterozoicos, complexos paragnáissicos neoproterozoicos e suítes intrusivas neoproterozoicas/eopaleozoicas, no contexto dos terrenos Ocidental e Paraíba do Sul. Todos esses corpos são alongados na direção NE-SW, controlados estruturalmente pelo *trend* principal da Faixa Ribeira (Heilbron *et al.*, 2004).

3.1 Bacia Sedimentar de Volta Redonda

A bacia de Volta Redonda é preenchida pelos depósitos sedimentares aluviais das formações Ribeirão dos Quatis, Resende e Pinheiral, além de abrigar rochas vulcânicas ankaramíticas incluídas na unidade denominada Basanito Casa de Pedra, bem como por sedimentos neogênicos e quaternários (Figura 2).

Isótopos de Estrôncio (Sr) e Neodímio (Nd) como Indicadores de Proveniência Sedimentar em Riftes Continentais: o Caso do Gráben de Casa de Pedra, Bacia de Volta Redonda (RJ)
 Suzana dos Santos Matos; Renato Rodriguez Cabral Ramos & Claudio de Morisson Valeriano

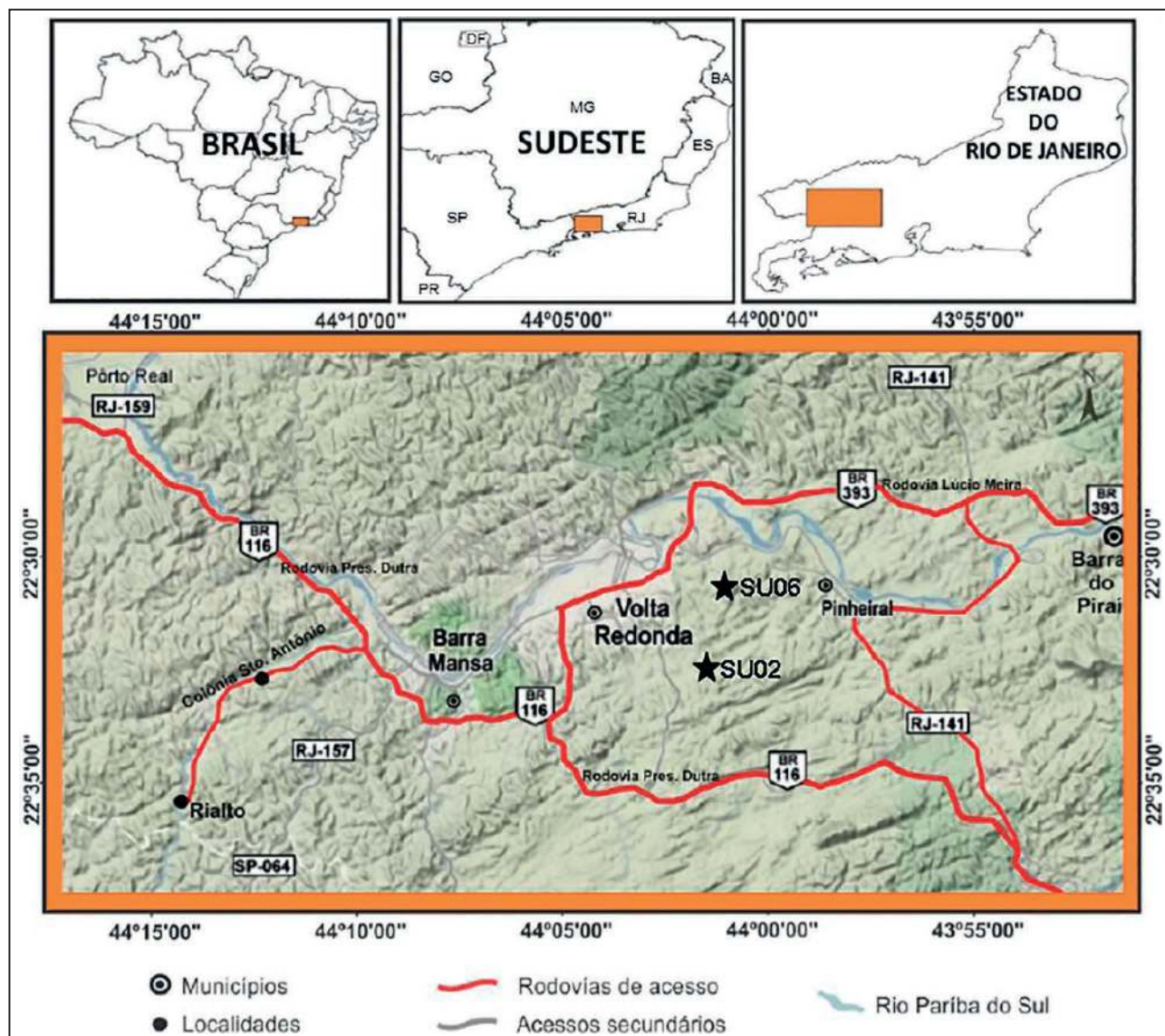


Figura 1 Localização e principais vias de acesso para a área de estudo (modificado de Negrão, 2014).

A Formação Ribeirão dos Quatis encontra-se disposta diretamente sobre o embasamento pré-cambriano e é composta por conglomerados quartzosos com seixos arredondados e matriz arcossiana, com intercalações de arcósios e pelitos. Foi interpretada como produto de um sistema fluvial entrelaçado vigente nos momentos iniciais de formação do *rift* (Ramos *et al.*, 2006; Negrão *et al.*, 2015).

A Formação Resende corresponde à principal fase de sedimentação da bacia, sendo caracterizada

por conglomerados finos e arcósios estratificados, e abundantes lamitos esverdeados. Os sedimentos foram depositados em inconformidade sobre o embasamento pré-cambriano, sendo interpretados como produto de leques aluviais e sistemas fluviais axiais de padrão entrelaçado (Ramos *et al.*, 2006; Negrão *et al.*, 2015).

O Basanita Casa de Pedra inclui derrames de uma rocha vulcânica ultramáfica alcalina (lava ankaramítica), de textura hipocristalina porfírica com fenocristais de até 3 mm de piroxênio e augita,

Isótopos de Estrôncio (Sr) e Neodímio (Nd) como Indicadores de Proveniência Sedimentar em Riftes Continentais: o Caso do Gráben de Casa de Pedra, Bacia de Volta Redonda (RJ)

Suzana dos Santos Matos; Renato Rodriguez Cabral Ramos & Claudio de Morisson Valeriano

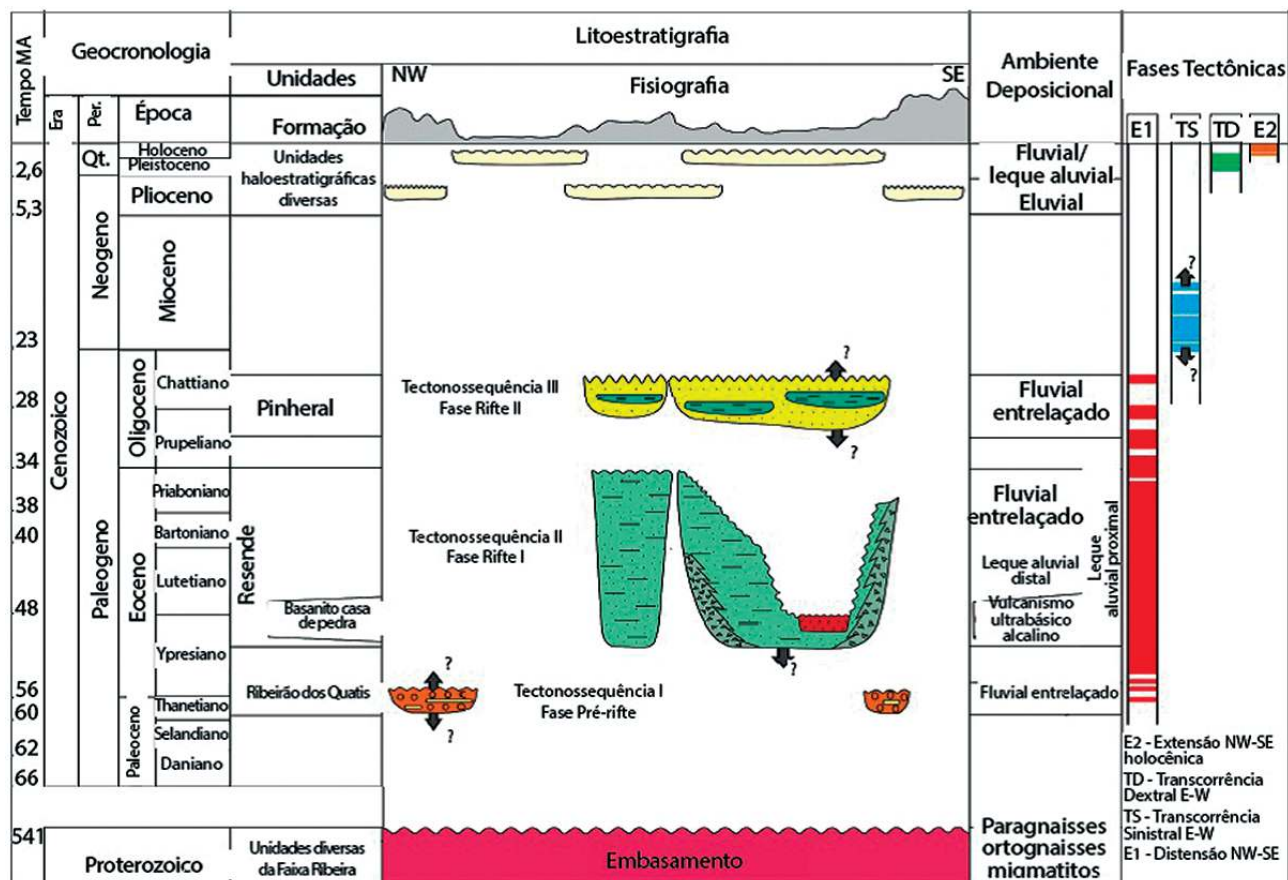


Figura 2 Carta litoestratigráfica da bacia de Volta Redonda (modificada por Negrão *et al.*, 2015 a partir de Sanson, 2006).

imersos em uma matriz afanítica de coloração preta (Ramos *et al.*, 2005; Fiaux Rodrigues *et al.*, 2005). Datada em $49,5 \pm 0,4$ Ma pelo método Ar-Ar (Ramos *et al.*, 2008), o ankaramito foi classificado como um olivina basalto melanocrático (Tröger, 1935).

A Formação Pinheiral é uma unidade representada por conglomerados com clastos quartzosos arredondados e matriz arcossiana, brechas intraformacionais, arcósios e argilitos, relacionada a canais fluviais entrelaçados. Os intervalos pelíticos maciços ou laminados, que chegam a atingir 7 m de espessura no setor nordeste do gráben de Casa de Pedra, foram relacionados ao afogamento desse sistema fluvial por reativações tectônicas (Sanson *et al.*, 2006; Marques *et al.*, 2006; Negrão *et al.*, 2015). Seus depósitos ocorrem frequentemente em topos de colinas íngremes e podem ser encontrados em discordância com o embasamento, sobre a Formação Resende e o Basanito Casa de Pedra.

Depósitos neogênicos são encontrados diretamente sobre o embasamento ou depósitos paleogênicos, caracterizados por sedimentos arenos-argilosos com grânulos e seixos de quartzo dispersos, seleção muito pobre e coloração castanho-amarelada (Marques *et al.*, 2006).

Os depósitos quaternários são representados por terraços cascalhosos de idade pleistocênica (Amador & Castro, 1976), bem como depósitos aluviais e coluviais arenosos e areno-argilosos de idade holocênica, preservados em vales fluviais e nas cabeceiras de drenagem (Marques *et al.*, 2006). Os depósitos holocênicos são resultado de um período de grande instabilidade na paisagem durante o Holoceno inicial a médio, onde os sistemas de drenagem sofreram intensa erosão e o material removido entulhou os vales fluviais e cabeceiras de drenagem (Mello, 1992; Mello *et al.*, 1995).

Negrão (2014) e Negrão *et al.* (2015) identificaram nove grábens/depocentros que compõem a bacia de Volta Redonda (Figura 3):

Como a área de estudos imediata circunscreve dois pontos no gráben de Casa de Pedra, este será caracterizado a seguir.

3.1.1 Gráben de Casa de Pedra

O gráben de Casa de Pedra (Figura 3) é o principal depocentro da bacia de Volta Redonda, apresentando comprimento máximo de 9 km na direção NE-SW e largura de 3 km na direção NW-SE. Seu preenchimento compreende as formações Resende e Pinheiral e derrames de rocha vulcânica alcalina ultrabásica (Basanito Casa de Pedra).

Nesse depocentro, a Formação Resende alcança sua maior distribuição lateral contínua e

espessuras máximas aflorantes de 30 m (Negrão *et al.*, 2015) e totais de 120 m (Padilha & Vittorello, 1992). Predominam conglomerados finos a médios e arenitos estratificados de coloração esverdeada, e lentes de argilitos e lamitos também esverdeados, relacionados a sistemas fluviais entrelaçados, com paleocorrente predominante para SE (Sansón *et al.*, 2006; Negrão *et al.*, 2015). A borda sul é a principal, identificada a partir do desnível acentuado em relação ao embasamento, bem como a presença de fácies rudíticas relacionadas a leques aluviais. A borda norte não apresenta o mesmo tipo de registro, o que sugere uma geometria de hemigráben (Negrão, 2014; Negrão *et al.*, 2015).

Os derrames ankaramíticos afloram na parte oeste do gráben. Sansón *et al.* (2006), ao estabelecer uma coluna estratigráfica para a bacia de Volta Redonda, posicionou o Basanito Casa de Pedra entre as formações Resende e Pinheiral. Negrão (2014) e Negrão *et al.* (2015), contudo, corroboraram o

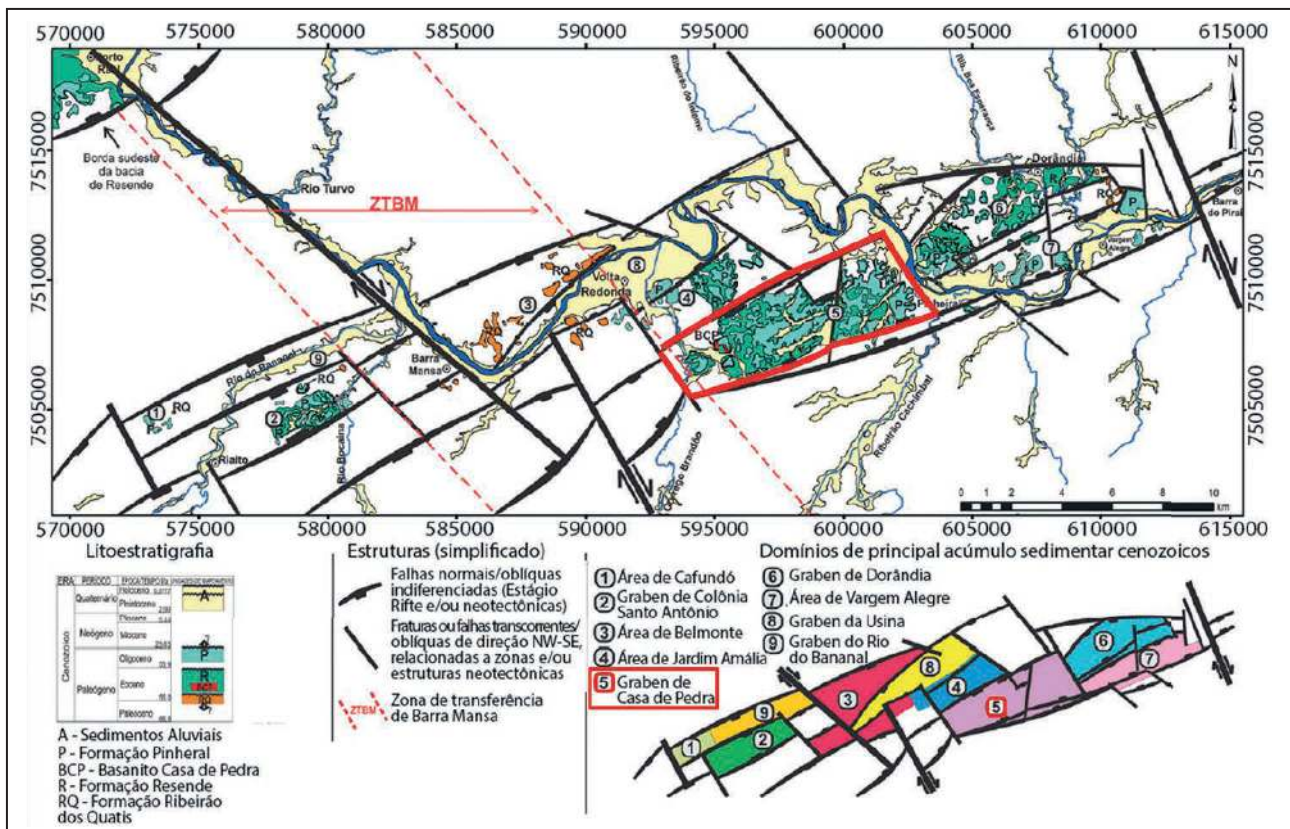


Figura 3 Mapa geológico da região da bacia de Volta Redonda exibindo os domínios estabelecidos por Negrão (2014), além dos principais sistemas de falhas responsáveis pela geração e deformação deste setor do Rift Continental do Sudeste do Brasil (modificado de Negrão *et al.*, 2015).

posicionamento proposto por Riccomini (1989) e Riccomini *et al.* (2004), que pressupõe que o vulcanismo foi coevo ao “sistema fluvial Resende”, sugerindo que a incisão do “sistema fluvial Pinheiral” tenha erodido tanto porções da unidade anterior quanto do Basanito Casa de Pedra.

Os depósitos da Formação Pinheiral são geralmente encontrados nas bordas do gráben de Casa de Pedra e em discordância erosiva sobre a Formação Resende. Em todos os depocentros da bacia onde ocorre, esta unidade caracteriza-se por espessos pacotes de ortoconglomerados quartzosos e arcósios estratificados depositados em canais fluviais, e intervalos pelíticos depositados em eventos de inundação da planície e em canais abandonados (Sanson *et al.*, 2006; Marques *et al.*, 2006; Negrão *et al.*, 2015).

4 Amostragem e Procedimentos Analíticos

O material analisado consiste em 23 amostras de rochas sedimentares das formações Resende e Pinheiral (Tabela 1), coletadas amostras em 18/03/15. No ponto SU02 (figuras 4 e 6) afloram depósitos da Formação Resende e no ponto SU06 (figuras 5 e 7) foram identificados depósitos das formações Resende e Pinheiral.

As amostras foram coletadas de forma a representar o afloramento em sua extensão e variação litológica. Foram selecionadas amostras de granulometrias mais finas, arenitos e lamitos, pois estas ocorrem com frequência na bacia e representam, em princípio, misturas de áreas-fonte menos locais do que ruditos.

O ponto SU02 (Figura 4) apresenta falhas ocorridas entre o Mioceno e o Holoceno (Maciel, 2016), que deslocaram as camadas. Assim, para uma relação estratigráfica correta, a seção do afloramento onde foram coletadas as amostras foi reconstruída. Ao longo da falha de comportamento normal, os intervalos foram correlacionados de acordo com Maciel (2016), verificando-se que a numeração atribuída às amostras não refletia sua ordem de deposição (Figura 6). Nos gráficos presentes nas discussões será respeitada a ordem deposicional, não a numérica.

Ponto de coleta	Unidade	Amostra	Posição a partir da base do perfil (m)	Breve descrição
Ponto SU02 (44°03'09,07"S; 22°32'24,84"W)	Formação Resende	SU02-01	0,7	Arenito médio com seixos dispersos e estratificação cruzada acanalada.
		SU02-02	2,6	Arenito médio com estratificação cruzada acanalada.
		SU02-03	5,4	Arenito médio com estratificação cruzada acanalada.
		SU02-04	7	Arenito grosso com estratificação cruzada acanalada.
		SU02-05	7,4	Argilito maciço.
		SU02-06	7,6	Arenito grosso com estratificação cruzada acanalada.
		SU02-07	8,5	Arenito muito fino laminado.
		SU02-08	10,8	Siltito maciço.
		SU02-09	11,4	Conglomerado fino com matriz de areia média a grossa e estratificação cruzada acanalada.
		SU02-10	13,1	Arenito fino com estratificação cruzada acanalada pouco nítida.
		SU02-11	13,8	Siltito argiloso maciço.
Ponto SU06 (44°03'01,94"S; 22°31'12,83"W)	Formação Resende	SU06-01	0,7	Arenito fino maciço.
		SU06-02	1,1	Arenito muito fino argiloso, maciço.
		SU06-03	1,6	Arenito muito fino maciço.
		SU06-04	3	Arenito médio maciço.
		SU06-05	3,3	Arenito médio maciço.
	Formação Pinheiral	SU06-06	4,8	Arenito muito grosso com seixos dispersos e estratificação cruzada acanalada.
		SU06-07	5,9	Arenito médio gradando para fino com estratificação cruzada acanalada.
		SU06-08	8,1	Argilito laminado com fósseis de sementes e talos vegetais.
		SU06-09	8,7	Arenito muito grosso com estratificação cruzada acanalada.
		SU06-10	14	Arenito muito grosso com seixos dispersos, maciço.
		SU06-11	17,1	Arenito médio com poucos seixos dispersos, maciço.
		SU06-12	24,8	Arenito grosso gradando para fino, maciço.

Tabela 1 Localização e breve descrição das amostras

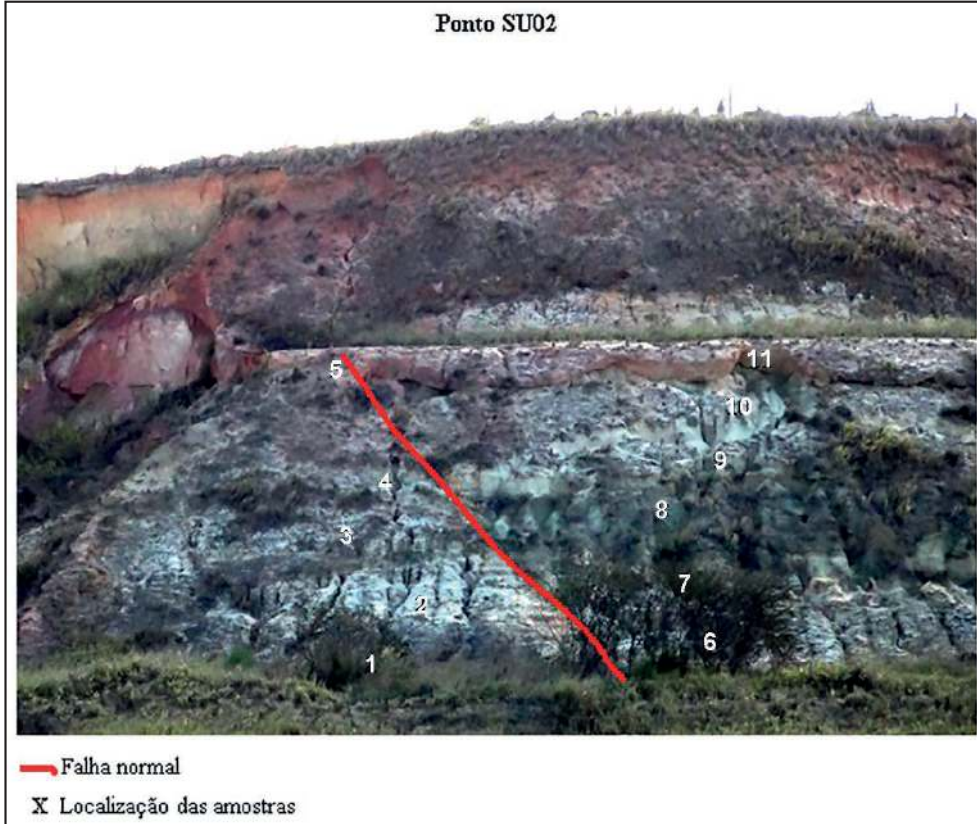


Figura 4 Ponto SU02 com a localização das amostras.

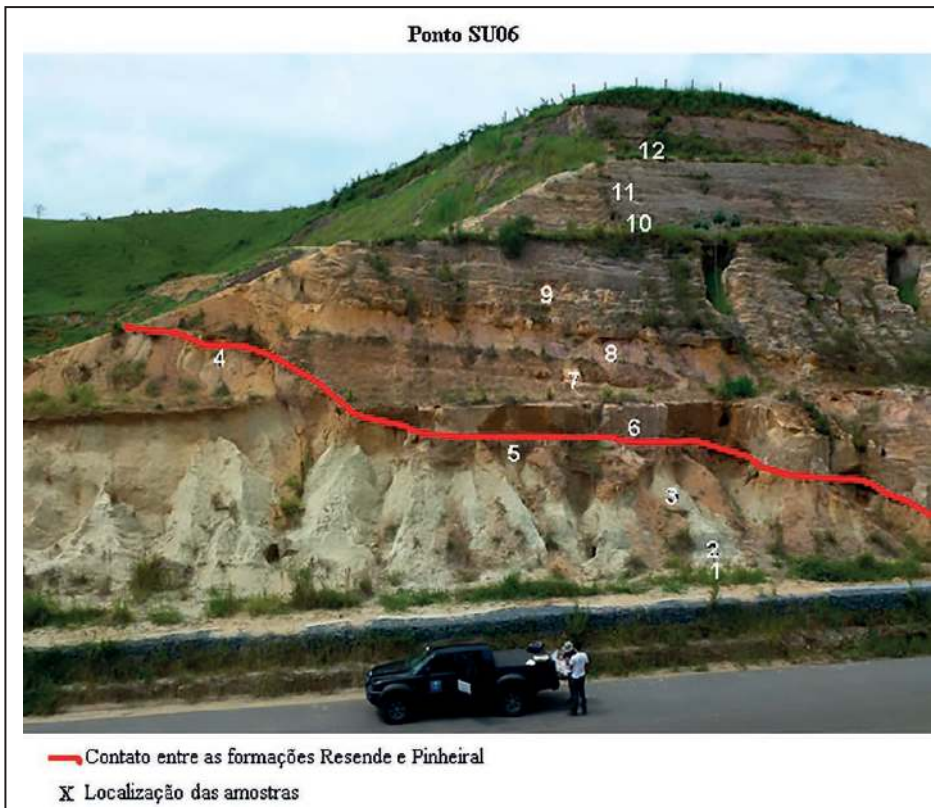


Figura 5 Ponto SU06 com a localização das amostras.

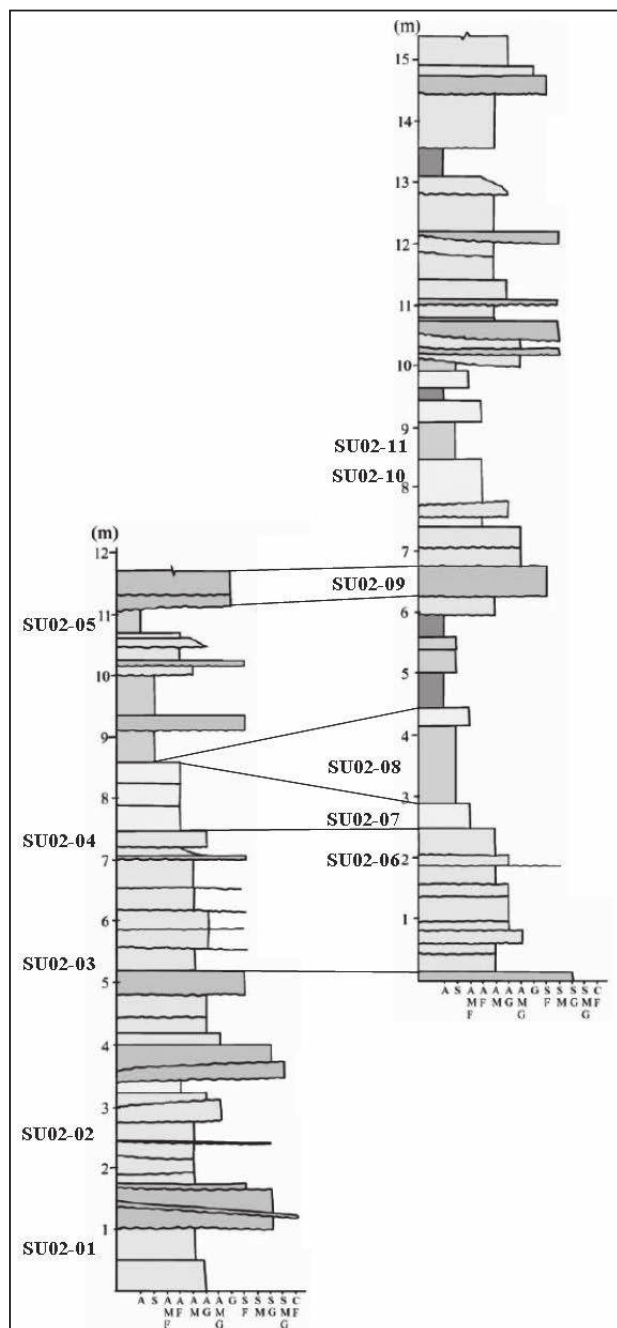


Figura 6: Localização das amostras no perfil do ponto SU02, já corrigido (modificado de Maciel, 2016).

4.1 Análises Isotópicas

Cada amostra passou por uma preparação, que foi realizada no LGPA-UERJ (Laboratório Geológico de Preparação de Amostras) e consistiu

em quarteamento manual e pulverização em moinho de bola ou grau e pistilo de ágata. Esses procedimentos foram realizados em ambiente limpo e sobre superfície descartável, substituída após a preparação de cada amostra, como cuidados necessários para evitar a contaminação do material. Os recipientes com as 23 amostras pulverizadas foram levados para o LAGIR, onde foram realizadas a preparação química e as análises isotópicas.

O LAGIR-UERJ (Laboratório de Geocronologia e Isótopos Radiogênicos), conta com salas limpas sob pressão positiva do ar e um espectrômetro de massa por termo-ionização (TIMS - TRITON- Thermo Finnigan®). Todos os procedimentos químicos foram realizados em capela de fluxo laminar e os procedimentos de secagem em capela de exaustão. Os padrões de rocha utilizados são fornecidos pelo USGS (andesito AGV-1, aqui utilizado).

A preparação química das amostras consistiu em digestão química com ácidos bidistilados em sub-ebulição - ácido fluorídrico (HF 48%), ácido nítrico (HNO₃ 6N) e ácido clorídrico (HCl 6N) -, e cromatografia de troca iônica. Nesta, a coluna primária, preenchida com resina Bio-Rad AG-50W-X-8 (100-200 mesh), recebeu a amostra diluída em HCl 2,5N, para a coleta do Estrôncio (Sr) e dos elementos terras raras (ETR's). A coluna secundária, preenchida com resina LN-Spec (150 mesh), recebeu o concentrado de ETR's diluído em HCl 0,18N e separou o Neodímio (Nd) dos demais elementos. Esses procedimentos foram realizados de acordo com a metodologia descrita por Dickin (2005), Neto *et al.* (2009) e Valeriano *et al.* (2009).

Após a preparação química, as amostras foram depositadas em filamento duplo de Rênio (Re) para a análise isotópica.

A análise do Sr foi realizada em modo estático, com arranjo de cinco coletores Faraday, obtendo-se pelo menos 100 ciclos em cada análise. A corrente de ionização do filamento de Re é fixa em 3200 mA e a faixa de evaporação das amostras foi de 1700 a 2200 mA. Para correção do fracionamento isotópico de Sr foi usada a razão ⁸⁸Sr/⁸⁶Sr constante de 8,375209. Para a correção de uma possível interferência

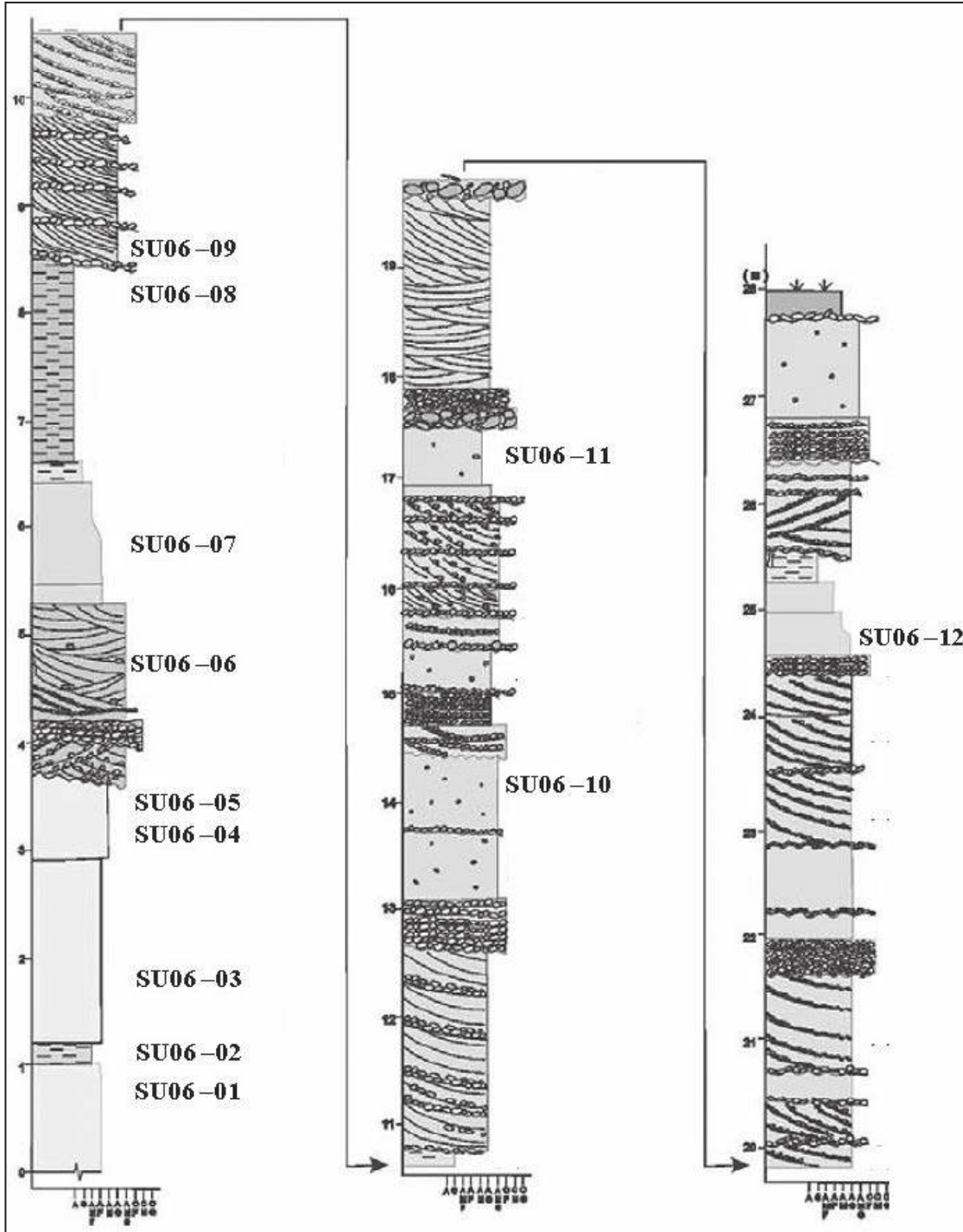


Figura 7: Localização das amostras no perfil do ponto SU06 (modificado de Sanson, 2006).

isobárica causada pelo ^{87}Rb , foi utilizada a razão $^{87}\text{Rb}/^{85}\text{Rb}$ de 0,386.

A análise do Nd também foi realizada em modo estático, com arranjo de oito coletores Faraday, obtendo-se pelo menos 160 ciclos em cada análise. A

corrente de ionização do filamento de Re foi fixa de 4500mA e a faixa de evaporação das amostras foi de, 1800 mA a 2200 mA. Para correção do fracionamento isotópico foi usada a razão $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ constante de 0,7219. O valor de branco para Nd para as amostras ficou abaixo de 200pg.

5 Resultados

Os resultados isotópicos estão apresentados na Tabela 2. Os valores da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e do ϵ_{Nd} para as amostras da Formação Resende em ambos os pontos de coleta encontram-se entre 0,7368 e 0,7550 e desde -20,9 até -15,2, respectivamente; os da Formação Pinheiral entre 0,7421 e 0,7784 e desde -20,6 até -18,1, nessa ordem. A amostra de ankaramito referente ao Basanita Casa de Pedra apresenta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,7043 e ϵ_{Nd} de -4,6.

6 Discussões

Todas as amostras apresentam parâmetro ϵ_{Nd} negativo, o que indica que as rochas das formações Resende e Pinheiral da bacia de Volta Redonda receberam contribuição majoritária do embasamento, composto por rochas antigas, em sua maioria derivadas da crosta continental (Faure, 1986). As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ possuem valores entre 0,736783 e 0,778359, consideradas altamente radiogênicas. Os

resultados para ambos os isótopos sugerem uma contribuição majoritária de antigas rochas crustais em detrimento de rochas mantélicas mesozoico-cenozoicas (Figura 8). Essa compreensão vem de medições que revelam que a crosta continental é grandemente enriquecida em Rb e menos em Sr. Por esse motivo, a razão Rb/Sr da crosta continental é de longe mais alta do que aquela remanescente no manto após a extração (Allègre, 2008). Consequentemente, ao longo do tempo, pelo decaimento do Rb para ^{87}Sr , a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ tende a crescer. Do mesmo modo, a crosta continental é muito mais enriquecida em Nd do que em Sm, e então a razão Sm/Nd da crosta continental é mais baixa do que no manto residual empobrecido (Allègre, 2008). Como consequência, os materiais mantélicos possuem razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ mais elevadas que os crustais, pois o Sm decai para ^{143}Nd . Razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ mais elevadas resultam ϵ_{Nd} menos negativos ou positivos.

Unidade	Amostra	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ Erro 2 σ	ϵ_{Nd}	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Erro 2 σ
Formação Resende	SU02-01	0,511568	0,000006	-20,9	0,741301	0,000006
	SU02-02	0,511746	0,000008	-17,4	0,738243	0,000007
	SU02-03	0,511729	0,000009	-17,7	0,738479	0,000008
	SU02-04	0,511709	0,000006	-18,1	0,740005	0,000003
	SU02-05	0,511859	0,000004	-15,2	0,755021	0,000009
	SU02-06	0,511779	0,000007	-16,8	0,737960	0,000010
	SU02-07	0,511765	0,000009	-17,0	0,736783	0,000006
	SU02-08	0,511816	0,000007	-16,0	0,740178	0,000010
	SU02-09	0,511754	0,000004	-17,2	0,737327	0,000007
	SU02-10	0,511690	0,000003	-18,5	0,738609	0,000009
	SU02-11	0,511842	0,000005	-15,5	0,741864	0,000009
Formação Pinheiral	SU06-01	0,511703	0,000007	-18,2	0,741137	0,000010
	SU06-02	0,511704	0,000006	-18,2	0,738877	0,000009
	SU06-03	0,511713	0,000007	-18,0	0,740635	0,000009
	SU06-04	0,511645	0,000009	-19,4	0,747696	0,000008
	SU06-05	0,511662	0,000005	-19,0	0,750037	0,000012
	SU06-06	0,511582	0,000005	-20,6	0,742993	0,000009
	SU06-07	0,511690	0,000008	-18,5	0,742110	0,000003
Formação Pinheiral	SU06-08	0,511710	0,000009	-18,1	0,742387	0,000010
	SU06-09	0,511612	0,000008	-20,0	0,744726	0,000010
	SU06-10	0,511590	0,000007	-20,4	0,778359	0,000007
	SU06-11	0,511615	0,000008	-19,9	0,762179	0,000008
	SU06-12	0,511552	0,000008	-21,2	0,757439	0,000005
Basanita Casa de Pedra	VR-ANK-1	0,512404	0,000007	-4,6	0,704288	0,000009

Tabela 2 Resultados das análises isotópicas

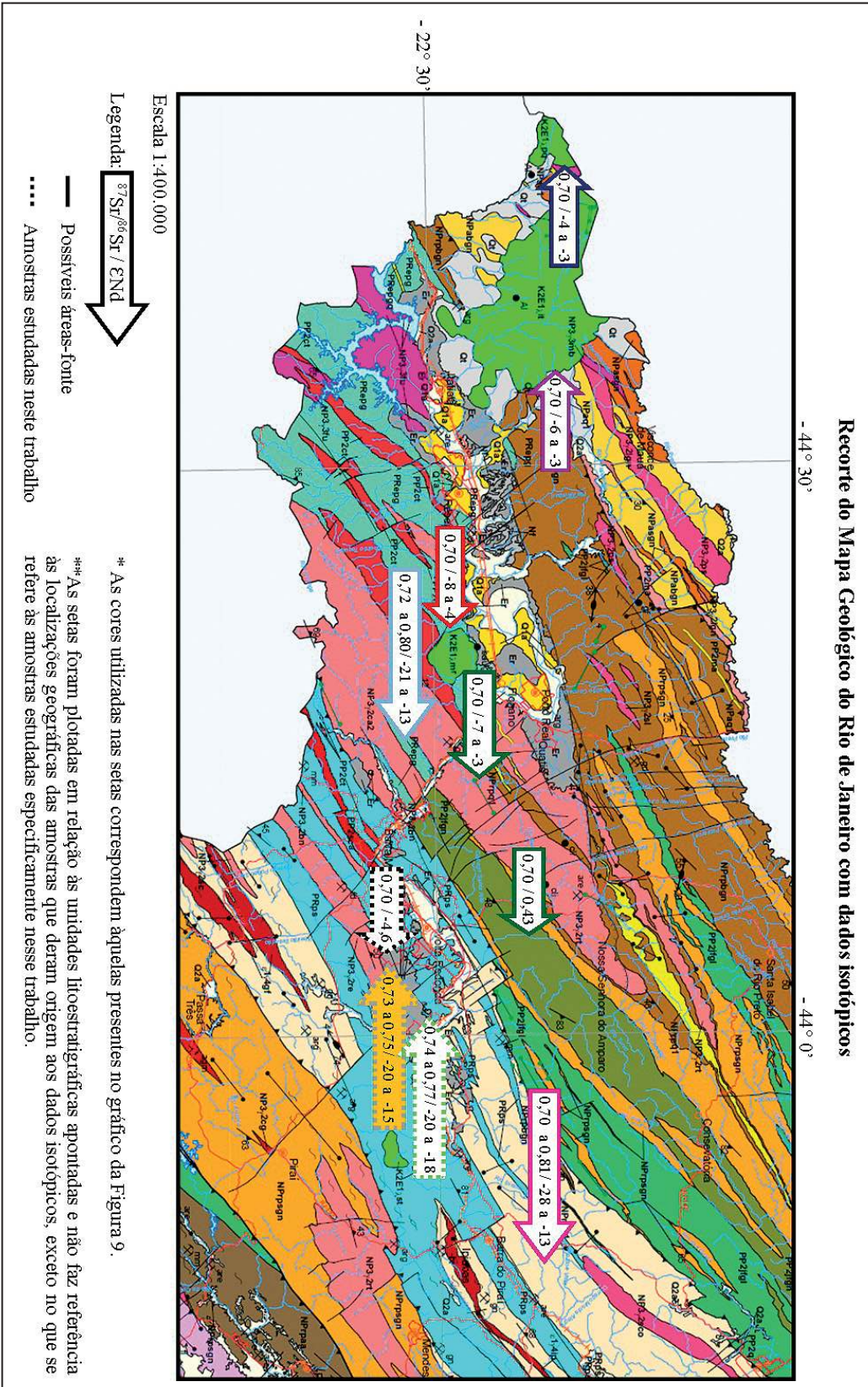


Figura 8 Mapa geológico com os dados isotópicos presentes no gráfico da Figura 9 (recortado e modificado de Heilbron et al., 2016).

o associados aos valores isotópicos encontrados na literatura para a região, os resultados (Figura 9) indicam que:

- As formações Resende e Pinheiral apresentam composições que refletem aporte majoritário de áreas-fonte do embasamento, em contraposição às rochas alcalinas cretácicas-paleogênicas;

No diagrama da Figura 9, os pontos referentes às amostras estudadas no presente artigo plotam preferencialmente entre aqueles referentes às rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, com destaque para Terreno Embu (Alves *et al.*, 2015) e Complexo Quirino (Machado, 2010). As rochas alcalinas aparecem mais distantes das amostras.

- A Formação Resende teve maior contribuição de componentes juvenis (mantélicos) em comparação à Formação Pinheiral;

Quando consideradas apenas as amostras entre si (Figura 10), percebe-se que as amostras da Formação Resende plotam mais próximas daquelas com ϵ_{Nd} menos negativos e razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ mais baixas em comparação com a Formação Pinheiral. Isso indica que a primeira pode ter recebido mais material de áreas-fonte com componentes mais mantélicos que a segunda.

- Esta contribuição juvenil pode ser relacionada aos derrames ankaramíticos locais ou aos complexos alcalinos da região de Resende-Itatiaia;

Levando-se em consideração às possíveis áreas fontes próximas, essa influência pode ser oriunda de sedimentos provenientes do intemperismo dos derrames ankaramíticos da unidade Basanito Casa de Pedra. Esse resultado coaduna com Riccomini (1989), Riccomini *et al.* (2004), Negrão (2014) e Negrão *et al.* (2015), os quais defendem que os derrames vulcânicos ocorreram durante a deposição da Formação Resende, conferindo a esta alguma contribuição mantélica. A posição distal da amostra SU06-01 também corrobora isso, pois sendo a amostra mais basal, pode ter se depositado antes dos derrames, não sofrendo influências desses. Outros possíveis contribuintes mais mantélicos são os complexos alcalinos de Morro Redondo (Mota, 2012), Passa-Quatro e Itatiaia (Enrich *et al.*, 2005)

e os diques máficos toleíticos e alcalinos que ocorrem na região (André *et al.*, 2009; Guedes *et al.*, 2016). Esse comportamento é verificado nos pontos referentes às rochas supracitadas, no gráfico da Figura 9.

- A Formação Pinheiral, com características isotópicas mais crustais, pode ser produto de retrabalhamento da Formação Resende, com outros aportes do embasamento pré-cambriano.

As amostras basais da Formação Pinheiral plotam muito próximas às do topo da Formação Resende, indicando um possível retrabalhamento dos depósitos desta unidade. Além disso, as amostras do topo da Formação Pinheiral ocorrem no gráfico (figuras 9 e 10) mais distantes daquelas da base, sugerindo posterior aporte de outras áreas-fonte, estas ainda mais crustais e/ou sem a possível contribuição de rochas juvenis.

7 Conclusões

7.1 Quanto ao método:

A comparação de razões isotópicas de Nd e Sr se mostrou útil no estudo da proveniência de rochas sedimentares. Esta permitiu que, a partir das possíveis áreas-fonte, fossem identificados os tipos de rochas que contribuíram, com maior ou menor aporte de material, para as unidades litoestratigráficas estudadas.

7.2 Quanto aos Resultados:

Os resultados sugerem que a deposição dos sedimentos da Formação Resende se deu, em parte, com aporte de material vulcânico proveniente dos derrames ankaramíticos, conforme defendem alguns autores. É importante lembrar outros possíveis contribuintes mantélicos: os complexos alcalinos de Morro Redondo (Mota, 2012), Passa-Quatro e Itatiaia (Enrich *et al.*, 2005) e os diques máficos toleíticos e alcalinos que ocorrem na região (André *et al.*, 2009; Guedes *et al.*, 2016);

A Formação Pinheiral resulta, em sua porção basal, do retrabalhamento do material de topo da Formação Resende;

Isótopos de Estrôncio (Sr) e Neodímio (Nd) como Indicadores de Proveniência Sedimentar em Riftes Continentais: o Caso do Gráben de Casa de Pedra, Bacia de Volta Redonda (RJ)
 Suzana dos Santos Matos; Renato Rodriguez Cabral Ramos & Claudio de Morisson Valeriano

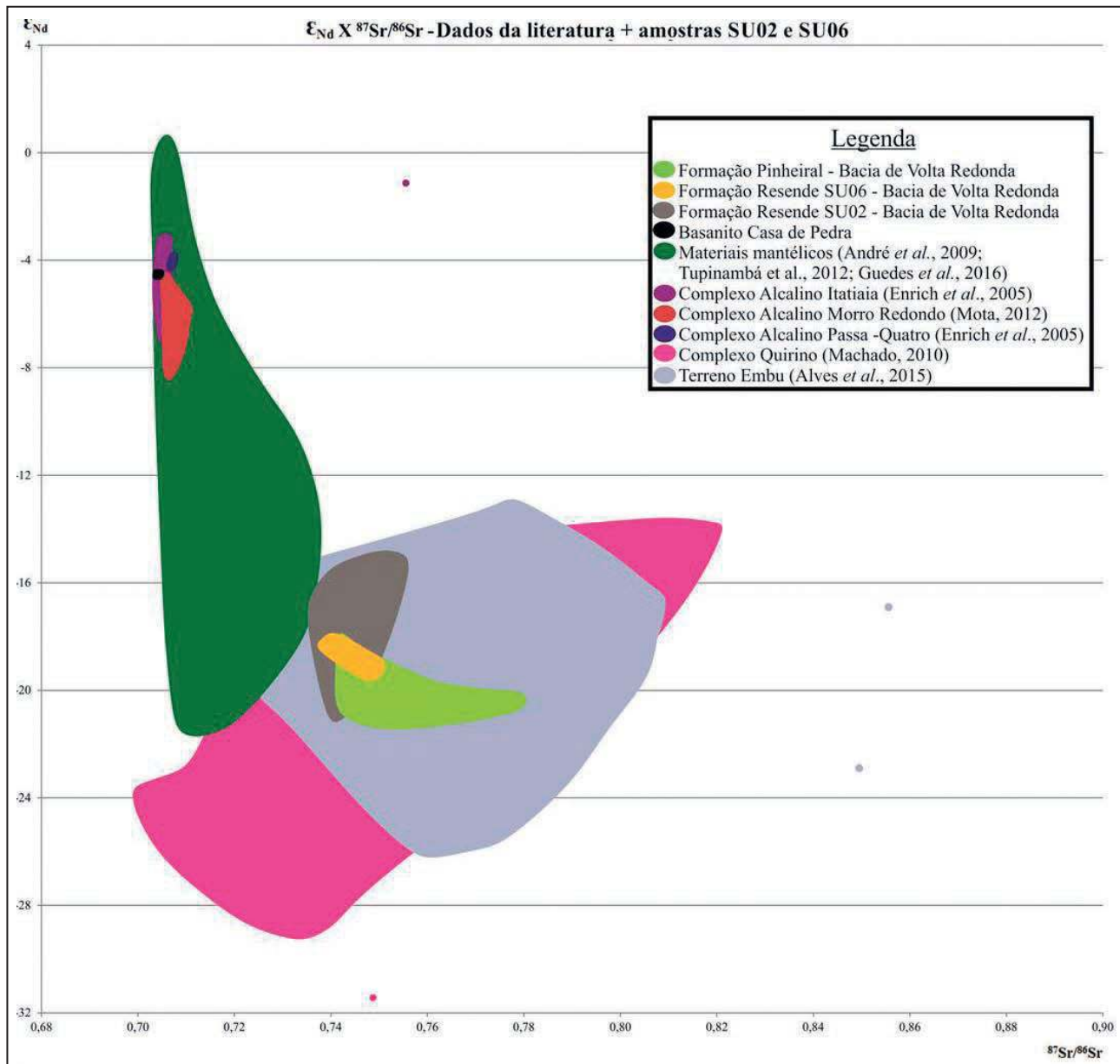


Figura 9 Gráfico $\epsilon_{Nd} \times {}^{87}Sr/{}^{86}Sr$ com os dados da literatura e das amostras estudadas.

De forma geral, ambas as unidades receberam contribuições expressivas de rochas crustais antigas, as quais servem de embasamento para a bacia sedimentar de Volta Redonda.

7.3 Quanto à Continuidade da Pesquisa:

Sugere-se a aplicação dessa metodologia em áreas do embasamento ainda não estudadas, visando

ampliar o aporte de dados isotópicos à disposição e assim permitir uma melhor correlação com aqueles obtidos para as rochas sedimentares, lançando luz ao estudo das áreas-fonte.

Sugere-se também replicar o método em outros depocentros da bacia de Volta Redonda, bem como nas demais bacias do RCSB, mirando contribuir com os estudos da proveniência sedimentar e, até mesmo, identificar possíveis vulcanismos ainda ocultos.

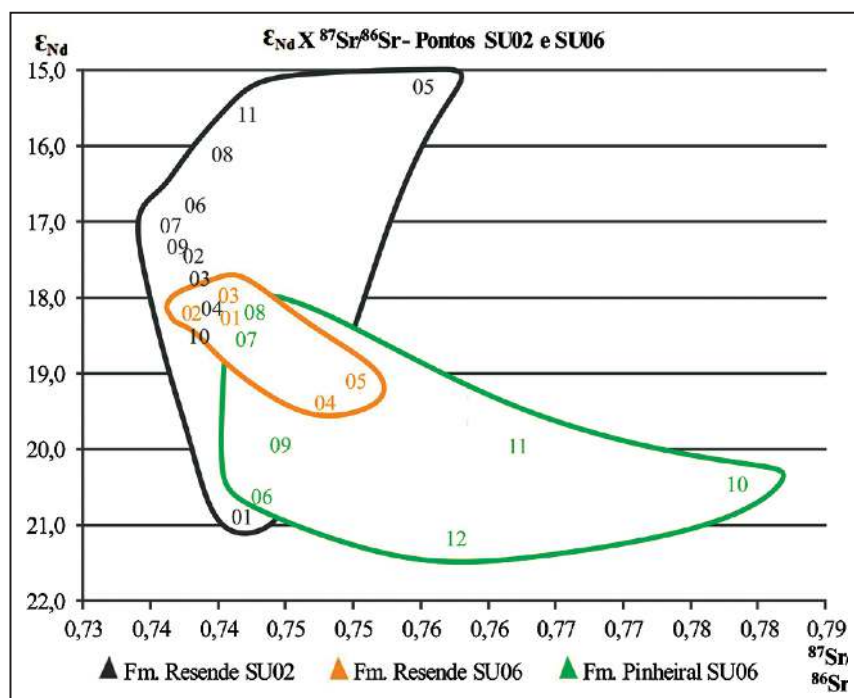


Figura 10 Gráfico $\epsilon_{Nd} \times \frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}$ com as amostras estudadas.

8 Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq ao Projeto Reservatórios Isotópicos (Proc. 479932/2013-1), da FAPERJ-CNE (Proc. 202.974/2016) e do PROAP-CAPES; e aos laboratórios LGPA e LAGIR, ambos (UERJ) e PETROMIN (MN/UFRJ).

9 Referências

- Allègre, C.J. 2008. *Isotope Geology*. Cambridge, Cambridge University Press. 512 p.
- Alves, A.; Janasi, V.A. & Campos Neto, M.C. 2015. Sources of Granite Magmatism in the Embu Terrane (Ribeira Belt, Brazil): Neoproterozoic Crust Recycling Constrained by Elemental and Isotope (Sr-Nd-Pb) Geochemistry. *Journal of South American Sciences*, 68: 205 - 223.
- Amador, E.S. & Castro, M.I.B. 1976. Depósitos Neocenozóicos da Bacia de Volta Redonda, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto, 1976. *Anais*, Ouro Preto, SBG, 1: 307-327.
- André, J.L.F.; Valladares, C.S. & Duarte, B.P. 2009. O Complexo Juiz de Fora na Região de Três Rios (RJ): Litogeoquímica, Geocronologia U-Pb (LA-ICPMS) e Geoquímica Isotópica de Nd e Sr. *Revista Brasileira de Geociências*, 39(4): 773 - 793.
- DePaolo, D.J. & Wasserburg, G.J. 1976. Nd Isotopic Variations and Petrogenetic. *Geophysical Research Letters*, 3(5): 249 - 252.
- Dickin, A.P. 2005. *Radiogenic Isotope Geology*. Cambridge, Cambridge University Press. 492 p.
- Enrich, G.E.R.; Azzone, R.G.; Ruberti, E.; Gomes, C.B. & Comin-Chiaramonti, P. 2005 Itatiaia, Passa Quatro

and São Sebastião Island, the Major Alkaline Syenitic Complexes from the Serra do Mar Region. In: COMIN-CHIARAMONTI, P. & GOMES, C.B. (orgs.). *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. EDUSP/FAPESP, p. 419-442.

- Faure, G. 1986. *Principles of Isotope Geology*. New York, John Wiley & Sons Inc., Second edition. 248p.
- Fiaux Rodrigues, V.L.; Antonello, L.L. & Rodrigues, B.H.F. 2005. Caracterização Petrográfica de Ankaramito no Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9, Niterói, 2005. *Boletim de resumos*, Niterói, SBG, p.238.
- Guedes, E.; Heilbron, M.C.L.; Valeriano, C.M.; Almeida, J.C.H. & Sztatmari, P. 2016. Evidence of Gondwana Early Rifting Process Recorded by Resende-Ilha Grande Dike Swarm, Southern Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of South American Sciences*, 67: 11 - 24.
- Heilbron, M.C.L. 1993. *Evolução Tectono-Metamórfica da Seção Bom Jardim de Minas/MG-Barra do Pirai/RJ, Setor Central da Faixa Ribeira*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 268p.
- Heilbron, M.C.L. & Machado, N. 2003. Timing of Terrane Accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira Orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, 125: 87 - 112.
- Heilbron, M.C.L.; Eirado, L.G. & Almeida, J.C.H. (orgs) 2016. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. Escala 1:400.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), *Mapas Geológicos Estaduais*. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte. ISBN: 978-85-7499-300-3.
- Heilbron, M.C.L., Eirado, L.G. & Almeida, J.C.H. (orgs.) 2016. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro: Texto Explicativo dos Mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. Programa Geologia do Brasil (PGB), *Mapas Geológicos*

Isótopos de Estrôncio (Sr) e Neodímio (Nd) como Indicadores de Proveniência Sedimentar em Riftes Continentais: o Caso do Gráben de Casa de Pedra, Bacia de Volta Redonda (RJ)

Suzana dos Santos Matos; Renato Rodriguez Cabral Ramos & Claudio de Morisson Valeriano

- Estaduais*. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte. ISBN: 978-85-7499-300-3.
- Heilbron, M.C.L.; Pedrosa-Soares, A.C. & Campos Neto, M.C. 2004. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C. & BRITO NEVES, B.B. (orgs.) *Geologia do Continente Sul-Americano - Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Editora Beca, p. 203-235.
- Machado, H.T. 2010. *Evolução Geológica do Complexo Quirino, Terreno Paraíba do Sul, Setor Central, da Faixa Ribeira, com Base em Dados Isotópicos de Sm-Nd e Sr*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 165p.
- Maciel, I.B. 2016. *Caracterização da Deformação Rúptil em Afloramento da Formação Resende, Bacia de Volta Redonda (Estado do Rio de Janeiro)*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 44 p.
- Marques, C.C.S.; Mello, C.L. & Ramos, R.R.C. 2006. Análise Multiescalar de Atributos Sedimentares em Depósitos Fluviais Paleogênicos na Bacia de Volta Redonda, RJ. *Anuário do Instituto de Geociências*, 29(2): 168 - 179.
- Mello, C.L. 1992. *Fácies Sedimentares, Arquitetura Depositional e Relações Morfoestratigráficas em um Sistema de Leques Aluviais Holocênicos: Aloformação Manso - médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ)*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 188 p.
- Mello, C.L.; Carmo, I.O.; Silva, T.M.; Moura, J.R.S. & Rodrigues, L.F. 1995. Estratigrafia e Relações Morfotectônicas da Ocorrência de Depósitos Cenozóicos na Área do Cafundó (Barra Mansa, RJ). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, Águas de São Pedro, 1995. *Boletim de Resumos*, Águas de São Pedro, SBG, p. 90.
- Melo, M.S.; Riccomini, C.; Campanha, G.A.C.; Miotto, J.A.; Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Ponçano, W.L. & Gimenez, A.F. 1983. Estudos Geológico-tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e Sedimentos Terciários de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro-SP). *Relatório 17.737*, IPT, São Paulo, 124 p.
- Mota, C.E.M. 2012. *Petrogênese e Geocronologia das Instruções Alcalinas de Morro Redondo, Mandanha e Morro de São João: Caracterização do Magmatismo Alcalino no Estado do Rio de Janeiro e Implicações Geodinâmicas*. Programa de Pós-graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado. 204p.
- Negrão, A.P. 2014. *Evolução tectonossedimentar e Deformação Rúptil Cenozóica da Região da Bacia Sedimentar de Volta Redonda (Segmento Central do Rift Continental do Sudeste do Brasil, RJ)*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado. 249p.
- Negrão, A.P.; Ramos, R.R.C.; Mello, C.L. & Sanson, M.R.. 2015. Mapa Geológico do Cenozoico da Região da Bacia de Volta Redonda, RJ, Segmento Central do Rift Continental do Sudeste do Brasil: Identificação de Novos Grábens e Ocorrências Descontínuas, e Caracterização de Estágios Tectonossedimentares. *Brazilian Journal of Geology*, 45: 273 - 291.
- Neto, C.C.A.; Valeriano, C.M.; Vaz, G.S.; Medeiros, S. R.; Ragakty, C.D. 2009. Composição Isotópica do Sr no Padrão NB987 e nos Padrões de Rocha do USGS BCR-1, AGV-1, G-2 e GSP-1: Resultados Preliminares Obtidos por TIMS no Laboratório de Geocronologia e Isótopos Radiogênicos. In: SIMPÓSIO 45 ANOS DE GEOCRONOLOGIA NO BRASIL, 1, São Paulo, 2009. *Resumos expandidos*, São Paulo, USP, p.72-74.
- Padilha, A.L. & Vitorello, I. 1992. Investigações Geoeletricas nas Bacias de Volta Redonda e Resende. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. *Boletim de resumos expandidos*, São Paulo, SBG. v.2, p. 403-404.
- Ramos, R.R.C.; Ávila, C.A. & Vasconcelos, P. 2008. Magmatismo Meso-cenozóico na Região das Bacias de Resende e de Volta Redonda. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44, Curitiba, 2008. *Anais*, Curitiba, SBG, v.1, p. 559.
- Ramos, R.R.C.; Mello, C.L. & Sanson, M.S.R. 2006. Revisão Estratigráfica da Bacia de Resende, Rift Continental do Sudeste do Brasil, Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geociências*, 25: 59 - 69.
- Ramos, R.R.C.; Sanson, M.S.R. & Mello, C.L. 2005. Novos Afloramentos de Rochas Vulcânicas no Gráben da Casa de Pedra, Bacia de Volta Redonda, Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9, Niterói, 2005. *Boletim de resumos*, Niterói, SBG, p. 48.
- Riccomini, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 256p.
- Riccomini, C.; Melo, M.S.; Carneiro, C.D.R.; Almeida, F.F.M.; Miotto, J.A. & Hasui, Y. 1983. Sobre a Ocorrência de um Derrame de Ankaramito na Bacia de Volta Redonda (RJ) e sua Importância na Datação das Bacias Tafrogênicas Continentais do Sudeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4, São Paulo, 1983. *Boletim de resumos*, São Paulo, SBG, 1: 23-24.
- Riccomini, C.; Sant'Anna, L.G. & Ferrari, A.L. 2004. Evolução Geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C. & BRITO NEVES, B.B. (orgs.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Editora Beca, p. 383-405.
- Sanson, M.S.R. 2006. *Sistemas Depositionais Aluviais e Tectônica Cenozóica na Região de Volta Redonda (RJ) - Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 151p.
- Sanson, M.S.R., Ramos, R.R.C. & Mello, C.L. 2006. Bacias Sedimentares Brasileiras - Bacia de Volta Redonda. *Phoenix*, 88:1 - 6.
- Tröger, I.W.E. 1935. *Spezielle Petrographic der eruptivegesteine*. Berlin, Verlag der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft. 360 p.
- Tupinambá, M.; Heilbron, M.; Valeriano, C.; Porto Jr., R.; Blanco de Dios, F.; Machado, N.; Eirado Silva, L.G. & Almeida, J.C.H. 2012. Juvenile Contribution of the Neoproterozoic Rio Negro Magmatic Arc (Ribeira Belt, Brazil): Implications for Western Gondwana amalgamation. *Gondwana Research*, 21(2-3): 422-438.
- Valeriano, C.M.; Medeiros, S.R.; Vaz, G.S. & Neto, C.C.A. 2009. Sm-Nd Isotope Dilution TIMS Analyses of BCR-1, AGV-1 and G-2 USGS Rock Reference Materials: First Results from the LAGIR Laboratory at UERJ, Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO 45 ANOS DE GEOCRONOLOGIA NO BRASIL, 1, São Paulo, 2009. *Resumos expandidos*, São Paulo, USP, p. 146-148.
- Zalán, P.V. & Oliveira, J.A.B. 2005. Origem e Evolução Estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 13(2): 269 - 300.