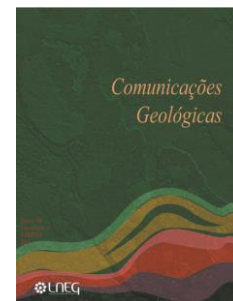


Ocorrência de óxidos de Nb/Ta em pegmatitos graníticos encaixados em granito-gnaisses em Bom Despacho (Minas Gerais-Brasil)

Occurrence of Nb/ Ta oxides in granitic pegmatites confined in granite-gneisses from Bom Despacho (Minas Gerais-Brazil).



A. O. Chaves¹, F. Naghetini^{1*}, G. Ascenção Silveira¹

Recebido em 27/12/2019/ Aceite em 12/05/2020

Publicado online em maio de 2020

© 2019 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP

Artigo original
Original article

Resumo: Óxidos de nióbio (Nb) e tântalo (Ta) ocorrem como acessórios em pegmatitos graníticos associados a elementos como Y, terras-raras, Fe, U e Th e, portanto, apresentam-se frequentemente metamictizados. O óxido de Nb/Ta estudado manifesta-se como um mineral acessório de um pegmatito encaixado em granito-gnaisses no interior do Cráton do São Francisco Meridional, na região de Bom Despacho (MG). Com intuito de caracterizar a fase mineral em questão, foram levantados dados petrográficos, microanálises qualitativas e imagem de elétrons retroespalhados. Entretanto, em função da dificuldade de sua caracterização imposta pelo elevado grau de metamictização e heterogeneidade composicional, sugere-se que este mineral pertença aos grupos da Aeschynita (AB_2O_6), do Policrácio-Euxenita (AB_2O_6) ou da Samarskita (ABO_4), com seu sítio A ocupado por (Ca-Y-Fe-Pb-U-Th-ETR) e o sítio B por (Nb-Ta-Ti).

Palavras-chave: Pegmatito granítico, Cráton do São Francisco, óxidos de Nb/Ta, metamictização, química mineral.

Abstract: Nb and Ta oxides occur as accessories in granitic pegmatites associated to Y, rare earth elements (REE), Fe, U and Th and, thus, it is usually metamictized. The Nb/Ta oxide studied occurs as an accessory mineral in a pegmatite confined in granite-gneisses of southern São Francisco craton, in Bom Despacho region (MG). Since the main objective is characterize the mineral phase in question, petrographic data, qualitative microanalyses and backscattered electron images have been obtained. However, due to its high metamictization grade and compositional heterogeneity, it is suggested that this mineral could be a member of Aeschynite group (AB_2O_6), Polycrase-Euxenite group (AB_2O_6) or Samarskite group (ABO_4), with the A-site occupied by (Ca-Y-Fe-Pb-U-Th-REE) and the B-site occupied by (Nb-Ta-Ti).

Keywords: Granitic pegmatite, São Francisco Craton, Nb/Ta oxides, metamictization, mineral chemistry.

¹Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais (CPMTC-IGC-UFGM), Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte – MG, CEP 31270-901, Brasil.

Autor correspondente / Corresponding author: franconaghetini@gmail.com

1. Introdução

Pegmatitos são rochas ígneas ou metassomáticas de granulação extremamente grossa (textura pegmatoide) que apresentam composições variadas (*i.e.* diorítica, gabrótica e granítica) sendo os graníticos aqueles mais frequentes. A gênese de pegmatitos está relacionada à presença de voláteis, como água e dióxido de

carbono, responsáveis por dificultar a nucleação dos minerais e aumentar a fluidez do magma. Nesse sentido, as trocas catiônicas e o crescimento de cristais de granulação grossa são favorecidos. Ademais, os voláteis são cruciais do ponto de vista geoquímico, dada sua afinidade com elementos incompatíveis, como Be, Li, U, Th, elementos terras-raras (ETR), Nb e Ta, de interesse econômico (Freitas, 2014; Gill, 2010).

A classificação atual e mais difundida para pegmatitos graníticos baseia-se nas condições de pressão e temperatura (P-T) de suas encaixantes, sendo, então, agrupados em cinco classes geológicas. A Classe Abissal (AB) abrange condições P-T de final de fácies anfíbolito e granulito (~4 a 9 kbar e ~700 a 800 °C), e apresenta como elementos menores típicos ETR, Y, Nb, Zr, U, Ti, Th, B e Be. Além disso, pegmatitos desta classe correspondem comumente a produtos de fusão parcial da encaixante. A Classe Muscovita (MS) é típica de fácies anfíbolito de média a alta P (5 a 8 kbar e ~580 a 650 °C), sendo diagnóstica a ausência de ETR. A Classe Muscovita-Elementos Raros (MSREL) enquadra-se no fácies anfíbolito de moderada a alta P (3 a 7 kbar e ~520 a 650 °C), com uma química similar à Classe Abissal, salvo o maior conteúdo em Li e Ta e ausência de Zr. Já a Classe Elementos Raros (REL) mostra um amplo intervalo de P-T, cujos elementos menores são Li, Rb, Cs, Be, Ga, Sn, Hf, Nb, Ta, B, P, F, Y, U, Th e ETR. Por fim, a Classe Miarolítica (MI) compreende ambientes metamórficos de fácies xisto-verde a anfíbolito de baixa pressão (1,5 a 3 kbar e 400 a 500 °C), com conteúdo em elementos menores semelhante à Classe MSREL, exceto pela presença de B e F. Adicionalmente, pegmatitos desta classe apresentam cavidades miarolíticas (Černý e Ercit, 2005).

Óxidos de Nb-Ta-(Ti) ocorrem, comumente, como acessórios em pegmatitos graníticos associados a elementos como Y, ETR, Fe, U e Th. Essas fases minerais apresentam-se frequentemente metamictizadas devido à sua complexa composição química, como proposto por Graham e Thornber (1974). A modificação da estrutura cristalina causada pela metamictização impõe dificuldades à correta caracterização mineralógica destes óxidos por técnicas como a difração de raios-x. Os óxidos contendo (Y-ETR-U-Th)-(Nb-Ta-Ti) normalmente se cristalizam nos grupos da Aeschynita (AB_2O_6), do Policrácio-Euxenita (AB_2O_6), da Samarskita (ABO_4), e, eventualmente, do Pirocloro (Capitani *et al.*, 2016).

O objetivo deste trabalho é apresentar dados qualitativos de química mineral e discutir a ocorrência do óxido de Nb/Ta em pegmatito granítico encaixado em granito-gnaisses localizados no Complexo Divinópolis, na região de Bom Despacho, Minas Gerais.

2. Contexto geológico e localização dos pegmatitos

A área de estudo está situada na porção central do Cráton do São Francisco Meridional (CSFM), especificamente no Complexo

Divinópolis, a aproximadamente 130 km a oeste de Belo Horizonte (BH), no município de Bom Despacho (BD). O CSFM engloba terrenos granito-gnáissico-migmatíticos e greenstone belts arqueanos, sobrepostos por rochas metassedimentares clástico-químicas paleoproterozoicas do Supergrupo Minas e coberturas sedimentares pelito-carbonáticas neoproterozoicas do Grupo Bambuí. O CSFM é balizado por faixas móveis arquitetadas durante o Neoproterozoico, sendo a leste delimitado pela Faixa Araçuaí, a oeste pela Faixa Brasília e a sul pela Faixa Ribeira (Fig. 1) (Alkimi e Teixeira, 2017).



Figura 1. Geologia simplificada do setor meridional do Cráton do São Francisco, com a localização dos pegmatitos estudados. BH – Belo Horizonte, BD – Bom Despacho (modificado de Alkimi e Teixeira, 2017; Chaves *et al.*, 2015).

Figure 1. Simplified geology of the southern sector of the São Francisco Craton, with location of the studied pegmatites. BH - Belo Horizonte, BD - Bom Despacho (adapted from Alkimi and Teixeira, 2017; Chaves *et al.*, 2015).

O CSFM é composto majoritariamente por gnaisses e migmatitos de composição TTG (tonalito-trondhjemitogranodiorito), cortados por injeções de granitoides cálcio-alcalinos sintectônicos à orogenia neoarqueana Rio das Velhas. Ademais, ocorrem intrusões de granitoides pós-tectônicos neoarqueanos e de rochas máficas e máfico-ultramáficas (Noce *et al.*, 1998; Teixeira *et al.*, 2000). Os principais complexos metamórficos arqueanos são denominados Belo Horizonte, Bonfim, Campo Belo e Divinópolis (Campello, 2014). Os pegmatitos portadores de óxidos de Nb e Ta, aqui investigados, ocorrem em uma pedreira desativada (Fig. 2A) e encaixam-se de modo verticalizado em granito-gnaisses do Complexo Divinópolis (Fig. 2C), nas adjacências de Bom Despacho (MG).

Grande parte das rochas arqueanas do CSFM foi gerada ou experimentou condições metamórficas de fácies anfibolito e granulito (Fernandes e Carneiro, 2000). Diques de diabásio e de anfibolito de diversas gerações cortam todo e conjunto do CSFM (Chaves, 2013).

Em termos regionais, no extremo da borda SE do CSFM, há ainda o Cinturão Mineiro (Fig. 1), de direção principal SW-NE, que, por sua vez, marca eventos acrescionários paleoproterozoicos. Este cinturão vergente para NW registra o estágio inicial de um arco de ilhas intraoceânico, de idade sideriana, acrescido a uma margem continental do tipo andina. Nesta etapa, um arco magmático, com plútons de 2,2 Ga, foi edificado e sucedido pela colisão continental riaciana

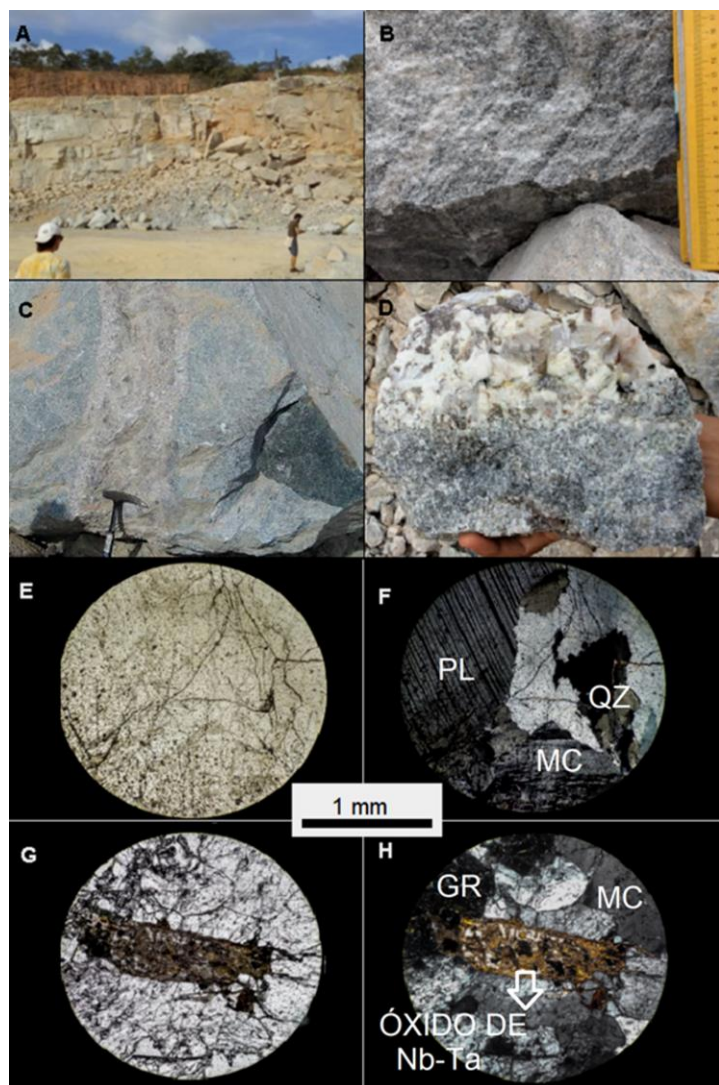


Figura 2. Aspectos gerais do pegmatito granítico encaixado em granito-gnaíse do Complexo de Divinópolis. A) pedreira desativada de granito-gnaíse em Bom Despacho, MG; B) detalhe da discreta foliação metamórfica do granito-gnaíse encaixante; C) pegmatito granítico verticalizado encaixado em granito-gnaíse; D) detalhe dos avolumados cristais de quartzo e feldspatos do pegmatito em contato com a encaixante; E) fotomicrografia do pegmatito granítico, sob polarizadores descruzados; F) fotomicrografia do pegmatito granítico, sob polarizadores cruzados; G) fotomicrografia do óxido de Nb/Ta, sob polarizadores descruzados; H) fotomicrografia do óxido de Nb/Ta, sob polarizadores cruzados. PL – plagioclásio, MC – microclina, QZ – quartzo, Gr – granada.

Figure 2. General aspects of the granitic pegmatite crosscutting the granite-gneiss of the Divinópolis Complex. A) deactivated granite-gneiss quarry in Bom Despacho, MG; B) detail of the discrete metamorphic foliation of the country rock - granite-gneiss; C) vertical granitic pegmatite confined in gneiss granite; D) detail of the quartz and feldspar crystals of the pegmatite in contact with a country rock; E) photomicrography of the granitic pegmatite, under described polarizers; F) photomicrography of the granitic pegmatite, under crossed polarizers; G) photomicrograph of the Nb / Ta oxide, under described polarizers; H) photomicrograph of Nb / Ta oxide, under crossed polarizers. PL – plagioclase, MC – microcline, QZ – quartz, Gr – garnet.

(Orogenia Minas) (Fig. 1). Dessa maneira, durante o Orosiriano, o colapso do orógeno resultou na ascensão de estruturas dômicas e no conseqüente desenvolvimento de sinformes, além de injeções tardi-orogênicas de granitóides (Ávila *et al.*, 2010; Noce *et al.*, 2000; Alkmim, 2004; Alkmim e Teixeira, 2017).

3. Materiais e métodos

As análises petrográficas do pegmatito granítico foram realizadas nos laboratórios do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (CPMTC-IGC-UFMG). A imagem de elétrons retroespalhados e as composições químicas qualitativas de diferentes fases do cristal de óxido de Nb/Ta selecionado na lâmina polida foram obtidas no Centro de Microscopia da UFMG (CM/UFMG), em microsonda eletrônica JEOL, modelo JXA-8900, por meio de espectrometria de energia dispersiva (EDS).

4. Resultados e discussão

4.1. Petrografia e classificação do pegmatito

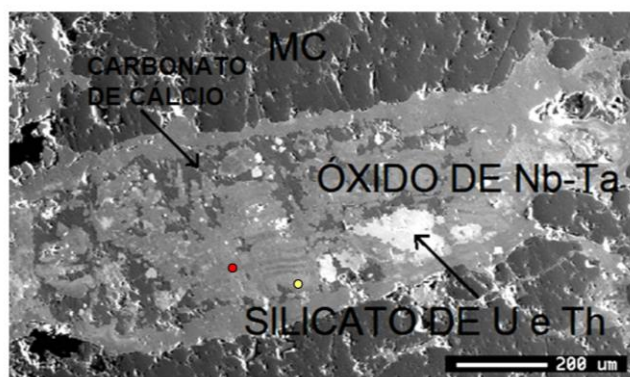
A rocha investigada é leucocrática, granulação muito grossa e textura pegmatítica preservada, com mineralogia essencial, à

vista desarmada, composta por quartzo, plagioclásio, microclina e granada (Figs. 2B, C e D). Apesar da difícil representatividade da seção delgada posta pela granulação pegmatoide, em termos modais semiquantitativos, microscopicamente seu conteúdo mineralógico médio é de 25% de quartzo com extinção ondulante; 35% de plagioclásio com maclas polissintéticas levemente arqueadas e 35% de microclina, muitas vezes pertítica. Como minerais acessórios, nota-se granada, clorita e óxido de Nb/Ta, este último de coloração marrom (Figs. 2E, F, G e H).

A disposição verticalizada do pegmatito em relação à sua encaixante granito-gnáissica levam a crer que ele possa ser da Classe AB, um produto de fusão parcial da rocha encaixante. Tal fusão parcial poderia ter sido causada por descompressão em regime pós-colisional, associado ao evento extensional neoarqueano Mamona (Albert *et al.*, 2016) ou ao evento paleoproterozoico (Orosiriano) descrito no interior do CSFM por Chaves *et al.* (2015). Outra possibilidade aponta para ideia do pegmatito pertencer à Classe REL, dada presença de ETR, porém não necessariamente como produto de diferenciação magmática. Para mais, tendo em vista o fato de não apresentar aspecto miarolítico e pela ausência de muscovita, o pegmatito não pode pertencer às classes MI e MS/MSREL, respectivamente.

4.2. Microanálises químicas

Na imagem de elétrons retroespalhados (Fig. 3), o óxido de Nb/Ta investigado apresenta-se subédrico e internamente heterogêneo, com pelo menos duas fases de tonalidades distintas em cinza (*i.e.* fases cinza claro e cinza escuro). A estrutura cristalina em seu interior está parcialmente metamictizada, com porções substituídas por carbonato de cálcio. Há ainda inclusões de silicatos de U e Th em cor branca (Fig. 3), cujas análises EDS não estão apresentadas neste trabalho.



Legenda

- Spot fase cinza claro
- Spot fase cinza escuro
- Fase cinza claro
- Fase cinza escuro

Figura 3. Imagem de elétrons retroespalhados do óxido de Nb-Ta investigado. Os círculos vermelho e amarelo correspondem aos spots realizados nas fases cinza escuro e cinza claro, respectivamente. MC – microclina.

Figure 3. Backscattered electron image of the investigated Nb-Ta oxide. The red and yellow circles correspond to the spots made in the dark gray and light gray phases, respectively. MC – microcline.

Foram obtidos dois espectros EDS (Fig. 4) referentes às diferentes porções (tons de cinza) do mineral investigado, ambas portadoras de oxigênio, elemento que indica a classificação do mineral como óxido. A fase cinza claro (Fig. 4A) mostra-se mais rica em Ta do que Nb, contendo ainda Y, Th, U, Ca, Ti, Fe e Pb (este último possivelmente radiogênico, oriundo do decaimento do Th e U). A fase cinza escuro predomina (Fig. 4B), mostra-se mais rica em Nb do que Ta e contém Ca, Fe, U, Pb e ETR pesados (*i.e.* Dy, Er e Yb). Esta fase mostra-se empobrecida em Th e Ti e enriquecida em Y em relação à fase cinza claro.

Dada a escassez e diminuto tamanho deste mineral no pegmatito investigado, sua caracterização pela técnica tradicional de difração de raios-x é praticamente impossibilitada. Mesmo o uso de técnicas pontuais de caracterização da cristalografia como EBSD (electron backscatter diffraction) não seria de simples aplicação, tendo em vista o elevado grau de metamictização do mineral investigado e sua heterogeneidade composicional interna.

5. Conclusão

Em função da dificuldade de caracterização do óxido investigado imposta pelo seu elevado grau de metamictização e heterogeneidade composicional, sugere-se que o mesmo possa pertencer aos grupos da Aeschynita (AB_2O_6), do Policrácio-Euxenita (AB_2O_6) ou da Samarskita (ABO_4), com seu sítio A ocupado por (Ca-Y-Fe-Pb-U-Th-ETR pesados) e o sítio B por (Nb-Ta-Ti). Estes grupos de minerais são tipicamente

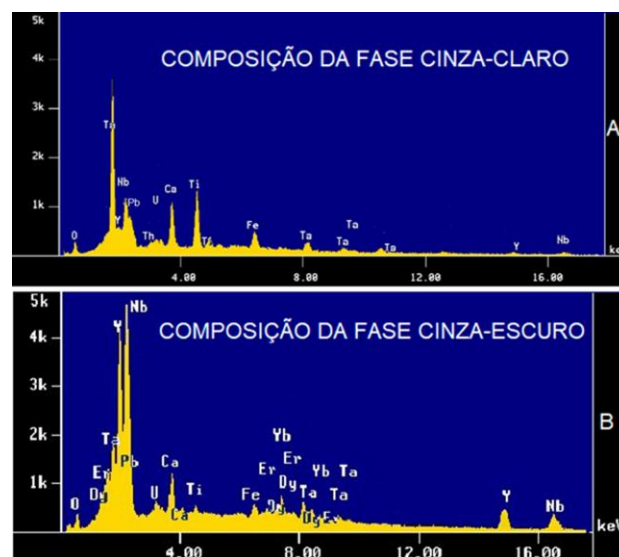


Figura 4. Espectros EDS das diferentes fases presentes no óxido de Nb/Ta. A) espectro EDS correspondente à fase cinza-claro; B) espectro EDS correspondente à fase cinza-escuro.

Figure 4. EDS spectra of the different phases present in the Nb / Ta oxide. A) EDS spectrum corresponding to the light gray phase; B) EDS spectrum corresponding to the dark gray phase.

encontrados em pegmatitos graníticos (Raslan, 2015; Anthony *et al.*, 2001). O pegmatito estudado é possivelmente da classe AB ou da classe REL, não necessariamente um produto de diferenciação magmática, mas aparentemente produto de fusão parcial da encaixante granito-gnáissica em regime pós-colisional do interior do cráton São Francisco Meridional.

Agradecimentos

Ao Centro de Microscopia da Universidade Federal de Minas Gerais (CM-UFMG). Ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida ao primeiro autor.

Referências

- Albert, C., Farina, F., Lana, C., Stevens, G., Storey, C., Gerdes, A., Dopico, C.M., 2016. Archean crustal evolution in the Southern São Francisco craton, Brazil: Constraints from U-Pb, Lu-Hf and O isotope analyses. *Lithos*, **266-267**: 64-86.
- Alkmim, F. F., 2004. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Dal Ré Carneiro, C., Brito-Neves, B. B. (Org.), *Geologia do Continente Sul-Americano. Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, Becca, São Paulo, 17-35.
- Alkmim, F. F., Teixeira, W., 2017. The Paleoproterozoic Mineiro Belt and the Quadrilátero Ferrífero. In: Heilbron, M., Cordani, U. G., Alkmim, F. F. (Eds.), *São Francisco Craton, Eastern Brazil. Regional Geology Reviews*, Springer, 71-94.
- Anthony, J. W., Bideaux, R. A., Bladh, K. W., Nichauls, M. C., 2001. *Handbook of Mineralogy*. Mineralogical Society of America, USA. Meio eletrônico em <http://www.handbookofmineralogy.org/>.
- Ávila, C. A., Teixeira, W., Cordani, U. G., Moura, C. A. V., Pereira, R. M., 2010. Rhyacian (2.23–2.20 Ga) juvenile accretion in the southern São Francisco Craton, Brazil: Geochemical and isotopic evidence from the Serrinha magmatic suite, Mineiro belt. *Journal of South American Earth Sciences*, **29**: 464-482.
- Campello, M. S., Vaz, B. B., Oliveira, M. A. S., Ávila, M. A. B., 2014. *Relatório e mapa geológico 1:100.000 da Folha Formiga SF.23-V-B-*

- III. Projeto Fronteiras de Minas, CODEMIG/UFMG, Minas Gerais, 62.
- Capitani, G. C., Mugnaioli, E., Guastoni, A., 2016. What is the actual structure of samarskite-(Y)? A TEM investigation of metamict samarskite from the Garnet Codera dike pegmatite (Central Italian Alps). *American Mineralogist*, **101**(7): 1679-1690.
- Černý, P., Ercit, T. S., 2005. The classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian Mineralogist*, **43**(6): 2005-2026.
- Chaves, A. O., 2013. Enxames de diques máficos de Minas Gerais – o estado da arte. *Geonomos*, **21**(1): 29-33.
- Chaves, A. O., Campello, M. S., Pedrosa Soares, A. C., 2015. Idade U-Th-PbT de monazitas do sillimanita-granada-biotita gnaiss de Itapeçerica (MG) e a atuação da orogenia riaciano-orosiriana no interior do Cráton do São Francisco Meridional. *Geociências*, **34**: 324–334.
- Fernandes, R. A., Carneiro, M. A., 2000. O Complexo Metamórfico Campo Belo (Cráton São Francisco Meridional): unidades litodêmicas e evolução tectônica. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(4): 671–678.
- Freitas, J. M. S., 2014. *Fluidos hidrotermais em pegmatitos graníticos*. Dissertação de mestrado, Universidade do Porto, 96.
- Gill, R., 2010. *Igneous rocks and processes: a practical guide*. London, John Wiley & Sons, 427.
- Graham, J., Thornber, M. R., 1974. The crystal chemistry of complex niobium and tantalum oxides IV. The metamict state. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, **59**(9-10): 1047-1050.
- Noce, C. M., Machado, N., Teixeira, W., 1998. U-Pb Geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (Southern São Francisco Craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**: 95–102.
- Noce, C. M., Teixeira, W., Quéméneur, J. J. G., Martins, V. T. S., Bolzachini, E., 2000. Isotope signatures of Paleoproterozoic granitoids from the southern São Francisco Craton and implications for the evolution of the Transamazonian Orogeny. *Journal of South American Earth Sciences*, **13**: 225-239.
- Raslan, M. F., 2015. Occurrence of Samarskite-Y in the Mineralized Umm Lassifa Pegmatite, Central Eastern Desert, Egypt. *Geologija*, **58**(2): 213-220.
- Teixeira, W., Sabaté, P., Barbosa, J., Noce, C. M., Carneiro M. A., 2000. Archean and Paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, Rio de Janeiro, 101–137.