

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA GRANADA DE GONDITOS DA SEQUÊNCIA METAVULCANOSSEDIMENTAR RIO DAS MORTES, MG

QUIMICAL COMPOSITION OF GARNET IN GONDITES FROM RIO DAS MORTES METAVULCANO-SEDIMENTARY SEQUENCE, MG

Mariana Barcellos da Silva

Aluna de Graduação do curso de Geologia 7º período, UFRJ

Período PIBIC: setembro de 2024 a agosto de 2025

mbarcellos64@gmail.com

Reiner Neumann

Orientador, geólogo, D.Sc.

rneumann@cetem.gov.br

Matheus Lamas Machado

Coorientador, geólogo, M.Sc.

mattlamachado@gmail.com

Ciro Alexandre Ávila

Orientador, geólogo, D.Sc.

avila@mn.ufrj.br

RESUMO

A granada é um mineral comum em rochas ígneas e metamórficas e sua composição química é utilizada na indústria do petróleo para caracterização da proveniência do material sedimentar. O presente trabalho caracterizou grãos de granada de cinco amostras de gonditos, que fazem parte da sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes por difração de raios X (DRX) e por microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva (MEV-EDS) visando obter sua composição química e obter seus *end members* nos diagramas de classificação. A maioria dos gonditos estudados são compostos por spessartina e quartzo, enquanto uma amostra apresenta rodonita, anfíbólio de Mn e spessartina. Litioforita, pirolusita e criptomelana são minerais secundários. As análises apontaram spessartina (45-80%) como o principal *end member*, enquanto almandina (5-20%), grossularia (5-30%) e piropo (2-5%) ocorrem de forma mais restrita. Os dados sugerem que o campo da granada associada a gonditos deve ser ampliado nos diagramas de proveniência sedimentar, implicando em novas rochas fontes para bacias sedimentares.

Palavras chave: DRX; MEV-EDS; spessartina; gondito; diagrama de proveniência.

ABSTRACT

Garnet is a common mineral igneous and metamorphics rocks, and its chemical composition is widely utilized in petroleum industry for the characterization of provenance sediment. The present research characterized garnet grains of five gondites samples (3,5,6,15 e 20B), which are part of metavulcanosedimentary sequence Rio da Mortes, for X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy with energy dispersive (SEM-EDS), aims to determine their chemical composition and plot their end-members in provenance classification diagrams. Most of gondites samples are composed for spessartine, quartz, while a sample consists of rhodonite, Mn-amphibole and spessartine. Lithiophorite, pyrolusite, and cryptomelane supergene minerals. The analyses identified spessartine (45–80%) as the dominant end member, whereas almandine (5–20%), grossular (5–30%), and pyrope (2–5%) occur in more limited proportions. The data suggest that the garnet field associated with gondites should be expanded in sedimentary provenance diagrams, implying new potential source areas for sedimentary basins.

Keywords: XRD; SEM-EDS; spessartine; gondite; provenience diagrams.

1. INTRODUÇÃO

Gondito é uma rocha metamórfica constituída essencialmente por quartzo e silicatos de manganês (granada, rodonita, anfibólio), cujo protólitos corresponderia a um precipitado químico manganesífero. Quando alterados intempericamente, os silicatos possibilitam a formação de diversos óxidos e hidróxidos de Mn (criptomelana, pirolusita, hollandita) e, consequentemente, seu aproveitamento econômico (AFONSO, 2019). No contexto geológico do Cinturão Mineiro ocorrem diversas exposições de gonditos associados ao pacote sedimentar da sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes, que estão sendo explotados na atualidade. Na região entre as cidades de Ibituruna e Conselheiro Lafaiete afloram dois tipos de gonditos, sendo um composto de quartzo e granada de Mn e o outro que apresenta quartzo, rodonita e um anfibólio de Mn como minerais principais, enquanto a granada ocorre em menor quantidade.

A granada é um mineral que é formado em rochas ígneas e metamórficas, sendo também muito comum nas rochas sedimentares como um mineral detritico, devido a sua elevada dureza (6,5-7,0), alta densidade (4,18 g/cm³) e ausência de clivagem (MANGE & MORTON, 2007). Essas feições, conjuntamente com seu amplo espectro composicional, possibilitam a sua utilização no estudo de proveniência das rochas sedimentares, principalmente na associação da sua composição química com a sua rocha fonte.

Dentro desse contexto, o supergrupo da granada é subdividido em cinco grupos (GREW et al., 2013): henritermierita (silicato), bitkleita (óxido), scholormita (silicato), granada (silicato), berzeleliita (vanadato e arsenato). O grupo da granada é representado principalmente por sperssatina ($Mn_3Al_2(Si_3O_{12})$), almandina ($Fe_3Al_2(Si_3O_{12})$), piropo $Mg_3Al_2(Si_3O_{12})$, grossulária ($Ca_3Al_2(Si_3O_{12})$), andradita ($Ca_3Fe_2(Si_3O_{12})$) e uvarovita $CaCr(Si_3O_{12})$. Diagramas de proveniência foram confeccionados para a caracterização da fonte dos grãos de granada presentes nas rochas sedimentares (MANGE & MORTON, 2007; COSTA & REMUS, 2016). Porém, raramente, a granada presente nos gonditos foi utilizada na base de dados desses diagramas, pois essas são muito ricas em Mn, possuem distribuição restrita e são semelhantes a aquelas de granitos e pegmatitos.

2. OBJETIVO

Os objetivos desse trabalho envolvem descrever as principais características texturais e mineralogia de gonditos focado nos grãos de granada e suas inclusões sólidas, de cinco amostras por: difratometria de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), bem como obter a composição química desse mineral e de suas inclusões sólidas por espectroscopia de energia dispersiva (EDS). A partir da composição química obtida na granada, pretende-se estabelecer um campo composicional para grãos de granada oriundos de gonditos nos diagramas discriminantes de proveniência sedimentar.

3. METODOLOGIA

A coleta de material para a preparação das amostras foi realizada em 5 pontos, sendo dois afloramentos de gonditos da frente de lavra na mina EMFX em Penedo (amostras 5 e 6), dois de lavras distintas da mineração Monte Azul (amostras 3 e 15) e um ponto de um colúvio com blocos de gondito (amostra 20B) próximo a estrada Lavras – São João del Rei.

Em laboratório, fragmentos representativos dos gonditos foram britados abaixo de 1 mm e pulverizados para < 300 micrômetros. Desse material foi selecionada uma alíquota de 30 g, que foi pulverizada para < 106 micrômetros. Desta foram selecionados 3g, que foram moídas a úmido no moinho micronizador McCrone para análise de DRX, e 5g para análise química e o restante foi arquivado. A aquisição dos dados de DRX foi realizada em um difratômetro *Bruker D8 Avancem Eco* com tubo selado de Cu, medições entre 4 e 105° 2θ em passos de 0,01°. Os contramoldes das amostras representativas dos gonditos foram utilizados na confecção de seções polidas para análise em MEV ZEISS Sigma 300 acoplado a dois EDS Bruker 6160 operado com abertura de 30 µm, 20 kV e distância de trabalho de 8 mm. Para as análises, os fragmentos foram serrados, embutidos em resina epóxi, polidos e recobertos com carbono.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises por DRX apontam que as amostras 3, 5, 6 e 20B são compostas majoritariamente por spessartina, quartzo e goethita (71-98%), enquanto a amostra 15 diverge das demais e apresenta elevada proporção de rodonita e anfibólito de Mn (Figura 1). Os teores de granada nas amostras 3, 5, 6 e 20B são bem elevados e variam de 45 a 75%, enquanto na amostra 15 alcança somente 19% e são inferiores aos de rodonita e anfibólito de Mn. Os minerais de alteração intempérica nas amostras correspondem a goethita, criptomelana, pirolusita, litioforita e caolinita, onde a goethita predomina em todas as amostras, com exceção da amostra 15, onde litioforita (5,3%) ocorre em maior proporção. Caolinita alcança 13% na amostra 3, enquanto criptomelana + pirolusita variam entre 1 e 4,5% (Figura 1).

Nas análises químicas dos gondito observou-se elevadas concentrações de SiO_2 nas amostras 5 e 20, pois essas exibem maior proporção de quartzo. A amostra 15 apresenta valor similar de SiO_2 (Tabela 1) apesar de apresentar pouco quartzo (3%), estando essa feição associada à presença de rodonita e de anfibólito de Mn, que exibem maior proporção de SiO_2 do que a spessartina (Figura 1). As amostras 6 e 15 exibem elevados valores de MnO devido a presença de spessartina + pirolusita + criptomelana na amostra 6 e de spessartina + rodonita + anfibólito de Mn na amostra 15 (Tabela 1 e Figura 1). O baixo valor de Al_2O_3 na amostra 15 em relação as demais condicionou a presença de rodonita e anfibólito de Mn em elevada proporção (60%), tendo em vista que esses minerais não apresentam esse elemento em sua estrutura. É possível de se sugerir uma relação similar para o $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{t}$, que é maior nas amostras com maior proporção de goethita (amostras 5 e 6), enquanto o MgO e o CaO são mais elevados na amostra 15 que apresenta além da spessartina, rodonita e anfibólito de Mn (Tabela 1).

A presença de rodonita na amostra 15 ocasiona uma queda no percentual de spessartina, tendo em vista que ocorre uma redistribuição entre alguns elementos (Al, Mn, Mg, Ca e Si) durante o metamorfismo e formação da rodonita e granada.

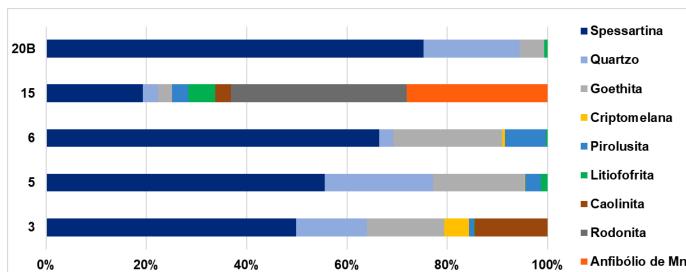


Figura 1: Análise modal das principais fases minerais representativas por DRX.

Tabela 1: Análise química (FRX) dos principais óxidos das amostras analisadas. PPC – Perda por calcinação.

AMOSTRAS	SiO_2	MnO	TiO_2	Al_2O_3	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{TOT}$	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	ZnO	PPC	Total
COMANGA 5	35,11	27,03	0,76	12,08	15,77	0,22	2,79	nd	nd	0,12	5,50	99,38
COMANGA 6	19,66	37,36	0,99	15,55	13,03	0,36	1,57	nd	nd	0,09	10,38	98,99
COMANGA 15	34,62	36,35	0,16	3,14	11,94	2,81	6,00	nd	0,08	0,08	4,28	99,45
COMANGA 20B	42,41	23,20	0,26	15,69	7,46	0,25	7,94	nd	nd	0,02	2,53	99,76

No estudo por MEV observou-se diferentes padrões texturais associados à granada nos gonditos: *i*) textura granular em todas as amostras com grãos subédricos de spessartina, tamanho variado e presença de inclusões de quartzo (Figura 2A-B) e de sulfetos de Fe-Ni-Cu-Zn (Figura 2C), com exceção da amostra 6; *ii*) grãos fortemente agrupados, formando aglomerados sem material intersticial entre eles. Figura 2D-E); e *iii*) textura zonada na granada com núcleo mais rico em Mn e borda em Ca (Figura 2E-F).

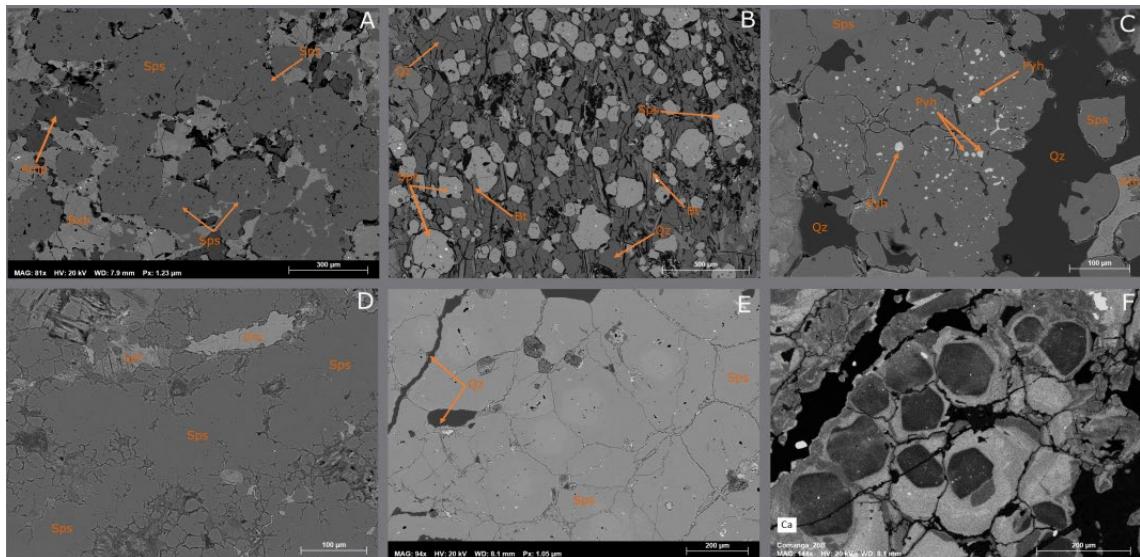


Figura 2: Imagens de elétrons retroespalhados dos grãos de granada de gonditos. A) Grãos subédricos de spessartina (Sps) com inclusões de quartzo concentradas no núcleo do grão. Presença de anfibólito (Amp) e bixbita (Bxb) na matriz entre os grãos. B) Grãos euédricos de spessartina (Sps) associados ao quartzo (Qz). C) Inclusões de pirrotita (Pyh) nos grãos de spessartina (Sps) que estão fortemente agrupados. D) Grãos de spessartina (Sps) fortemente agrupados e presença de ilmenita (Ilm) alongada. E) Grãos de spessartina (Sps) zonados. F) Mapa de raios X (intensidade CaK α) ilustrando o zonamento da granada com núcleo rico em Mn e borda rica em Ca.

Nas análises por EDS caracterizou-se que a contribuição do Mn nos gonditos é proveniente essencialmente dos silicatos e oxi-hidróxidos (spessartina, rodonita, anfibólito de Mn, pirolusita, criptomelana, litioforita), enquanto goethita pode apresentar quantidades entre (35-55%) de Mn em sua estrutura. Os grãos de granada das amostras 5, 6 e 15 são muito mais enriquecidos no diagrama de Mange & Morton (2007) em Mn-Fe (Figura 3A), enquanto as amostras 3 e 20B exibem maior conteúdo em Ca e se aproximam do vértice Grs+Adr+Uv (Figura 3A) e PGAU (Figura 3B). A amostra 15 apresenta, ainda, grãos zonados e enriquecidos em Ca na borda (Figura 3B), enquanto o centro exibe composição similar a das amostras 5 e 6 (Figura 3A). Nas amostras 5 e 20B, os grãos de granada variam fortemente em relação ao conteúdo de Mn e Ca em ambos os diagramas, enquanto a amostra 3, excepcionalmente, apresenta enriquecimento do *end member* almandina (Figura 3B).

5. CONCLUSÕES

A composição química dos *end members* dos grãos da granada do gondito é representada por spessartina (45-80%), com variações no conteúdo de almandina (5-20%), grossulária (5-30%) e piropo (2-5%). As amostras estudadas plotam nos campos Bi (granitoides) e Bii (rochas metassedimentares de baixo grau) no diagrama de Mange & Morton (2007), indicando uma limitação desse diagrama para classificação da granada oriundos de gonditos. O diagrama de Costa & Remus (2016) possui um campo específico para granitos + pegmatitos + gonditos, porém a grande maioria das amostras estudadas excedem o conteúdo de PGAU para fora desse campo, principalmente devido ao enriquecimento em Ca na granada. Os dados obtidos sugerem que o campo da granada associada a gonditos deve ser ampliado nos diagramas de proveniência sedimentar já existentes implicando em novas rochas fontes para bacias sedimentares.

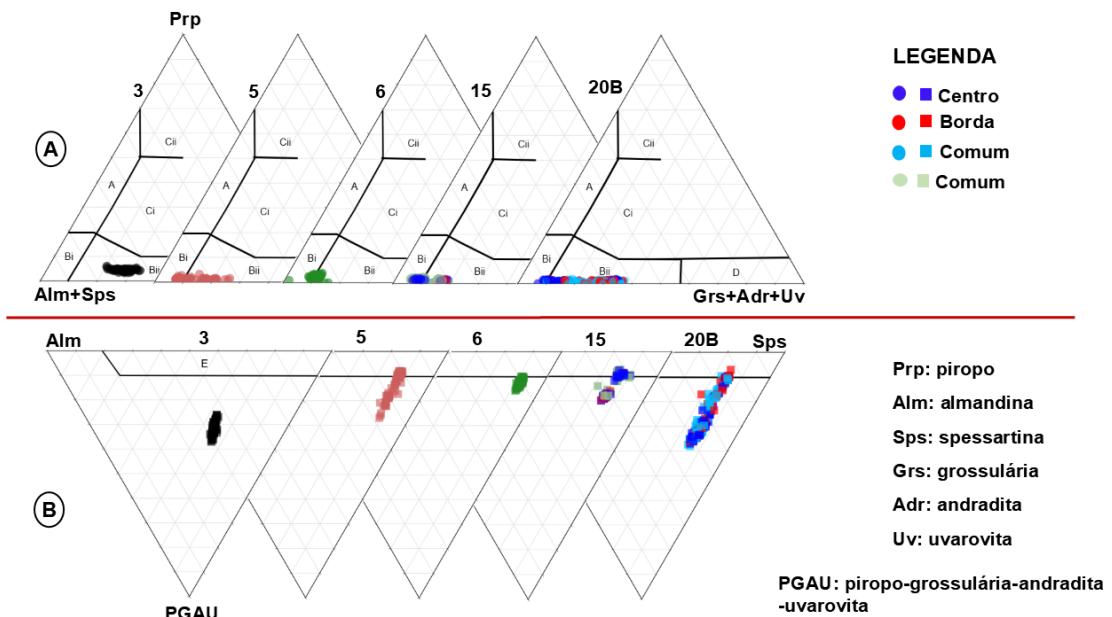


Figura 3: Diagramas ternários de proveniência da granada. A) Diagrama de Mange & Morton (2007): A- rochas metassedimentares de alto grau (paragnaisse, charnockitos e granulitos); Bi- granitoides e pegmatitos; Bii- rochas metassedimentares de baixo a médio grau (fácies anfibolito); Ci- rochas metamórficas máficas, como anfibolitos e gnaisses básicos; Cii- rochas metamórficas ultramáficas, piroxenitos e peridotitos; D -rochas metacarbonáticas e calcissilicáticas que sofreram metamorfismo regional ou de contato (escarnito). B) Diagrama de Costa & Remus (2016). E: pegmatitos, aplitos graníticos e gonditos.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores Reiner Neumann, Ciro Ávila e Matheus Machado pela oportunidade e paciência, mas também por todo o conhecimento transmitido. Ao CETEM e à equipe do laboratório SCT por todo suporte durante a elaboração da pesquisa. Agradeço também ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e incentivo financeiro para a pesquisa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, J.C. 2019. Manganese in Brazil: Discovery, extraction, consumption and marketing from a historical perspective. *Química Nova*, 42(10): 1172-1183
- 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 - Serie Científica*, 16(2): 83-100.
- GREW, E.S.; LOCKOCK, A.J.; MILLS, S.J.; GALUSKINA, I.O.; GALUSKIN, E.V. & GALENIUS, U. 2013. Nomenclature of the garnet supergroup. *American Mineralogist*, 98(4): 785-810.
- 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.