



**Química Mineral de Granada no Estudo da Proveniência
Sedimentar do Litoral Norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil**
The Chemical Composition of Garnet for Sedimentary
Provenance Determination, North Coast of Rio de Janeiro State, Brazil

Sarah Siqueira da Cruz Guimarães Sousa¹; Eliane Guedes^{2,3};
João Wagner Alencar Castro^{2,3}; Ciro Alexandre Ávila^{2,3} & Reiner Neumann^{3,4}

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Pós-Graduação em Geologia
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Cidade Universitária, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ

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

³Universidade Federal do Rio de Janeiro – Museu Nacional

Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGeo) - Quinta da Boa Vista s/n, São Cristóvão, 20940-040, Rio de Janeiro, RJ

⁴Centro de Tecnologia Mineral, CETEM - Av. Pedro Calmon, 900, Cidade Universitária, 21941-908, Rio de Janeiro, RJ

Emails: sarahscgs@gmail.com; eguedes@mn.ufrj.br; castro@mn.ufrj.br; avila@mn.ufrj.br; rneumann@cetem.gov.br

Recebido em: 09/05/2018 : Aprovado em: 11/07/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_318_331

Resumo

A determinação da composição química da granada, aliada à identificação da assembleia de minerais pesados, representa uma importante ferramenta para a determinação de fontes de sedimentos com maior precisão. Neste trabalho, o segmento litorâneo do norte do estado do Rio de Janeiro, limitado pelas desembocaduras dos rios Paraíba do Sul e Itabapoana, teve sua proveniência sedimentar estudada por meio da análise da composição química de grãos de granada em MEV-EDS, integrada à identificação da assembleia de minerais pesados e suas características texturais. Os sedimentos apresentam-se angulosos a subangulosos, euédricos a subédricos, com faces bem definidas, indicando pouco retrabalhamento por transporte, e consequentemente uma área-fonte proximal. Os grãos de granada aparecem como fragmentos irregulares, angulosos e a maioria não apresenta zoneamento composicional ou inclusões sólidas. A granada das amostras apresenta predomínio de moléculas de almandina e piropo, indicando que as principais rochas-fonte dos sedimentos representam terrenos metamórficos de alto grau, com contribuições de granitoides e metabasitos. Sugere-se que as principais rochas-fonte dos grãos de granada estudados corresponderiam aos paragneisses do Grupo São Fidélis do Domínio Costeiro, Terreno Oriental do Orógeno Ribeira e aos granitoides que intrudem os litotipos deste domínio. Intercalações de anfíbolitos seriam fontes subordinadas.

Palavras-chave: sedimentos costeiros; granada; química mineral; rocha-fonte; Terreno Oriental

Abstract

The chemical composition of garnet, together with the analysis of the heavy minerals and their textures, is an important tool for accurate sedimentary provenance studies. The coastal segment of Northern Rio de Janeiro State, limited by the deltas of the Paraíba do Sul and Itabapoana rivers, was studied by chemical analysis of garnet grains by SEM-EDS, together with mineralogy and texture of the heavy minerals assembly. The sediments are angular to subangular, euhedral to subhedral, with well-defined faces, indicating little transportation reworking, and consequently a proximal source area. The garnet grains shows up as irregular and angular fragments and most of them do not have compositional zoning or mineral inclusions. The chemical compositions of the garnet grains are predominantly almandine and pyrope molecules, determining that the sediment main sources are high-grade metamorphic terrains with granitoid and metabasite contributions. Considering the local geology, the most important sources of the sediments are the paragneisses interleaved with amphibolites of the São Fidélis Group, Coastal Domain of the Oriental Terrain of the Ribeira Orogen. Granitoids intrusive into the Coastal Domain are also important source rocks of the studied sediments.

Keywords: coastal sediments; garnet; mineral chemistry; source rock; Oriental Terrain

1 Introdução

A análise sistemática de características de uma única espécie mineral, tais como a morfologia e a composição química, é frequentemente utilizada em estudos de proveniência sedimentar, principalmente por adicionar níveis de precisão e detalhamento impossíveis de serem revelados apenas com a identificação da assembleia de minerais pesados. O estudo de minerais por meio de sua composição química possibilita a correlação dos grãos com potenciais rochas-fonte, uma vez que as condições físicas e químicas de cristalização e/ou metamorfismo são reveladas (Morton & Hallsworth, 1999; Mange & Morton, 2007).

A granada é um grupo de minerais que ocorre em rochas ígneas, como vulcânicas ácidas, granitos, charnockitos, pegmatitos e kimberlitos, e em rochas metamórficas, como xistos, anfíbolitos, gnaisses, granulitos, eclogitos e calcissilicáticas. Pode ser preservada em sedimentos e em rochas sedimentares devido à sua relativa estabilidade ao transporte, intemperismo e diagênese (Deer *et al.* 1992; Mange & Morton, 2007). Por conter uma vasta gama de elementos químicos maiores em sua composição, a determinação da química mineral da granada pode fornecer informações das litologias associadas a suas áreas-fonte. Além desses fatores, a seleção hidráulica dos diferentes minerais do grupo da granada é irrelevante, uma vez que as densidades relativas são próximas, permitindo que seja um mineral ideal para estudos de proveniência sedimentar (Morton & Hallsworth, 1994; Morton & Hallsworth, 1999; Remus *et al.*, 2008; Mange & Morton, 2007; Krippner *et al.*, 2014).

Na área alvo deste estudo, a análise da proveniência sedimentar por meio da composição química de grãos de granada é concentrada em arenitos da bacia de Campos (Fontanelli *et al.*, 2009; Costa & Remus, 2016), não havendo dados disponíveis na literatura para os sedimentos litorâneos atuais, que são bons indicativos dos processos atuantes no recente.

O segmento litorâneo estudado localiza-se no norte do Estado do Rio de Janeiro, entre as desembocaduras dos rios Paraíba do Sul e Itabapoana e a sedimentação local é influenciada diretamente pela

ação desses grandes rios. Desta forma, o trabalho propõe a análise da composição química de grãos de granada encontrados neste segmento do cordão litorâneo e a correlação com as possíveis rochas-fonte destes sedimentos.

2 Química da Granada e as Rochas-Fonte

O grupo da granada é uma série isomórfica de nesossilicatos cúbicos de fórmula geral $\{A_3\}[B_2](Si_3)O_{12}$. Em geral, Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Mn^{2+} ocupam o sítio A, enquanto Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{3+} ocupam o sítio B, sendo que a combinação dos metais do sítio A com os do sítio B formam 32 espécies distintas (Deer *et al.*, 1992; Grew *et al.*, 2013), das quais as principais estão especificadas na Tabela 1.

Nesse trabalho optou-se pela identificação das rochas-fonte dos sedimentos por meio da composição química de grãos detríticos de granada a partir dos diagramas ternários propostos por Sabeen *et al.* (2002), Morton *et al.* (2002; 2004) e Remus *et al.* (2004; 2007), que discriminam 5 campos composicionais correspondentes a 8 grupos de rochas portadoras de granada. Alguns desses campos (B e C) foram subdivididos por Mange & Morton (2007) para uma maior precisão na correlação entre a composição dos grãos de granada e suas rochas-fonte (Tabela 2; ver diagramas na Figura 7).

Membro Final	d	Fórmula Química
Piropo	3,582	$\{Mg_3\}[Al_2](Si_3)O_{12}$
Almandina	4,318	$\{Fe_3^{2+}\}[Al_2](Si_3)O_{12}$
Spessartina	4,190	$\{Mn_3^{2+}\}[Al_2](Si_3)O_{12}$
Grossulária	3,594	$\{Ca_3\}[Al_2](Si_3)O_{12}$
Andradita	3,859	$\{Ca_3\}[Fe_2^{3+}](Si_3)O_{12}$
Uvarovita	3,830	$\{Ca_3\}[Cr_2^{3+}](Si_3)O_{12}$

Tabela 1 Grupo da granada: principais membros finais, densidade relativa (Deer *et al.*, 1992) e fórmula química (Grew *et al.* 2013).

3 Geologia das Possíveis Áreas-Fonte dos Sedimentos Estudados

Geologicamente, a área-fonte desse estudo é representada predominantemente por rochas pré-

Campo Composicional	Assembleia de Grãos de Granada	Rochas-Fonte
A	Alto teor de Mg e baixo teor de Ca	Charnockitos ou rochas metassedimentares de alto grau (fácies granulito), como paragnaisses e granulitos
Bi	Alto teor de Mn e baixo teor de Mg (Xca < 10%)	Granitoides
Bii	Alto teor de Mn e baixo teor de Mg (Xca > 10%)	Rochas metassedimentares de baixa a médio grau (fácies anfibolito)
Ci	Alto teor de Mg e Ca (XMg < 40%)	Rochas metamórficas máficas, como anfibolitos e ortognaisses básicos
Cii	Alto teor de Mg e Ca (XMg > 40%)	Rochas metamórficas ultramáficas, como metaperidotitos e metapiroxenitos
D	Alto teor de Fe e Ca	Rochas metacarbonáticas e calcissilicáticas que sofreram metamorfismo de contato ou regional e especialmente escarnitos metassomáticos
E	Alto teor de Mn e baixo teor de Mg e Ca	Pegmatitos e aplitos graníticos e alguns granitos

Tabela 2 Campos composicionais discriminantes de rochas-fonte de acordo com a composição química da granada. Definições de acordo com Deer *et al.* (1992), Sabeen *et al.* (2002), Morton *et al.* (2002; 2004) e Remus *et al.* (2004; 2007). Subdivisões dos campos B e C em Bi, Bii, Ci e Cii de acordo com Mange & Morton (2007).

-cambrianas, que fazem parte do segmento central da Faixa Ribeira (Figura 1). Também fazem parte os enxames de diques toleíticos relacionados à abertura do Supercontinente Gondwana, o magmatismo de caráter alcalino constituído por *stocks*, *plugs* e, maio-

ritariamente, diques e derrames em bacias interiores (Guedes *et al.*, 2005) e a sedimentação cenozoica, representada pela Formação Barreiras e pela planície costeira quaternária (Riccomini *et al.*, 2004).

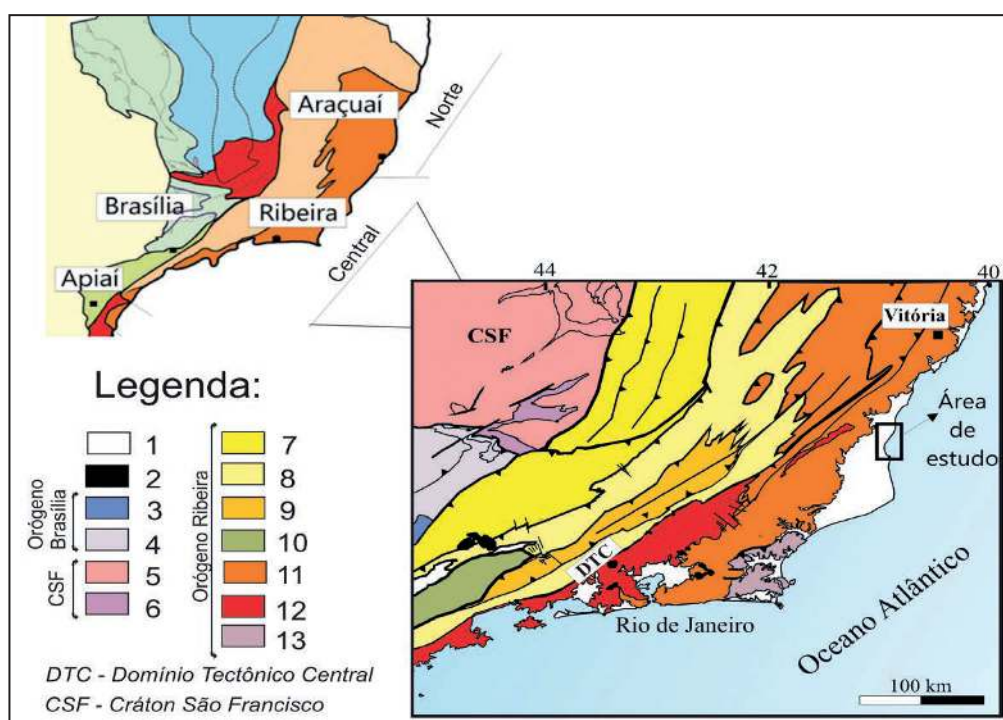


Figura 1 Mapa tectono-estratigráfico do segmento central da Faixa Ribeira. O retângulo em preto indica a área de estudo. 1: Riftes Cenozóicos, Formação Barreiras e sedimentos recentes; 2: Rochas Alcalinas do Cretáceo e Neógeno; 3: Nappes Inferiores da Faixa Brasília; 4: Nappes Superiores da Faixa Brasília; 5: Embasamento do Cráton São Francisco e Domínio Autóctone; 6: Rochas metassedimentares do Domínio Autóctone; 7: Domínio Andrelândia; 8: Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental; 9: Terreno Paraíba do Sul; 10: Terreno Embu; 11: Terreno Oriental; 12: Arco Magmático Rio Negro; 13: Terreno Cabo Frio. Modificado de Heilbron *et al.* (2004).

Em termos tectono-estratigráficos, a Faixa Ribeira foi subdividida em quatro terrenos: Ocidental, Paraíba do Sul, Oriental e Cabo Frio (Heilbron *et al.*, 2004; 2016; Schmitt *et al.*, 2004). Os limites entre os diferentes terrenos são representados por falhas de empurrões ou por zonas de cisalhamento transpressivas destrais. Durante a evolução e amalgamação desses terrenos, foram geradas expressivas suítes intrusivas pré a sin-colisionais, tardi-colisionais e pós-tectônicas, representadas predominantemente por dioritos e granitoides dos tipos I e S (Tupinambá *et al.*, 2007). Os terrenos tectono-estratigráficos e suas unidades litológicas são resumidamente descritos na Tabela 3, utilizando as definições dos litotipos e as idades apresentadas por Schmitt *et al.* (2004), Tupinambá *et al.* (2007) e Heilbron *et al.* (2004; 2008; 2016).

4 Amostragem e Métodos de Estudo

4.1 Coleta de Amostras

Em campo, foi realizada a coleta de amostras de sedimentos ao longo de 35 km do trecho litorâneo limitado pelas desembocaduras dos rios Paraíba do Sul, a sul, e Itabapoana, a norte, com pontos amostrais que distam entre si em torno de 3 km, totalizando 10 pontos (Figura 2). Em cada um desses pontos foram amostrados aproximadamente 2 kg de material dos ambientes de ante-praia, praia e pós-praia, buscando uma representatividade dos sedimentos ao longo do litoral estudado.

4.2 Preparação Laboratorial

A preparação laboratorial dos sedimentos foi adaptada de Parfenoff *et al.* (1970) e Pereira *et al.*

Terrenos Tectônicos e Idades de Docagens	Domínios Estruturais	Unidades Lito Estratigráficas	Litotipos Principais	Fácies Metamórfica
Terreno Ocidental margem passiva retrabalhada	Domínio Inferior -Andrelândia	Complexo Mantiqueira	Biotita-hornblenda ortognaisses, anfíbolitos e dioritos	Granulito
		Grupo Andrelândia	Granada-biotita gnaisses com quartzitos e anfíbolitos	
	Domínio Superior - Juiz de Fora	Complexo Juiz de Fora	Ortognaisses, anfíbolitos e ortogranulitos de composições variadas	
		Grupo Raposo	Granada-biotita gnaisses com rochas calcissilicáticas e quartzitos	
Terreno Paraíba do Sul 620 - 600 Ma	Domínio Paraíba do Sul-Embu	Complexo Quirino	Hornblenda ortognaisses com enclaves de rochas máficas, ultramáficas e calcissilicáticas	Granulito
		Grupo Paraíba do Sul	Sillimanita-granada-muscovita-biotita gnaisses com mármores e rochas calcissilicáticas	
		Complexo Taquaral e Complexo Campinho	Hornblenda-biotita ortognaisses com enclaves máficos ricos em hornblenda	
	Grupo Embu	Granada-sillimanita-muscovita-biotita gnaisses com mármore e rochas calcissilicáticas, xistos, biotita-gnaisses com rochas calcissilicáticas, gonditos e quartzitos		
	Domínio Cambuci	Grupo Bom Jesus do Itabapoana	Granada-biotita gnaisses com anfíbolitos e mármores	
Terreno Oriental 605 - 560 Ma	Domínio Costeiro	Grupo São Fidélis	Sillimanita-biotita gnaisses com rochas calcissilicáticas, quartzitos e anfíbolitos; gnaisses kinzigíticos com calcissilicáticas, anfíbolitos e quartzitos	Anfíbolito superior a granulito
	Domínio Italva	Grupo Italva	Muscovita-sillimanita-granada gnaisses, anfíbolito-biotita gnaisses, anfíbolitos, mármores, rochas calcissilicáticas e rochas metaltramáficas	
Terreno Cabo Frio 535 - 510 Ma		Complexo Região dos Lagos	Hornblenda-biotita ortognaisses, biotita granitoides foliados e anfíbolitos	Anfíbolito superior a granulito
		Grupo Búzios-Palmital	Cianita-sillimanita-granada-biotita gnaisses com rochas calcissilicáticas e anfíbolitos	

Tabela 3 Correlação dos terrenos tectono-estratigráficos do segmento central da Faixa Ribeira com seus domínios estruturais, unidades litoestratigráficas, litotipos e fácies metamórficas (granitoides do Neoproterozoico e Paleozoico não incluídos).

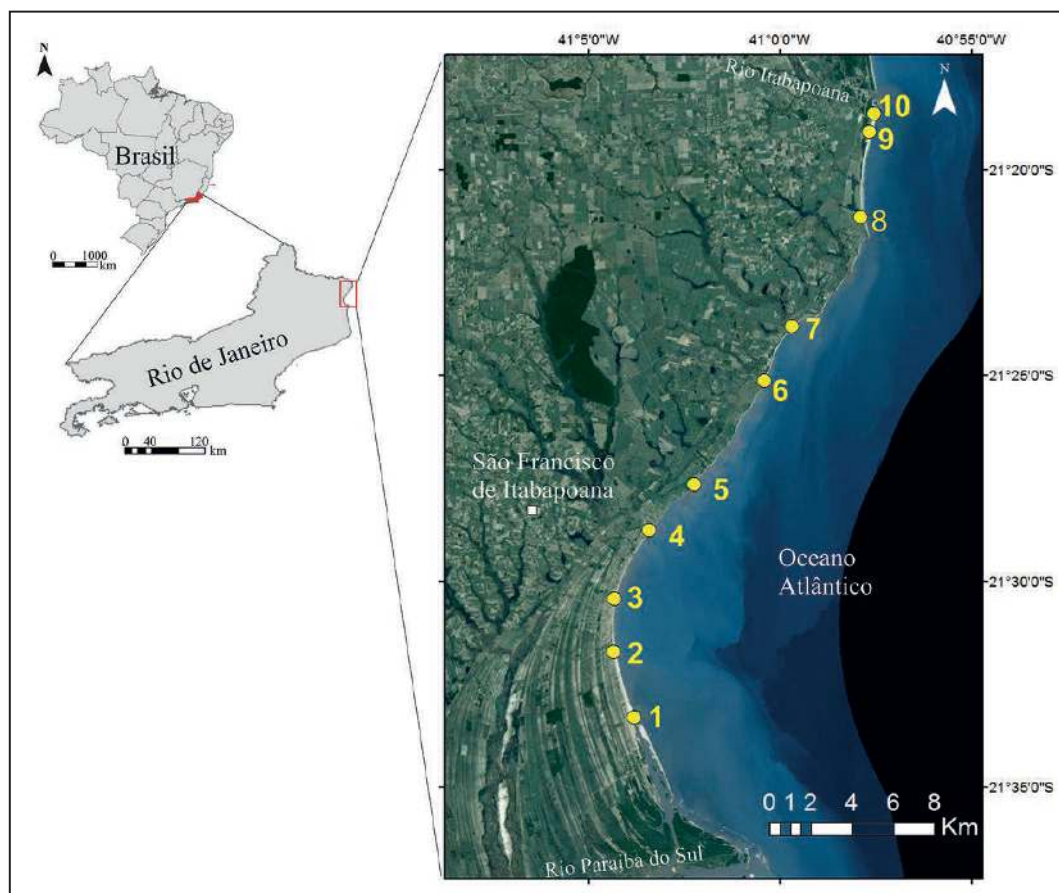


Figura 2 Pontos de coletas de amostras no litoral norte fluminense (em amarelo), Estado do Rio de Janeiro.
1: Gargaú I;
2: Gargaú II;
3: Santa Clara;
4: Guaxindiba;
5: Manguinhos;
6: Fazenda Buena;
7: Tatagiba;
8: Ponta do Retiro;
9: Barra de Itabapoana I;
10: Barra de Itabapoana II.

(2005) e envolveu a concentração e separação dos minerais pesados. Para isso, as amostras foram bateadas e os produtos finais submetidos à dissolução do material composto de carbonato de cálcio (pedaços de conchas e carapaças) por imersão em solução de ácido acético 10% (vol). Posteriormente, foi realizada a separação densimétrica em bromofórmio ($d=2,89 \text{ kg/cm}^3$) para a retirada dos minerais leves e a separação magnética com ímã de ferrite e processamento no separador magnético isodinâmico Frantz em faixas de amperagens de 0,3 A, 0,5 A, 0,8 A e 1,5 A para a separação dos diferentes minerais paramagnéticos e diamagnéticos.

4.3 Estereomicroscopia Ótica e Química Mineral da Granada

As frações obtidas por meio do separador magnético isodinâmico Frantz foram analisadas em estereomicroscópio para a identificação e caracteri-

zação dos minerais pesados de acordo com suas características físicas, tais como cor, brilho, clivagem e forma. Durante essa etapa foram discriminadas duas populações de grãos de granada com colorações diferentes, onde se buscou uma seleção aleatória de aproximadamente 70 grãos das frações 0,3 A e 0,5 A de cada ponto, a fim de uma representação dessas populações nos sedimentos. Para cada ponto amostral foi confeccionada uma seção polida de monocamada de grãos de granada, totalizando 10 seções, que foram recobertas com carbono para que se tornassem condutoras. A composição química dos grãos foi determinada em microscópio eletrônico de varredura (MEV) com sistema de detecção de raios X por dispersão de energia (EDS – *Energy Dispersive System*). O equipamento utilizado foi o Hitachi Tabletop Microscope TM 3030 Plus com espectrômetro de dispersão de energia Bruker Quantax 70. As análises foram operadas em alto vácuo, tensão de aceleração de elétrons de 15 kV e tempo de análise

pontual de 100 segundos. Os óxidos quantificados nas análises químicas foram utilizados para o cálculo da fórmula estrutural da granada, com base em 12 O, definindo a porcentagem dos membros finais de cada grão de granada, segundo proposta de Deer *et al.* (1992). O Fe foi diferenciado estequiometricamente em Fe²⁺ e Fe³⁺ de acordo com Droop (1987).

5 Resultados

5.1 Sedimentos de Praia

Conforme descrito por Sousa *et al.* (2017), a maioria dos sedimentos do trecho litorâneo estudado foi classificada como moderadamente selecionada e a granulometria predominante é areia média, nos pontos Gargaú I, Gargaú II, Guaxindiba e Barra de Itabapoana II, e areia fina a muito fina nos pontos restantes.

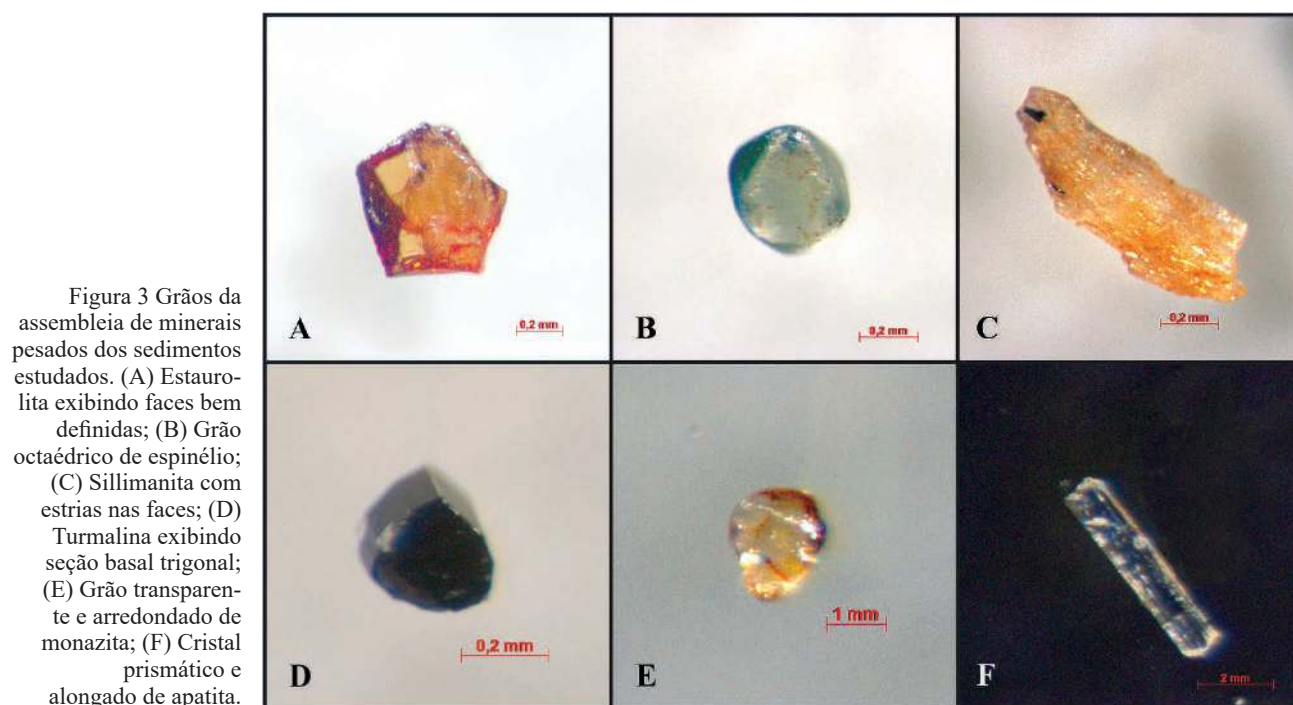
Os grãos de minerais pesados observados variam de angulosos a subangulosos, de euédricos a subédricos, apresentam faces bem definidas e formas características, como por exemplo, a octaédrica no espinélio. Merece destaque a presença de grãos prismáticos de apatita, que por ser um mineral mecanicamente instável, tende a se tornar arredondado com facilidade em condições de transporte prolon-

gado. Essa feição não é observada nos grãos estudados, evidenciando assim, a imaturidade textural das areias e a reduzida abrasão mecânica relacionada ao transporte (Figura 3).

A assembleia de minerais pesados dos sedimentos é constituída por anfibólio, apatita, biotita, cianita, epidoto, espinélio, estauroлита, granada, ilmenita, magnetita, monazita, muscovita, piroxênio, rutilo, sillimanita, turmalina e zircão. Essa assembleia encontra-se presente em todos os pontos, diferenciando apenas pela abundância relativa dos minerais nas amostras (Figura 4).

5.2 Granada: Aspecto Geral

A granada foi observada principalmente sob a forma de fragmentos angulosos com fraturas irregulares ou conchoidais e, mais raramente, em grãos euédricos. Apresenta coloração rosa clara e alaranjada, brilho vítreo, tamanho entre 0,1 e 1 mm, sendo que a maioria dos grãos se encontra límpida (Figura 5). As imagens de elétrons retroespalhados apontam para a ausência de zoneamento composicional (Figura 6), bem como para a escassez de inclusões sólidas, que quando presentes, não estão orientadas.



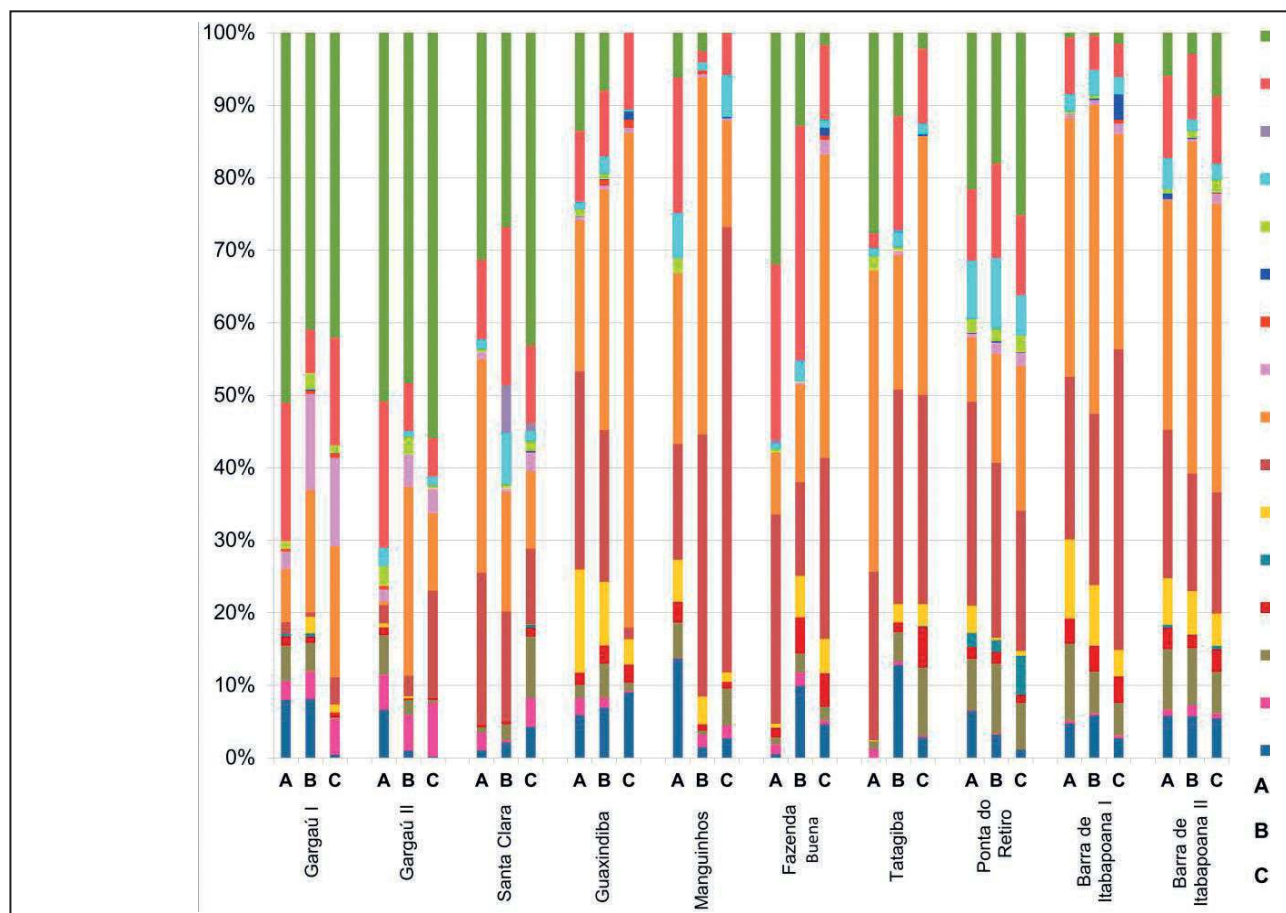


Figura 4 Composição mineralógica dos concentrados de minerais pesados nos ambientes de ante-praia (A), praia (B) e pós-praia (C) de cada ponto amostrado.

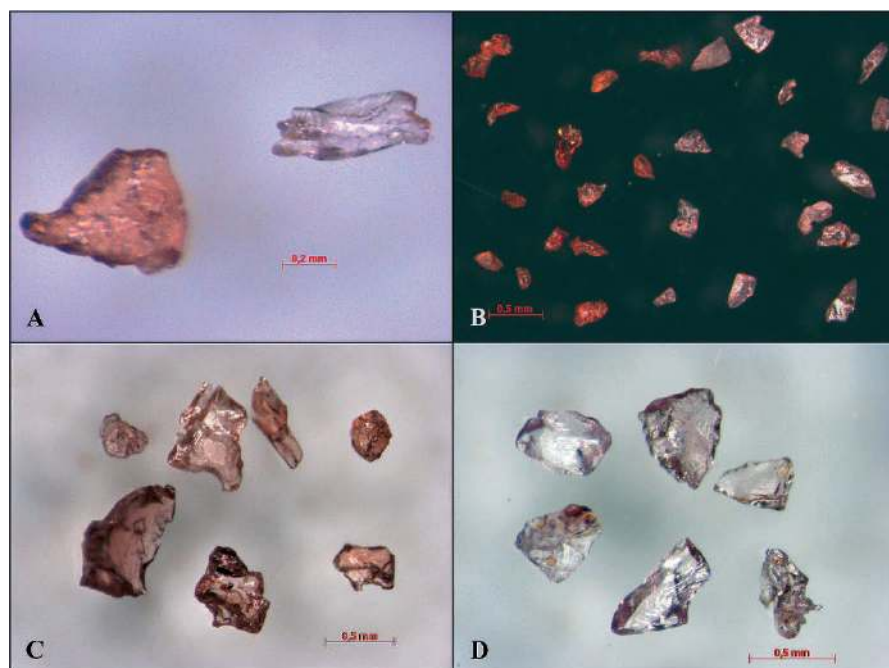


Figura 5 Fotomicrografia dos grãos de granada em estereomicroscópio ótico. (A) Comparação entre dois grãos de granada: à esquerda um grão alaranjado e à direita um grão rosa claro; (B) Realce das assembleias de grãos: alaranjados, à esquerda, e rosa claros, à direita; (C) Detalhe dos grãos alaranjados; (D) Detalhe dos grãos rosa claros. Nota-se o aspecto anguloso de ambos os tipos de grãos.

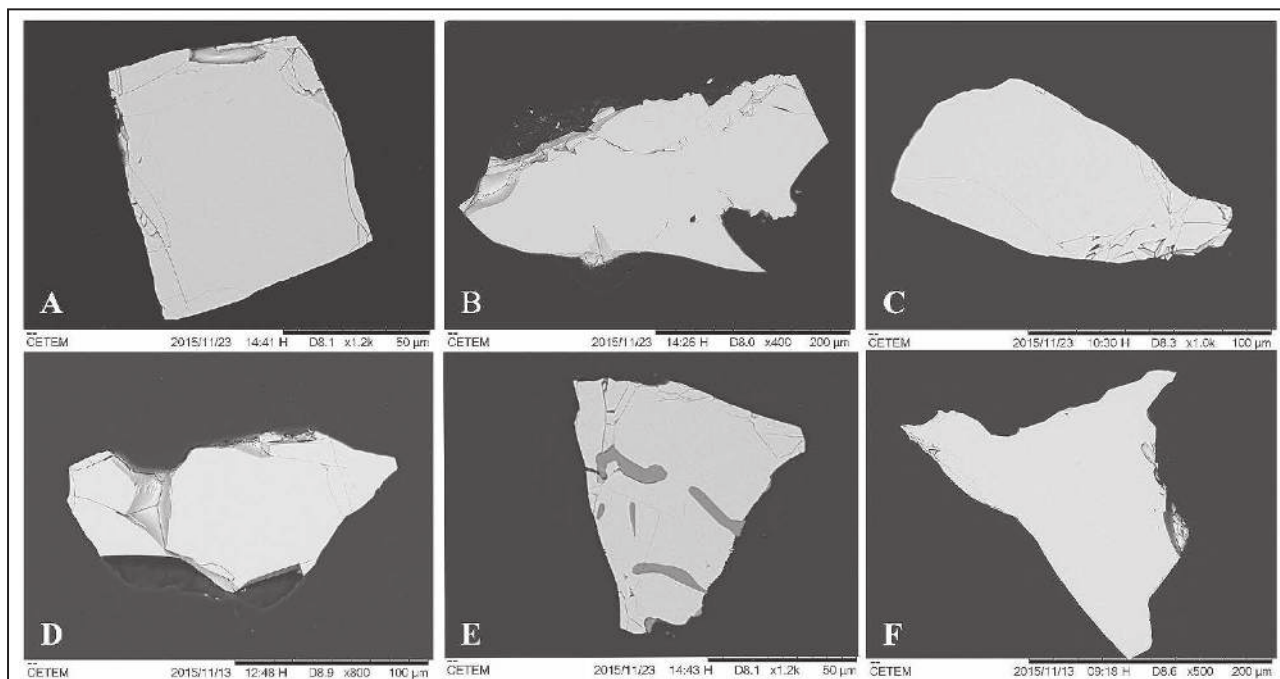


Figura 6 Imagens de elétrons retroespalhados dos grãos de granada, exibindo, em geral, forma desde euédrica até subangulosa ou angulosa, esfericidade baixa, fraturas e apenas uma minoria, com inclusões sólidas. (A) Grão com formato cúbico e com fraturas nas bordas; (B) Grão anguloso intensamente fraturado e quebrado; (C) Grão subanguloso com fraturas em uma das bordas; (D) Grão intensamente quebrado; (E) Grão anguloso, quebrado, fraturado e com inclusões de quartzo. (F) Grão anguloso com algumas fraturas.

5.3 Química Mineral

A composição química dos grãos de granada analisados revela teores relativamente altos de FeO, Al_2O_3 e MgO, teores variáveis de MnO e baixos teores de CaO (Tabela 4). A assembleia desses grãos é representada, majoritariamente, por moléculas de almandina (Alm) e piropo (Prp), com conteúdos variáveis de andradita (Adr), grossulária (Grs), spessartina (Sps) e uvarovita (Uv) (Tabela 5). Por meio dos diagramas de Sabeen *et al.* (2002), Morton *et al.* (2002; 2004) e Remus *et al.* (2004; 2007) os grãos de granada estudados foram enquadrados nos campos A, B e C (Figura 7), indicando que a proveniência envolve principalmente rochas metassedimentares de alto grau e de médio grau, granitoides e rochas metamórficas máficas. Como não ocorrem grãos nos campos D (rochas metacarbonáticas e calcissilicáticas) e E (pegmatitos e aplitos graníticos - diagrama não apresentado), esses litotipos não podem ser considerados como fontes dos sedimentos.

Os grãos de granada que plotam no campo A são os mais abundantes, ocorrem em todas as amostras e predominam nos pontos 1, 2, 4, 6, 9 e 10, enquanto os grãos que plotam nos campos B e C ocorrem de forma restrita nas amostras 1, 2, 4, 6, 9 e 10 e predominam nas amostras 3, 5, 7 e 8 (Tabela 6). Destaca-se que nos pontos 4 e 10 não foi identificado nenhum grão de granada que plotasse no campo C dos diagramas.

trasm e predominam nos pontos 1, 2, 4, 6, 9 e 10, enquanto os grãos que plotam nos campos B e C ocorrem de forma restrita nas amostras 1, 2, 4, 6, 9 e 10 e predominam nas amostras 3, 5, 7 e 8 (Tabela 6). Destaca-se que nos pontos 4 e 10 não foi identificado nenhum grão de granada que plotasse no campo C dos diagramas.

6 Discussão

A maioria dos grãos de granada das amostras estudadas plota no campo A (Figura 7 e Tabela 6), sugerindo que charnockitos ou rochas metassedimentares de alto grau, representadas por paragneisses e granulitos poderiam corresponder à principal fonte dos sedimentos. Nesse sentido, o Terreno Ocidental da Faixa Ribeira (Heilbron *et al.*, 2004; 2016) representaria uma potencial área-fonte para os sedimentos. Entretanto, a imaturidade textural das areias, evidenciada pela forma prismática dos grãos de apatita (Figuras 3F), assim como a presença em parte das amostras de minerais considerados instáveis ao intemperismo e ao transporte por longas distâncias,

Fórmula Estrutural Baseada em 12 O	% em Peso Normalizado Óxidos										% em Peso Elementos																						
	Total	Si	Ti	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Total	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	TiO ₂	Cr ₂ O ₄	Total	Cr	Ti	Mn	Ca	Mg	Al	Si	Fe	O				
	100	3.0	0.0	2.0	0.0	0.1	1.7	0.0	1.2	0.1	98.4	27.6	38.4	21.8	10.2	1.4	0.6	0.1	0.0	0.0	99.5	27.2	38.1	21.7	11.0	1.4	0.9	0.9	6.3	10.8	16.8	19.9	43.8
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	1.7	0.0	1.3	0.1	99.4	27.2	38.1	21.7	11.0	1.4	0.5	0.0	0.0	99.4	27.2	38.1	21.7	11.0	1.4	0.5	0.8	6.3	10.9	16.8	19.8	44.4	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	1.8	0.0	1.2	0.1	99.6	30.6	37.2	20.7	10.1	0.8	2.1	0.0	0.0	99.4	30.6	37.2	20.6	10.1	0.8	2.1	0.8	5.7	10.2	15.5	19.8	42.7	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	1.8	0.0	1.1	0.1	99.8	28.5	36.6	20.2	9.3	0.4	4.8	0.0	0.0	99.6	28.5	36.6	20.7	10.1	0.8	4.8	0.5	5.7	10.2	16.2	21.8	44.8	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	1.8	0.0	1.2	0.1	99.6	32.3	37.2	20.7	9.3	1.8	1.2	0.0	0.0	99.6	32.3	37.2	20.7	10.1	1.2	1.2	0.5	3.8	10.2	16.2	23.1	44.1	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	1.8	0.0	1.0	0.1	99.4	36.0	36.2	20.7	9.3	1.2	1.7	0.0	0.0	99.4	36.0	36.2	20.7	10.1	1.2	1.7	0.6	2.3	10.3	15.9	25.9	42.9	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	1.7	0.0	1.1	0.1	99.2	29.3	38.4	21.4	9.3	1.0	0.6	0.0	0.0	99.2	29.3	38.4	21.4	10.1	1.0	0.6	0.6	5.2	10.6	16.8	21.0	44.5	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	1.7	0.0	1.3	0.1	99.7	26.4	36.2	20.7	8.7	0.8	5.5	0.0	0.0	99.7	26.4	36.2	20.7	8.7	0.8	5.5	0.9	1.4	10.5	16.1	19.4	42.2	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	1.9	0.0	1.3	0.1	99.4	29.7	36.5	20.6	8.8	2.0	1.3	0.0	0.0	99.4	29.7	36.5	20.6	8.8	2.0	1.3	0.6	1.7	10.4	16.3	21.7	42.3	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	2.3	0.0	1.4	0.1	99.4	36.3	35.0	19.8	8.8	2.1	4.7	0.0	0.0	99.4	36.3	35.0	19.8	8.8	2.1	4.7	0.9	1.2	9.8	15.3	26.1	42.2	
	100	3.0	0.0	2.0	0.0	0.1	2.1	0.0	1.4	0.1	99.4	33.7	37.3	20.3	8.8	1.8	1.4	0.0	0.0	99.4	33.7	37.3	20.3	8.8	1.8	1.4	1.0	3.1	10.1	16.4	24.3	43.3	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	2.3	0.0	1.1	0.1	99.8	36.2	36.0	20.5	8.8	2.3	1.1	0.0	0.0	99.8	36.2	36.0	20.5	9.3	2.3	1.1	0.8	2.3	10.3	16.0	26.4	42.5	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	2.2	0.0	1.2	0.1	98.9	34.5	36.5	20.7	8.5	1.5	1.2	0.0	0.0	98.9	34.5	36.5	20.7	9.3	1.5	1.2	0.9	3.2	10.3	16.1	25.0	42.4	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	2.2	0.0	1.6	0.1	99.5	34.6	35.8	19.6	8.8	2.9	1.6	0.0	0.0	99.5	34.6	35.8	19.6	8.8	2.9	1.6	0.5	1.6	9.5	15.4	24.4	43.8	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	2.2	0.0	1.6	0.1	99.1	22.2	35.1	18.7	9.0	2.5	1.29	0.0	0.0	99.1	22.2	35.1	18.7	9.0	2.5	1.29	0.2	1.1	9.1	15.1	15.7	43.0	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	2.1	0.0	1.3	0.1	99.4	34.2	36.6	19.9	8.8	2.5	1.3	0.0	0.0	99.4	34.2	36.6	19.9	8.8	2.5	1.3	0.7	3.1	9.8	15.8	24.3	43.8	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	2.0	0.0	0.9	0.1	99.9	33.2	35.9	20.7	7.2	1.8	0.9	0.0	0.0	99.9	33.2	35.9	20.7	7.2	1.8	0.9	0.9	4.1	10.3	15.7	23.8	44.1	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	2.0	0.0	1.4	0.1	99.4	32.0	37.0	20.8	6.0	2.9	1.4	0.0	0.0	99.4	32.0	37.0	20.8	6.0	2.9	1.4	1.2	3.4	10.4	16.3	23.1	43.2	
	100	2.9	0.0	2.0	0.0	0.1	2.2	0.0	1.4	0.1	99.1	34.6	36.2	21.0	4.5	1.7	2.1	0.0	0.0	99.1	34.6	36.2	21.0	4.5	1.7	2.1	1.9	2.5	10.5	15.9	25.0	42.5	

Tabela 4 Composição química dos grãos de granada representativos de cada amostra. G1 = Gargau I; G2 = Gargau II; SC = Santa Clara; Gu = Guaxindiba; Ma = Mangui-
 nhos; FB = Fazenda Buena; Ta = Tatagiba; PR = Ponta do Retiro; BI1 = Barra de Itabapoana I; BI2 = Barra de Itabapoana II

Amostra	Localização	Alm	Adr	Grs	Prp	Sps	Uv	n
1	Gargaú I	49,7	2,7	5,6	39,4	2,4	0,1	40
2	Gargaú II	46,4	8,2	0,0	42,4	2,9	0,1	39
3	Santa Clara	64,5	5,0	7,3	18,6	4,5	0,2	40
4	Guaxindiba	63,8	3,5	0,8	28,9	2,8	0,2	40
5	Manguinhos	63,9	4,7	3,6	20,7	7,0	0,1	40
6	Fazenda Buena	67,4	3,9	1,3	24,4	2,9	0,1	40
7	Tatagiba	68,0	3,2	4,0	19,0	5,6	0,1	29
8	Ponta do Retiro	61,3	5,9	4,0	17,8	10,7	0,2	40
9	Barra de Itabapoana I	66,4	4,8	0,6	25,5	2,6	0,1	40
10	Barra de Itabapoana II	64,7	3,0	0,7	27,0	4,5	0,1	40
Total		61,6	4,5	2,8	26,4	4,6	0,1	388

Tabela 5 Média da composição da assembleia de grãos de granada das amostras em porcentagem. Alm = Almandina; Adr = Andradita; Grs = Grossulária; Prp = Piropo; Sps = Spessartina; Uv = Uvarovita; n = número de análises utilizadas.

Amostra	Localização	Campos Composicionais		
		A (%)	B(%)	C(%)
1	Gargaú I	83	10	7
2	Gargaú II	75	12	13
3	Santa Clara	30	46	24
4	Guaxindiba	80	20	0
5	Manguinhos	45	45	10
6	Fazenda Buena	82	15	3
7	Tatagiba	45	48	7
8	Ponta do Retiro	29	56	15
9	Barra de Itabapoana I	71	24	5
10	Barra de Itabapoana II	80	20	0

Tabela 6 Porcentagem dos grãos de granada que plotam nos campos composicionais A, B e C.

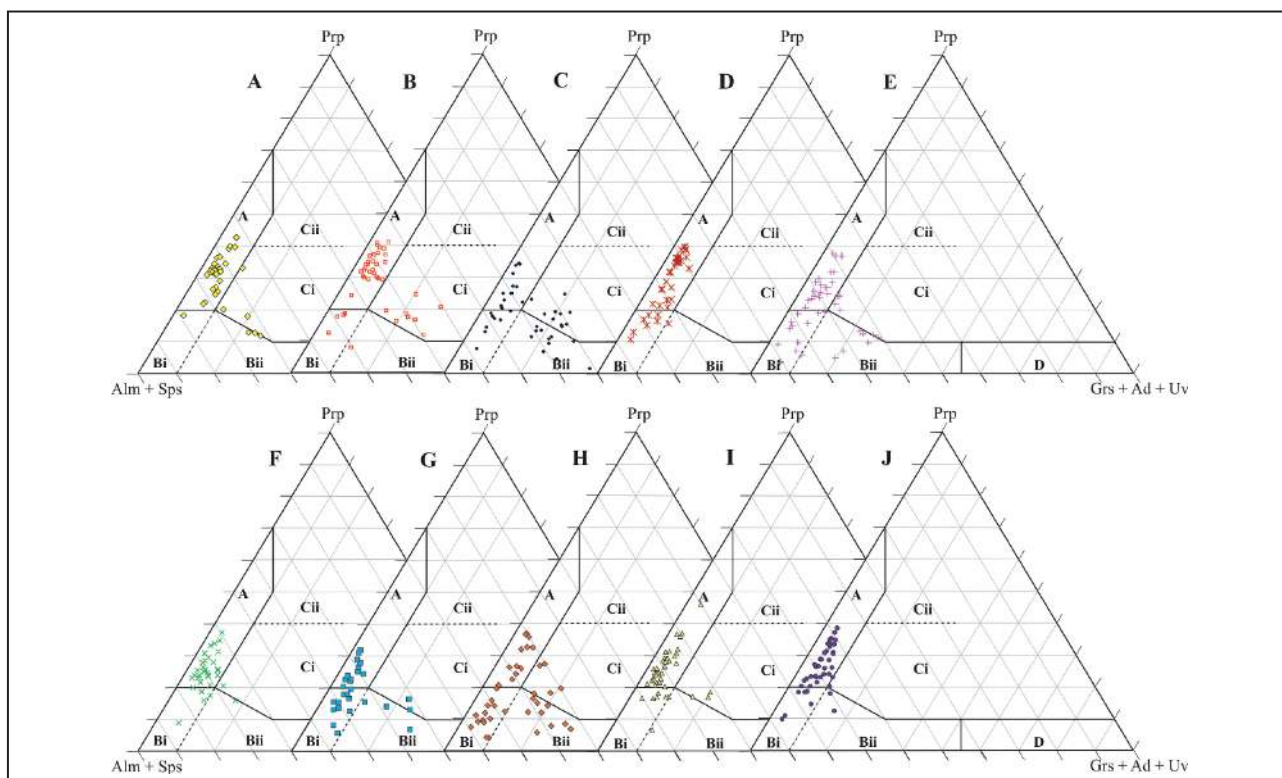


Figura 7 Diagramas ternários discriminantes de rochas-fonte (Sabeen *et al.*, 2002; Morton *et al.*, 2002, 2004) dos grãos de granada das amostras da porção sul do litoral estudado. (A) Gargaú I; (B) Gargaú II; (C) Santa Clara; (D) Guaxindiba; (E) Manguinhos; (F) Fazenda Buena; (G) Tatagiba; (H) Ponta do Retiro; (I) Barra de Itabapoana I; (J) Barra de Itabapoana II. As definições de cada campo composicional encontram-se na Tabela 2.

como anfibólio e piroxênio (Figura 4), apontam para transporte de sedimentos de curta distância. Como os litotipos do Terreno Ocidental estão muito afastados da região litorânea (aproximadamente 150 km), suas rochas possivelmente não contribuíram para os depósitos sedimentares da área estudada.

O Terreno Cabo Frio também não é considerado como provável fonte dos sedimentos, pois os rios Paraíba do Sul e Itabapoana não cortam as suas rochas e a deriva litorânea da região é direcionada de norte para sul (Pinho, 2003). Dessa forma, tanto o transporte fluvial quanto o litorâneo não possibilitariam que sedimentos provenientes de suas rochas chegassem ao litoral estudado.

As potenciais rochas-fonte para os grãos de granada estudados que plotam no campo A corresponderiam a rochas metamórficas de alto grau do Terreno Oriental, como os paragnaisse do Grupo São Fidélis do Domínio Costeiro, os metatexitos pertencentes a esse mesmo domínio (Figura 8 B) e os charnoenderbiros da Suíte Bela Joana. Paragnaisse do Grupo Bom Jesus do Itabapoana do Domínio Cambuci, que está incluso no Terreno Paraíba do Sul (Figura 8 C), também representam potenciais rochas-fonte desses sedimentos. O Grupo São Fidélis, representado por gnaisses granatíferos com sillimanita de fácies anfibolito alto a granulito (Tupinambá *et al.* 2007), é a unidade mais representativa da região (Figura 9) como fonte de grãos de granada do campo A, apesar dos dados comparativos não apresentarem um campo muito bem definido (Figura 8C). A presença de grãos de sillimanita e espinélio no material estudado corrobora a participação de terrenos metamórficos de alto grau como área-fonte principal dos grãos de granada do campo A, pois esses minerais estão normalmente associados a esse tipo de rocha (Deer *et al.*, 1992).

Os grãos de granada que plotam no campo Bi (Figura 7) podem estar relacionados aos diversos tipos de granitoides que são cortados pelos rios Itabapoana e Paraíba do Sul (Figura 9). Essa proposta é corroborada pelo estudo de Oliveira *et al.* (2012) que correlacionou a idade de grãos de monazita em depósito de *placer* localizado na cidade de Buena, norte fluminense, a granitoides das suítes intrusivas

sin e pós-colisionais do Domínio Costeiro, que fazem parte do Terreno Oriental. Dessa forma, sugere-se que os grãos de granada do Campo Bi refletem como fontes os granitoides que intrudem os litotipos do Domínio Costeiro do Terreno Oriental (Figura 9).

Os grãos de granada que plotam no campo Bii (Figura 7) são provenientes de rochas metasedimentares de baixo a médio grau, que podem ser representadas pelos paragnaisse do Grupo Italva, pertencente ao Domínio Italva do Terreno Oriental. De acordo com Tupinambá *et al.* (2007), o Grupo Italva corresponde a um conjunto de rochas metavulcanossedimentares cujo grau de metamorfismo contrasta com os compartimentos ao seu redor, não ultrapassando os limites da fácies anfibolito.

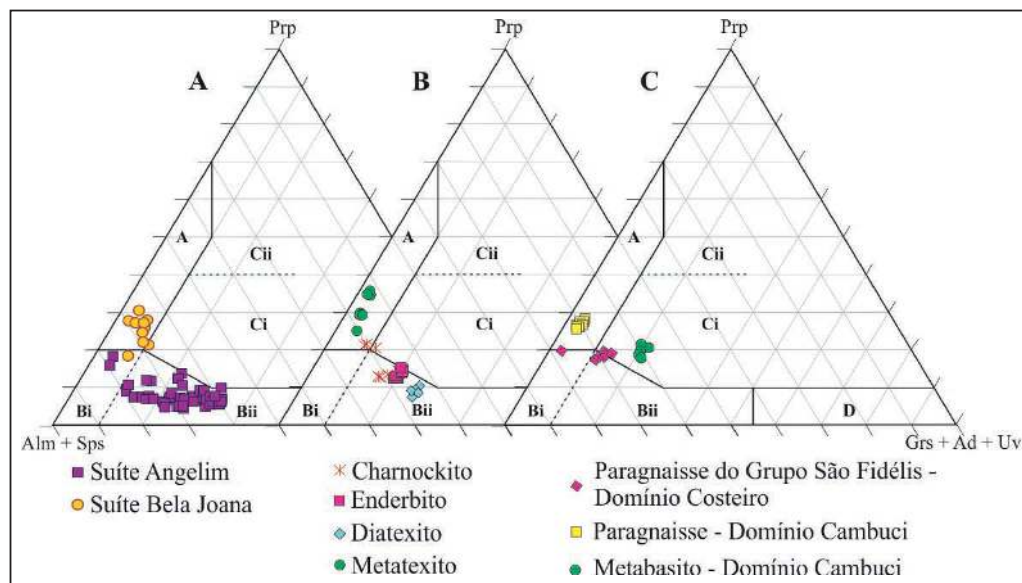
Os anfibolitos, que se encontram presentes tanto nos domínios Costeiro e Italva do Terreno Oriental, quanto no Domínio Cambuci do Terreno Paraíba do Sul (Figura 8 C), seriam a provável fonte dos grãos que plotam no campo Ci (Figuras 7).

Além das rochas-fonte sugeridas pela química mineral da granada, a assembleia de minerais pesados identificados nos sedimentos indica a contribuição da Formação Barreiras como fonte dos sedimentos estudados, apesar da ausência de granada na mesma. De acordo com Gonçalves (2004), o conteúdo de minerais pesados da Formação Barreiras na região é constituído principalmente por minerais opacos, limonita, monazita, sillimanita, cianita, rutilo e zircão. A presença desses minerais nos sedimentos das praias analisadas pode ser explicada pelas diversas drenagens, que dissecam a Formação Barreiras, e também pela ação direta das ondas nas falésias, situadas próximas ao ponto de coleta da Ponta do Retiro.

7 Conclusões

Os grãos de granada que plotam no campo A são os mais abundantes, variando, dentre as amostras, de 30 a 83% do total dos grãos, enquanto os grãos do campo B representam de 7 a 55% das amostras. Os grãos do campo C variam de ausentes nas amostras 4 e 10, chegando a até 24% na amostra 3 (Tabela 6). Dessa forma, a composição química dos grãos de granada revelou predominância de terrenos

Figura 8 Diagramas ternários discriminantes de rochas-fonte dos grãos de granada de algumas unidades litológicas. (A) Charnóenderbito da Suíte Bela Joana e granito da Suíte Angelim (Fontanelli *et al.*, 2009); (B) Rochas metamórficas de alto grau do Domínio Costeiro do Terreno Oriental (Santos *et al.*, 2011); (C) Gnaisses e metabasitos do Terreno Oriental (Marques, 2009).



metassedimentares de alto grau como fontes dos sedimentos. Também são importantes rochas-fonte os granitoides e, subordinadamente, os metabasitos.

Como não foram encontrados grãos de granada nos campos D e E, as rochas metacarbonáticas, calcissilicáticas, pegmatitos e aplitos graníticos não são considerados rochas-fonte para os sedimentos estudados, excluindo-se dessa forma o Domínio Paraíba do Sul-Embu do Terreno Paraíba do Sul como fonte dos sedimentos, uma vez que rochas metacarbonáticas são expressivas no mesmo. Devido à evidência de curto transporte fluvial revelada pela imaturidade textural dos sedimentos, os litotipos do Terreno Ocidental (terreno de alto grau metamórfico) também foram excluídos como possíveis rochas-fonte dos sedimentos estudados. O Terreno Cabo Frio não foi considerado uma potencial área-fonte, pois os rios que desaguam no litoral não cortam as suas rochas e a deriva litorânea na região é direcionada de norte para sul, impossibilitando assim, tanto o transporte fluvial quanto o litorâneo.

Sugere-se que o Terreno Oriental da Faixa Ribeira, representado por paragnaisse de fácies anfibolito a granulito, constitui a principal área-fonte dos minerais pesados aqui identificados. Os litotipos desse terreno que podem ser considerados de maior expressividade para corresponder à fonte dos sedimentos estudados são aqueles do Domínio Costeiro,

representados por granada-sillimanita-biotita gnaisses do Grupo São Fidélis. Os granitoides intrusivos nesse domínio também são importantes rochas-fonte.

Os anfibolitos, presentes como intercalações nos gnaisses do Terreno Oriental e nos gnaisses do Domínio Cambuci do Terreno Paraíba do Sul, constituem uma fonte secundária para os sedimentos do litoral estudado.

Por meio da identificação da assembleia dos minerais pesados, foi possível estabelecer uma correlação com os minerais pesados presentes na Formação Barreiras da região, evidenciando a sua contribuição para a formação dos sedimentos litorâneos estudados.

8 Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de mestrado; ao Centro de Tecnologia Mineral – CETEM pela disponibilização dos equipamentos; aos laboratórios de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente e de Petrografia e Mineralogia do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional, UFRJ pela infraestrutura. C. A. Ávila e R. Neumann agradecem ao CNPq por bolsa de produtividade.

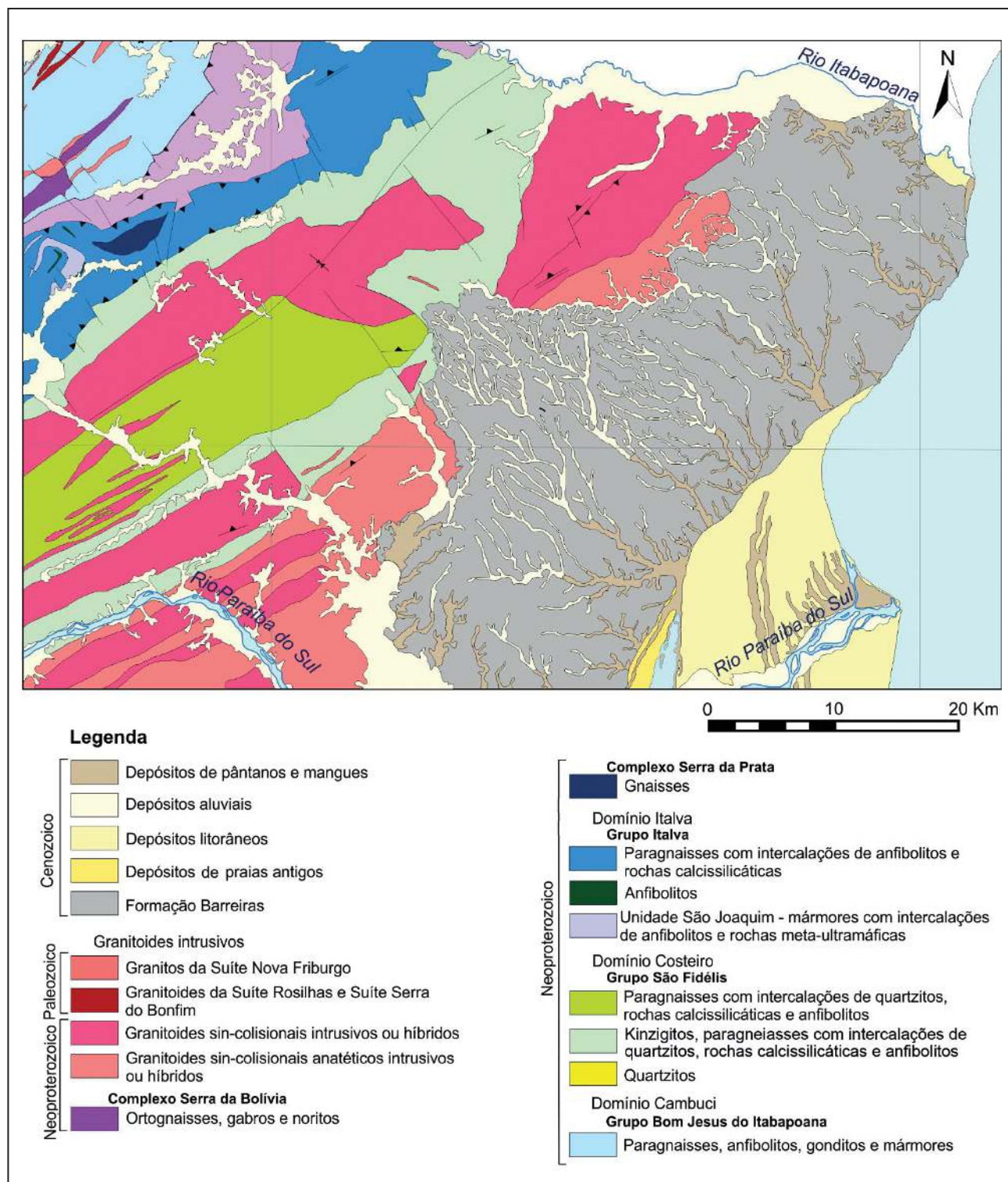


Figura 9 Porção norte do mapa geológico do Rio de Janeiro de Heilbron *et al.* (2016). Os Domínios Itálva e Costeiro estão inseridos no Terreno Oriental, enquanto o Domínio Cambuci insere-se no Terreno Paraíba do Sul. Os granitoides neoproterozoicos e paleozoicos intrudem o Domínio Costeiro do Terreno Oriental. As Suítes Angelim e Bela Joana estão incluídas nos Granitoides sincolisionais intrusivos ou híbridos.

9 Referências

- Costa, C.Z. & Remus, M.V.D. 2016. Proveniência dos arenitos da Bacia de Campos (Andar Alagoas) por meio da composição da granada. *Geologia USP, Série Científica*, 16(2): 83-100.
- Deer, W.A.; Howie, R.A. & Zussman, J. 1992. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. London, Pearson United Kingdom. 712 p.
- Droop, G.T.R. 1987. A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51: 431-435.
- Fontanelli, P.D.R.; De Ros, L.F. & Remus, M.V.D. 2009. Provenance of deep-water reservoir sandstones from the Jubarte oil field, Campos Basin, Eastern Brazilian Margin. *Marine and Petroleum Geology*, 26(7): 1274-1298.
- Gonçalves, C.Z. 2004. *Proveniência e distribuição dos minerais pesados no complexo deltaico do rio Paraíba do Sul*. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 198p.
- Guedes, E.; Heilbron, M.; Vasconcelos, P.M.; Valeriano, C.M.; Almeida, J.C.H.; Teixeira, W. & Thomaz Filho, A. 2005. K/Ar and 40Ar/39Ar ages of dykes emplaced in the on-shore basement of the Santos Basin, Resende area, SE Brazil: implications for the south Atlantic opening and Tertiary reactivation. *Journal of South American Earth Sciences*, 18(3-4): 371-182.
- Grew, E.S.; Lockock, A.J.; Mills, S.J.; Galuskin, I.O.; Galuskin, E.V. & Galenius, U. 2013. Nomenclature of the garnet supergroup. *American Mineralogist*, 98(4): 785-811.
- Heilbron, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Campos-Neto, M.C.; Silva, L.C.; Trouw, R.A.J. & Janasi, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R. & BRITO NEVES, B.B. (eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano - Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, p. 203-234.
- Heilbron, M.; Valeriano, C.M.; Tassinari, C.C.G.; Almeida, J.; Tupinambá, M.; Siga Jr., O. & Trouw, R. 2008. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. In: WEST GONDWANA: PRE-CENOZOIC CORRELATIONS ACROSS THE SOUTH ATLANTIC REGION, Geological Society, London, Special Publications, p. 211-237.
- Heilbron, M.; Eirado, L.G. & Almeida, J. 2016. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais. Belo Horizonte, CPRM, 182 p.
- Krippner, A.; Meinhold, G.; Morton, A.C. & von Eynatten, H. 2014. Evaluation of garnet discrimination diagrams using geochemical data of garnets derived from various host rocks. *Sedimentary Geology*, 306(1): 36-52.
- Mange, M.A. & Morton, A.C. 2007. Geochemistry of heavy minerals. In: MANGE, M.A. & WRIGHT, D.T. (eds.). *Heavy Minerals in Use*. Elsevier, p. 345-391.
- Marques, R.A. 2009. *Evolução metamórfica do Terreno Oriental da Faixa Ribeira entre Italva e Bom Jesus do Itabapoana, noroeste do RJ*. Programa de Pós graduação em Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 177p.
- Morton, A.C. & Hallsworth, C. 1994. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 90(3-4): 241-256.
- Morton, A.C. & Hallsworth, C. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 124(1): 3-29.
- Morton, A.C.; Knox, R.W.O'B. & Hallsworth, C. 2002. Correlation of reservoir using quantitative heavy mineral analysis. *Petroleum Geoscience*, 8(3): 251-262.
- Morton, A.C.; Hallsworth, C. & Chalton, B. 2004. Garnet compositions in Scottish and Norwegian basement terrains: a framework for interpretation of North Sea sandstone provenance. *Marine and Petroleum Geology*, 21(3): 393-410.
- Oliveira, P.K.; Bühn, B.; Correia Neves, J.M.; Chaves, A.O. & Chaves, M.L.S.C. 2012. Química mineral e idades U-Pb de monazitas de *placers* marinhos da região norte fluminense. *Geonomos*, 20(2): 15-22.
- Parfenoff, A.; Pomerol, C. & Tourenq, J. 1970. *Les minéraux en grains - Méthodes d'études et détermination*. Paris, Masson et Cie. 578 p.
- Pereira, R.M.; Ávila, C.A. & Lima, P.R.A.S. 2005. *Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação*. São Paulo, Oficina de Textos. 128 p.
- Pinho, U.F. 2003. *Caracterização do estado do mar na Bacia de Campos*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 145 p.
- Remus, M.V.D.; De Ros, L.F.; Dillenburg, S.; Splendor, F. & Nunes L.C. 2004. Aplicação da microsonda eletrônica na análise de proveniência: Granadas - traçadores de áreas fonte nas Bacias de Santos e Pelotas. *Boletim Dez Anos de Microsonda em Porto Alegre*, 101-107.
- Remus, M.V.D.; Wiederkher, F. & Rizzardo, R. 2007. Geoquímica de granadas detríticas em estudos de proveniência: implicações para a exploração de petróleo. In: CONGRESSO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 5, Montevideo, 2007, CD ROM.
- Remus, M. V. D.; Souza, R. S.; Cupertino, J. A. De Ros, L. F.; Dani, E. & Vignol-Lelarge, M. L. 2008. Proveniência sedimentar: métodos e técnicas analíticas aplicadas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2): 166-185.
- 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.; CARNEIRO, C.D.R. & BRITO-NEVES, B. B. (eds.). *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p. 383-405.
- Sabeen, H.M.; Ramanujam, N. & Morton, A.C. 2002. The provenance of garnet: constraints provided by studies of coastal sediments from Southern India. *Sedimentary Geology*, 152(3-4): 279-287.
- Santos, T.M.B.; Munhá, J.M.; Tassinari, C.C.G.; Fonseca, P.E. & Dias Neto C. 2011. Metamorphic P-T evolution of granulites in the central Ribeira Fold Belt, SE Brazil. *Geosciences Journal*, 15(1): 27-51.
- Schmitt, R.S.; Trow, R.A.J.; Van Schmus, W.R. & Pimentel, M.M. 2004. Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collisional orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil). *Precambrian Research*, 133(1): 29-61.
- Sousa, S.S.C.G.; Castro, J.W.A. & Guedes, E. 2017. Variações granulométricas e minerais pesados das praias do norte do Estado do Rio de Janeiro, SE, Brasil: condições de distribuição e deposição dos sedimentos. *Geociências*, 36(2): 365-380.
- Tupinambá, M.; Heilbron, M.; Duarte, B.P.; Nogueira J.R.; Valladares, C.; Almeida, J.; Silva, L.G.E.; Medeiros, S.R.; Almeida, C.G.; Miranda A.; Ragatky, C.D.; Mendes, J. & Ludka I. 2007. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da Arte e Conexões com a Faixa Araçuá. *Geonomos*, 15(1): 67-79.