

**PETROLOGIA E METALOGENIA DO MACIÇO PALANQUETA, MINA DE ESTANHO BOM FUTURO, RONDÔNIA, BRASIL: I - GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA**

*PETROLOGY AND METALLOGENY OF THE PALANQUETA MASSIF, BOM FUTURO TIN MINE, RONDÔNIA, BRAZIL: I – GEOLOGY, PETROGRAPHY, AND GEOCHRONOLOGY*

**Matheus Ramos CIOTTA<sup>1</sup>, Washington Barbosa LEITE JUNIOR<sup>2</sup>, Bruno Leonelo PAYOLLA<sup>3</sup>, Marly Aparecida da SILVA<sup>4</sup>, Renato MUZZOLON<sup>5</sup>, Jorge Silva BETTENCOURT<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>MRC Serviços Geológicos – Rua Edvard de Vita Godoy, Parque Maria Domitila, 273, São Paulo (SP).

E-mail: matheus\_ciotta@hotmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Geologia - IGCE - UNESP - Universidade Estadual Paulista. Avenida 24A, 1.515, Bela Vista, Rio Claro (SP).

E-mail: w.leite@unesp.br

<sup>3</sup>Consultor independente. SHCGN 703, Bloco C, Casa 38. Asa Norte. Brasília (DF)

E-mail: blpayolla@gmail.com

<sup>4</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Unidade de Araxá. Av. Ministro Olavo Drummond, 25, Araxá (MG)

E-mail: marly.silva@unesp.br

<sup>5</sup>Grupo Avistar Engenharia. Rua Luiz França, 940, Cajuru, Curitiba (PR)

E-mail: renato@avistarengenharia.com.br

<sup>6</sup>Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo - USP. Rua do Lago, 562, Cidade Universitária, São Paulo (SP).

E-mail: jsbetten@usp.br

Introdução

Contexto geológico regional

Materiais e métodos

Geologia do Maciço Palanqueta

Breve histórico

Geologia

Petrografia das fácies graníticas

Biotita-álcali-feldspato granito equigranular

Álcali-feldspato granito porfírico I com mica de lítio e ferro e topázio

Álcali-feldspato granito porfírico II com mica de lítio e ferro e topázio

Álcali-feldspato granito miarolítico com mica de lítio e ferro e topázio

Geocronologia

Discussão dos resultados

Conclusões

Agradecimentos

Referências

**RESUMO** - O maciço Palanqueta ocorre nos domínios da Suíte Intrusiva Rondônia (1026-974 Ma) na Província Estanífera de Rondônia (SW do Cráton Amazônico). O maciço representa um plúton multifásico intrudido em nível elevado da crosta continental. Mapeamento geológico na escala 1:2.000 definiu cinco unidades graníticas, as quais são representadas por um biotita-álcali-feldspato granito equigranular (ca. 1026 Ma) e quatro álcali-feldspato granitos com mica de lítio e ferro e topázio (ca. 1000 Ma) diferenciados por aspectos texturais (inequigranular, porfírica I, porfírica II e miarolítica). Os álcali-feldspato granitos com mica de lítio e ferro e topázio apresentam características texturais e mineralógicas semelhantes aos granitos peraluminosos associados com depósito de metais raros. Corpos de greisens (*pipes* e veios) mineralizados em metais raros (Sn e W) e básicos (Cu, Pb e Zn) estão associados principalmente com a fácies porfírica II.

**Palavras-chave:** Granito rapakivi. Granito com topázio. Depósito de metais raros. Província Estanífera de Rondônia. Brasil.

**ABSTRACT** - The Palanqueta massif occurs in the Rondônia Intrusive Suite (1026-974 Ma) domain in the Rondônia tin province (SW Amazonian Craton). The massif represents a multiphase pluton intruded in a high crustal level. Geologic mapping on 1:2000 scale defined five granitic units, that are represented by one equigranular biotite-alkali-feldspar granite (ca. 1026 Ma) and four Li-Fe mica and topaz-bearing alkali-feldspar granites (ca. 1000 Ma), which are distinguished by textural aspects (inequigranular, porphyritic I, porphyritic II and miarolitic). The Li-Fe mica and topaz-bearing granites show textural and mineralogical characteristics of peraluminous rare-metal granites. Mineralized greisen bodies (*pipes* and veins) in rare metals (Sn and W) and base metal (Cu, Pb and Zn) are mainly associated with porphyritic II facies.

**Keywords:** Rapakivi granite. Topaz-bearing granite. Rare-metal deposit. Rondônia Tin Province. Brazil.

## INTRODUÇÃO

Granitos associados com depósitos de metais raros (Sn, W, Ta, Nb, Zr, Li, Be, Cs e ETR) são, no geral, caracterizados por conteúdos relativamente altos nesses metais, assim como em F, B, Na, K, Rb, U, Th e são denominados de granitos metalogeneticamente especializados ou granitos

com metais raros (Tischendorf, 1977; Pollard, 1995; Cerný et al., 2005). Segundo Pollard (1989), três variedades principais de granitos são reconhecidas em várias províncias de metais raros no mundo: álcali granito, biotita e/ou muscovita granito e mica litinífera ( $\pm$  topázio) granito. Algumas dessas variedades ocorrem nas principais províncias estaníferas do Brasil (Lenharo et al., 2003; Bettencourt et al., 2005a; Teixeira et al., 2005; Moura et al., 2014).

A mina de estanho Bom Futuro situa-se na Província Estanífera de Rondônia na porção centro-norte do estado e já produziu oficialmente mais de 200.000 toneladas de estanho desde a sua descoberta em 1987 (Muzzolon, 2019). A cassiterita (mineral de minério de estanho) tem sido extraída de pegmatitos e veios de quartzo no morro Bom Futuro (ao sul) e corpos de greisen no morro Palanqueta (ao norte) e, principalmente

dos pláceres coluvionares e aluvionares nas áreas aplainadas adjacentes a esses morros. Nos últimos anos, a produção média anual foi de aproximadamente 1.200 toneladas de estanho.

Biotita granito, granitos e riólitos com mica de lítio e ferro e topázio, e pegmatitos são as rochas graníticas que afloram na mina. O conhecimento sobre os aspectos petrológicos e metalogenéticos dessas rochas ainda é escasso e encontra-se em desacordo com a importância econômica das jazidas estaníferas associadas. Os resultados dos estudos realizados nos granitos do maciço Palanqueta serão tratados em duas partes. Nesta primeira, serão apresentados e discutidos os aspectos geológicos, petrográficos e geocronológicos, enquanto na segunda serão abordados também os resultados de litogeoquímica, química mineral e de geoquímica isotópica.

## CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Estanífera de Rondônia - PER (Isotta et al., 1978) com cerca de 87.000 km<sup>2</sup> envolve porções dos estados de Rondônia, Mato Grosso e Amazonas e situa-se na região norte da borda sudoeste do Cráton Amazônico (Figura 1). A PER inclui rochas pré-cambrianas de idades estaterianas a tonianas que são correlacionadas às províncias geocronológicas Rio Negro-Juruena (1,80-1,55 Ga), Rondoniana-San Ignacio (1,56-1,30 Ga) e Sunsás-Aguapeí (1,20-0,95 Ga) (Tassinari & Macambira, 2004; Bettencourt et al., 2010; Teixeira et al., 2010). Sequências sedimentares cenozoicas cobrem discordantemente as rochas pré-cambrianas (Quadros & Rizzotto, 2007; Buch et al., 2019).

As rochas estaterianas são correlacionadas à Província Rio Negro-Juruena (1,80-1,55 Ga) e são atribuídas ao arco magmático Jamari (1,79 a 1,67 Ga), o qual inclui o Complexo Jamari (ortognaisses: 1,79-1,73 Ga), a Formação Mutum-Paraná (rochas metavulcanossedimentares: ca. 1,75 Ga) e a Suíte Metamórfica ou Complexo Quatro Cachoeiras (paragnaisses: 1,67-1,54 Ga) (Payolla et al., 2002; Payolla et al., 2003; Quadros & Rizzotto, 2007; Quadros et al., 2011; Scandolara et al., 2017). Granitos tipo-A e rochas associadas calimianas (1,60-1,50 Ma) compõem as suítes intrusivas Serra da Providência (1,60-1,53 Ga) e Rio Crespo (ca. 1,50 Ga) (Bettencourt et al., 1999; 2006; Scandolara et al., 2013; Costa et al., 2016), as quais foram formadas em ambientes tectônicos

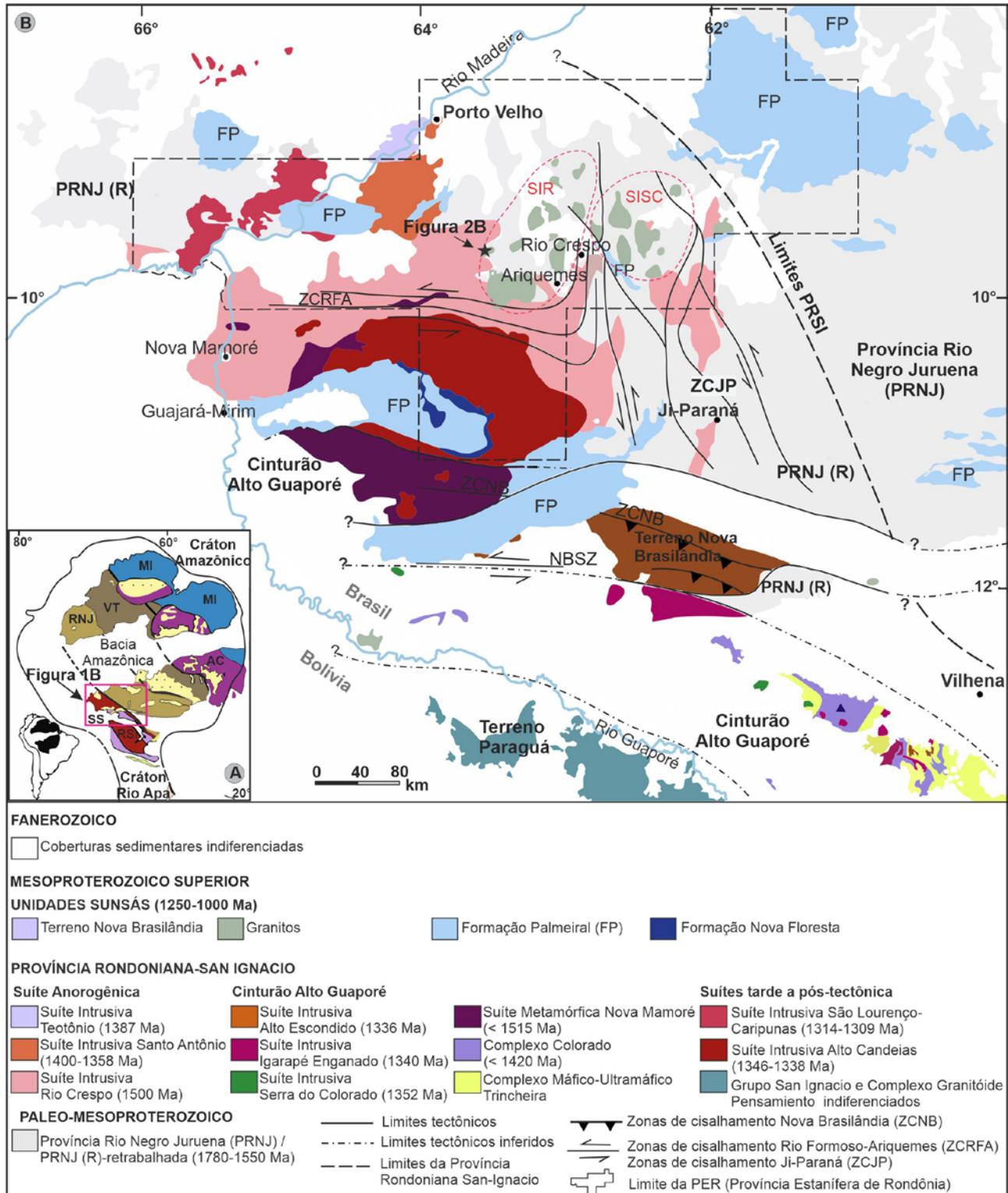
ainda controverso (Tassinari, 1996; Geraldés et al., 2004; Bettencourt et al., 1999, 2010; Scandolara et al., 2017).

No Ectasiano são incluídas quatro suítes intrusivas de granitos tipo-A, Teotônio (1,38-1,37 Ga), Santo Antônio (ca. 1,37 Ga), Alto Candeias (1,35-1,33 Ga) e São Lourenço-Caripunas (1,32-1,30 Ga) e rochas metassedimentares (1,55-1,34 Ga) do Complexo Nova Mamoré e da Formação Igarapé Lourdes (Bettencourt et al., 1999; Quadros & Rizzotto, 2007; Costa et al., 2014; Leite Júnior et al., 2014; Bettencourt et al., 2018; Silva et al., 2022; Trivelli et al., 2023), as quais são correlacionadas ao desenvolvimento da Província Rondoniana-San Ignacio (1,56-1,30 Ga) (Bettencourt et al., 2010). Já nos períodos Steniano e Toniano ocorrem rochas básicas da Formação Nova Floresta (1,20 Ga), metassedimentares das formações Igarapé Quinze (1,36-1,13 Ga) e Palmeiral (< 1,03 Ga) e graníticas tipo-A das suítes intrusivas Santa Clara (1,09-1,07 Ga) e Granitos Últimos de Rondônia ou Suíte Intrusiva Rondônia (1,02-0,97 Ga) (Bettencourt et al., 1999; Tohver et al., 2002; Quadros & Rizzotto, 2007; Quadros et al., 2011; Nogueira, 2016; Debowski et al., 2019), que são correlacionadas ao desenvolvimento da Província Sunsás-Aguapeí (1,20-0,95 Ga) (Teixeira et al., 2010).

Pelo menos três eventos tectono-metamórficos são reconhecidos na PER, são eles: Quatro-Cachoeiras ou Ouro Preto-Jaru (1,69-

1,65 Ga), Rondoniano-San Ignacio (1,34-1,32 Ga) e Sunsás-Aguapeí (1,20-1,15 Ga). O primeiro, aparentemente menos expressivo, é identificado em granitos, ortognaisses e gnaisses

migmatíticos do Complexo Jamari através de idades U-Pb obtidas em bordas metamórficas de cristais de zircão ígneo (Santos et al., 2003, 2008; Payolla et al., 2024).



**Figura 1** - (A) Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico segundo Tassinari & Macambira (2004); (B) mapa geológico simplificado da borda sudoeste do Cráton Amazônico (extraído e modificado de Bettencourt et al., 2010), com os limites da Província Estanífera de Rondônia e a localização da área de estudo. SIR- Suíte Intrusiva Rondônia, SISC – Suíte Intrusiva Santa Clara.

O segundo, aparentemente mais expressivo, é reconhecido também por idades U-Pb em bordas de zircão de ortognaisses do Complexo Jamari e

das suítes intrusivas Serra da Providência e Rio Crespo (Silva et al., 2002; Bettencourt et al., 2006; Santos et al., 2008), em cristais de zircão e

monazita de paragneisses correlacionados ao Complexo Nova Mamoré (Tassinari et al., 1999; Payolla et al., 2002; Bettencourt et al., 2018). Já o último evento é identificado por idades U-Pb em cristais de allanita e titanita e por idades Ar-Ar em hornblenda em milonitos relacionados a zona de cisalhamento Ji-Paraná (Tohver et al., 2005; Scandolara, 2006).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O mapeamento geológico no maciço Palanqueta foi iniciado, no final da década de noventa do século passado, com uma etapa em escala de reconhecimento, a qual foi seguida de várias etapas em escala de detalhe (1:2.000) e que culminou com a descrição de cerca de 150 pontos de afloramentos de rocha (Leite Júnior et al., 2003, 2005; Oliveira, 2005; Foster, 2016).

Para as análises petrográficas microscópicas em luzes transmitidas e refletidas, foram estudadas cerca de 60 lâminas delgadas e polidas de rocha, com a utilização de microscópio petrográfico BX40F4 da marca Olympus.

Já as fotomicrografias foram produzidas por câmera fotográfica modelo DS12601 da marca Canon, acoplada em microscópio petrográfico modelo Axioskop da marca Zeiss do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Rio Claro (SP).

As composições modais foram definidas em placa polida e tingida com cobalto nitrito de sódio para a fácies granítica de grão médio e sob o microscópio petrográfico para as fácies de grãos variando de médio a fino. O número de pontos contados por amostra variou de 500 a 1000 pontos.

Para os estudos geocronológicos através do método U-Pb SHRIMP (*Sensitive High-Resolution Ion Microprobe*) em zircão, foram

As coberturas cenozoicas são representadas, pelo menos, por duas sequências sedimentares, uma mais antiga de idade pleistocênica e outra mais jovem de idade recente (Waghorn, 1974; Isotta et al., 1978; Buch et al., 2019). Pláceres estaníferos ocorrem associados a essas sequências nos vários distritos mineiros conhecidos na PER (Bettencourt et al., 1988).

selecionadas duas amostras, uma do biotita-álcali-feldspato granito equigranular (PP-96) e outra do álcali-feldspato granito porfirítico II com mica de lítio e ferro e topázio (BF-122).

Os zircões foram separados e concentrados através de técnicas comuns de britagem, peneiramento, bateamento, uso de líquido denso e de separador eletromagnético no Laboratório de Preparação de Amostra do DG-IGCE-Unesp, Câmpus de Rio Claro (SP).

Após esta fase, apenas a amostra do biotita-álcali-feldspato granito equigranular revelou as condições necessárias dos zircões (quantidade e tamanho) para as análises no GeoLab – SHRIMP do IGc-USP, em São Paulo (SP).

Neste, os zircões foram catados manualmente sob lupa binocular, montados junto com o padrão TEMORA 2 em resina epóxi, polidos e cobertos com película de ouro (2 a 3 µm).

Em seguida foram obtidas imagens dos cristais de zircão por catodoluminescência com o uso de microscópio eletrônico de varredura FEI Quanta 250 com detetor CL XMAX acoplado e para as análises isotópicas U-Th-Pb, *in situ*, foi utilizado o equipamento SHRIMP IIe/MC.

Os detalhes dos métodos de preparação, montagem e imageamento de zircões, assim como os procedimentos analíticos por SHRIMP, tratamento e apresentação dos resultados estão em Sato et al. (2014).

## GEOLOGIA DO MACIÇO PALANQUETA

### Breve histórico

As primeiras informações geológicas da mina Bom Futuro foram publicadas nos últimos anos do século passado (Villanova & Frank, 1995; Silva et al., 1995, 1997). Posteriormente, vários trabalhos foram realizados por grupos distintos de pesquisadores, com foco principalmente nas rochas félsicas e nos depósitos primários de estanho associados (Souza & Botelho, 2002; Souza, 2003; Leite Júnior et al., 2002, 2003, 2005, 2006; Dias et al., 2013; Foster, 2016).

Gnaisses e anfibolitos orto- e paraderivados são as rochas encaixantes na mina e são identificadas principalmente no morro Bom Futuro (Souza, 2003). Os protólitos sedimentares dos paragneisses se formaram no período compreendido entre 1,53 e 1,34 Ga (Bettencourt et al., 2018). Rochas intermediárias (sienitos e traquitos pórfiros) e ácidas (granitos e riólitos pórfiros com mica de lítio e ferro e topázio) sob a forma de diques ocorrem no morro Bom Futuro e estão associados com dois *pipes* brechados

(brechas polimíticas) e com lentes e veios de pegmatito e de quartzo, com idades cerca de 1000 Ma (Leite Júnior et al., 2003, 2006; Bettencourt et al., 2005b; Souza et al., 2007; Dias, 2012). Biotita granito e granitos com mica de lítio e ferro e topázio ocorrem no maciço Palanqueta e estão espacialmente associados com corpos de greisen com idade cerca de 1000 Ma (Leite Júnior et al., 2005; Souza et al., 2005; Foster, 2016; Leite Júnior et al., 2018). As rochas ígneas intermediárias e ácidas com topázio da mina Bom Futuro são incluídas, respectivamente, nas subsuítas tardias alcalina/peralcalina e subalcalina/peraluminosa da Suíte Intrusiva Granitos Últimos de Rondônia (Leite Júnior et al., 2000), a qual foi renomeada de Suíte Intrusiva Rondônia por Quadros & Rizzotto (2007).

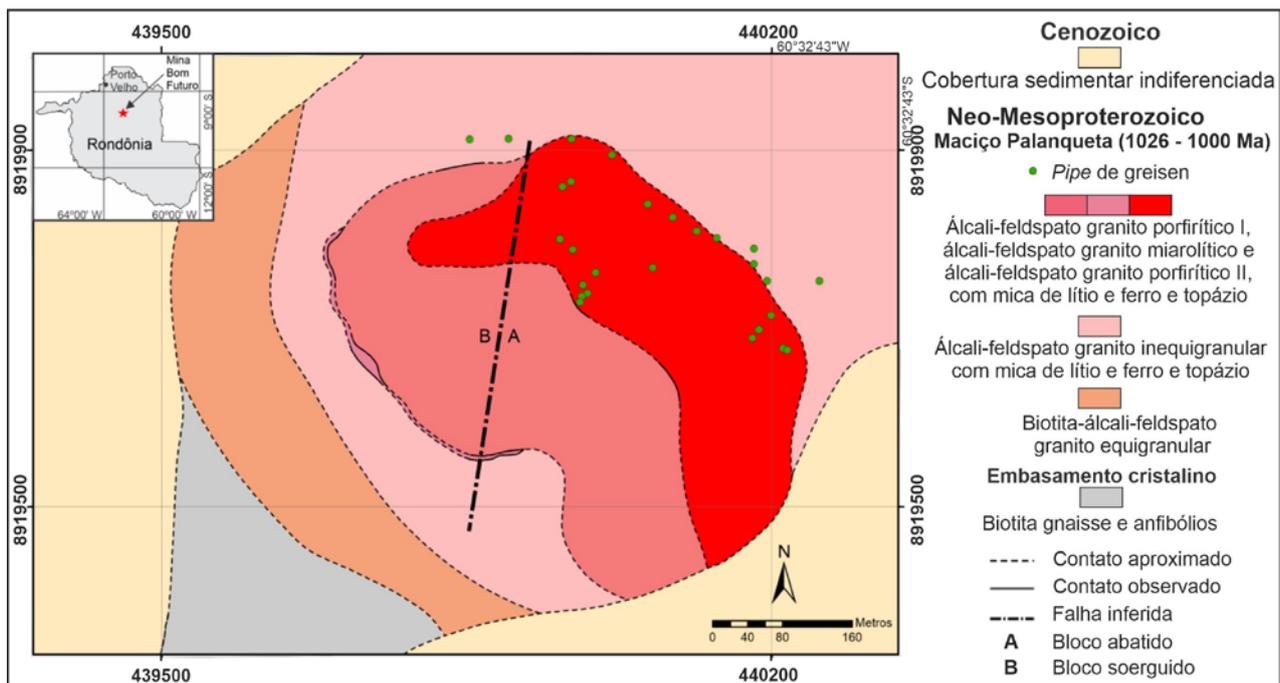
### Geologia

O morro Palanqueta tem forma aproximada de meia laranja (ca. 350 x 350 x 40 m) e é a principal expressão topográfica do maciço homônimo. O

morro e outros altos topográficos na região (e.g., morro Bom Futuro) são interpretados como prováveis *inselbergs* (Melo et al., 1978; Adamy, 2002). Já os limites do maciço ainda não foram definidos, devido principalmente as coberturas sedimentares cenozoicas com ampla ocorrência nas áreas aplainadas da região.

A área mapeada na escala 1:2.000, com cerca de 0,5 km<sup>2</sup>, compreende o morro Palanqueta e área aplainada circunvizinha (Leite Júnior et al., 2005, 2006; Foster, 2016). Nesta, as coberturas vegetais e sedimentares foram em parte removidas pelas atividades de lavra, com a exposição de rocha granítica parcialmente alterada (Figura 2).

Foram reconhecidas cinco unidades graníticas principais, uma composta por biotita-álcali-feldspato granito e as demais por álcali-feldspato granitos com mica de lítio e ferro e topázio, os quais apresentam estrutura e/ou textura distintas e contatos geológicos bruscos quando identificados.



**Figura 2** - Mapa geológico simplificado do maciço Palanqueta na região da mina Bom Futuro. Adaptado e modificado de Foster (2016).

Na porção sudoeste da área, ocorre um biotita gnaiss muito intemperizado (Figura 3A), com extensão para a região do morro Bom Futuro ao sul.

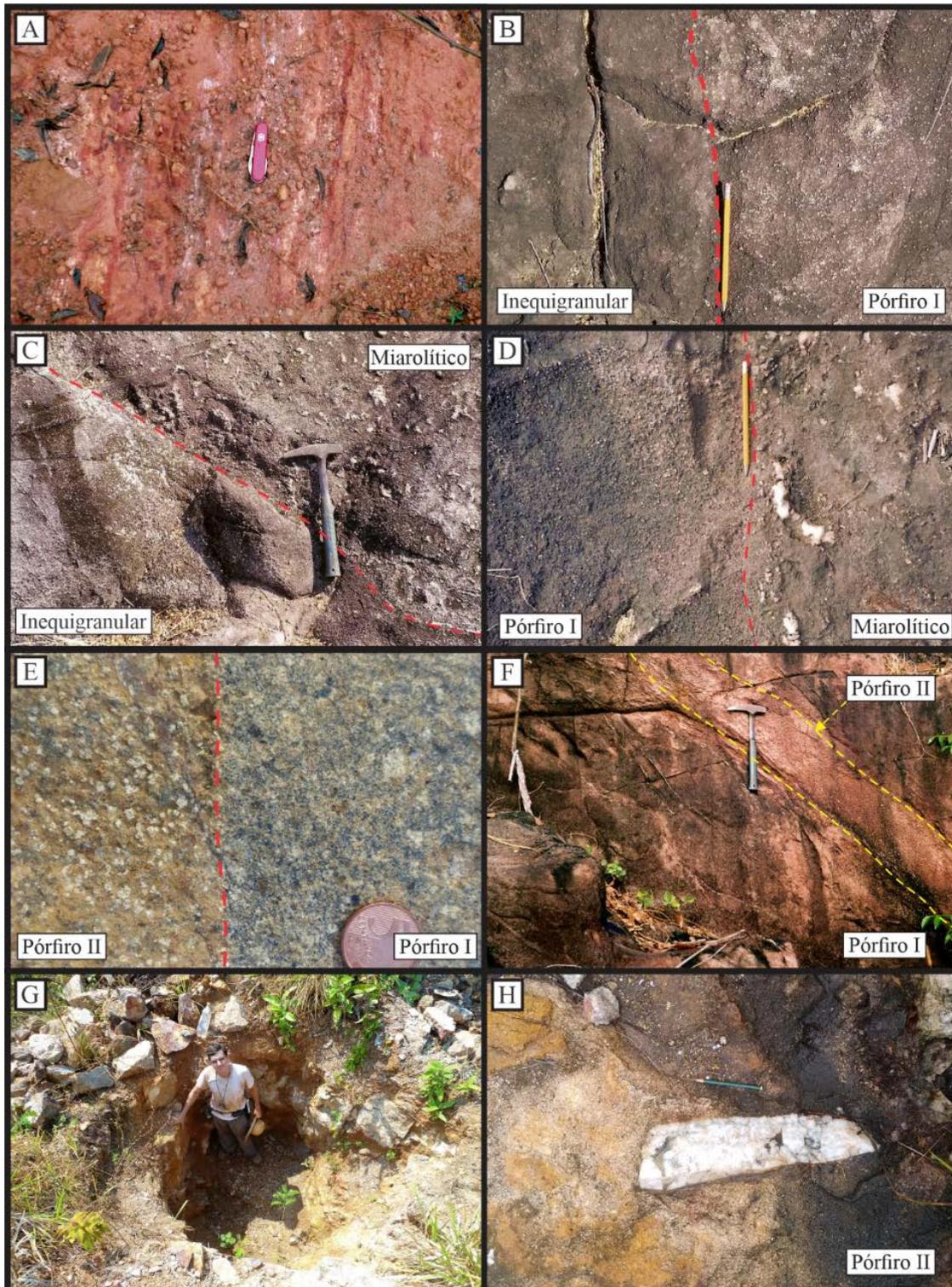
O biotita álcali-feldspato granito aflora sob a forma de raros lajedos ou como pequenos matacões dispersos na parte oeste da área mapeada. Os seus contatos não foram observados (contatos encobertos), mas são provavelmente bruscos e discordantes com o biotita gnaiss e brusco com o álcali-feldspato granito

inequigranular (seriado a porfírico) com mica de lítio e ferro e topázio. Este, por sua vez, ocorre nas áreas aplainadas circunvizinhas ao morro, principalmente ao leste e norte da área mapeada, em contato brusco com um núcleo composto por outras fácies de álcali-feldspato granito com mica de lítio e ferro e topázio (Figura 2).

Este núcleo forma uma área alongada (ca. 600 x 350 m) na direção NW-SE e inclui o próprio morro Palanqueta. As unidades constituintes são representadas por duas variedades porfíricas,

aqui denominadas de porfirítica I e II, e uma miarolítica de álcali-feldspato granitos com mica de lítio e ferro e topázio, com contatos bruscos entre si (Figuras 3B-F). A variedade miarolítica,

de menor expressão em área, ocorre, aparentemente, como uma lente (< 10 m de largura) na borda oeste deste núcleo entre os tipos inequigranular e porfirítica I.



**Figura 3** - Aspectos geológicos e petrográficos mesoscópicos do maciço Palanqueta. (A) Biotita gnaisse intemperizado; (B) contato brusco entre as fácies inequigranular e porfirítica I de álcali-feldspato granito com mica de lítio e ferro e topázio; (C) contato brusco entre as fácies inequigranular e miarolítica de álcali-feldspato granito com mica de lítio e ferro e topázio; (D) contato brusco entre as fácies porfirítica I e miarolítica de álcali-feldspato granito com mica de lítio e ferro e topázio; (E) contato brusco entre as fácies porfirítica I e porfirítica II de álcali-feldspato granito com mica de lítio e ferro e topázio; (F) dique da fácies porfirítica II na fácies porfirítica I de álcali-feldspato granito com mica de lítio e ferro e topázio; (G) cava remanescente de *pipe* de greisen parcialmente lavrado na fácies inequigranular de álcali-feldspato granito com mica de lítio e ferro e topázio; (H) fragmento tabular de quartzo leitoso na fácies porfirítica II de álcali-feldspato granito com mica de lítio e ferro e topázio.

Estruturas miarolíticas formadas, pelo menos, por feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e mica de lítio e ferro são menos frequentes, mas com dimensões maiores (até métricas) nas fácies porfiríticas I e II. Corpos de greisen sob a forma de *pipe*, com dimensões observadas de até 1,5 x 1,5 x 5,0 a 10,0 m (Figura 3G) e, mais raramente,

em veios ocorrem tanto no interior como no exocontato da fácies porfirítica II.

Nesta fácies aparecem também fragmentos tabulares de quartzo leitoso (Figura 3H), os quais são comparáveis àqueles observados nos pórfiros relacionados aos depósitos de cobre (Sillitoe, 2010).

## PETROGRAFIA DAS FÁCIES GRANÍTICAS

O biotita granito e os granitos com mica de lítio e ferro e topázio têm composição modal de álcali-feldspato granito (Tabela 1, Figura 4). As composições químicas dos plagioclásios e das micas são definidas em Ciotta (2022). Os plagioclásios têm composição da albita, com baixos teores em anortita (< 3,77% peso An), enquanto as micas coloridas mostram composição variando de siderofilita a zinnwaldita e as micas brancas, quando analisadas, de fengita a

fengita com lítio.

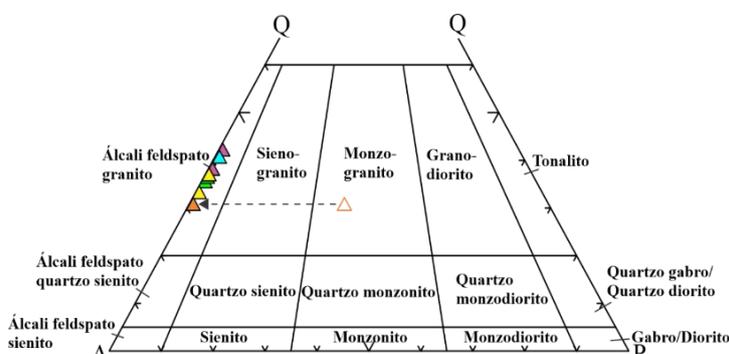
### Biotita-álcali-feldspato granito equigranular

O biotita-álcali-feldspato granito apresenta cor rosa a rosa avermelhada, estrutura maciça e textura equigranular hipidiomórfica de granulação média (< 4.0 mm). A biotita é o principal mineral máfico e ocorre normalmente em agregados de vários cristais que, às vezes, conferem à rocha um aspecto mosqueado (Figura 5A).

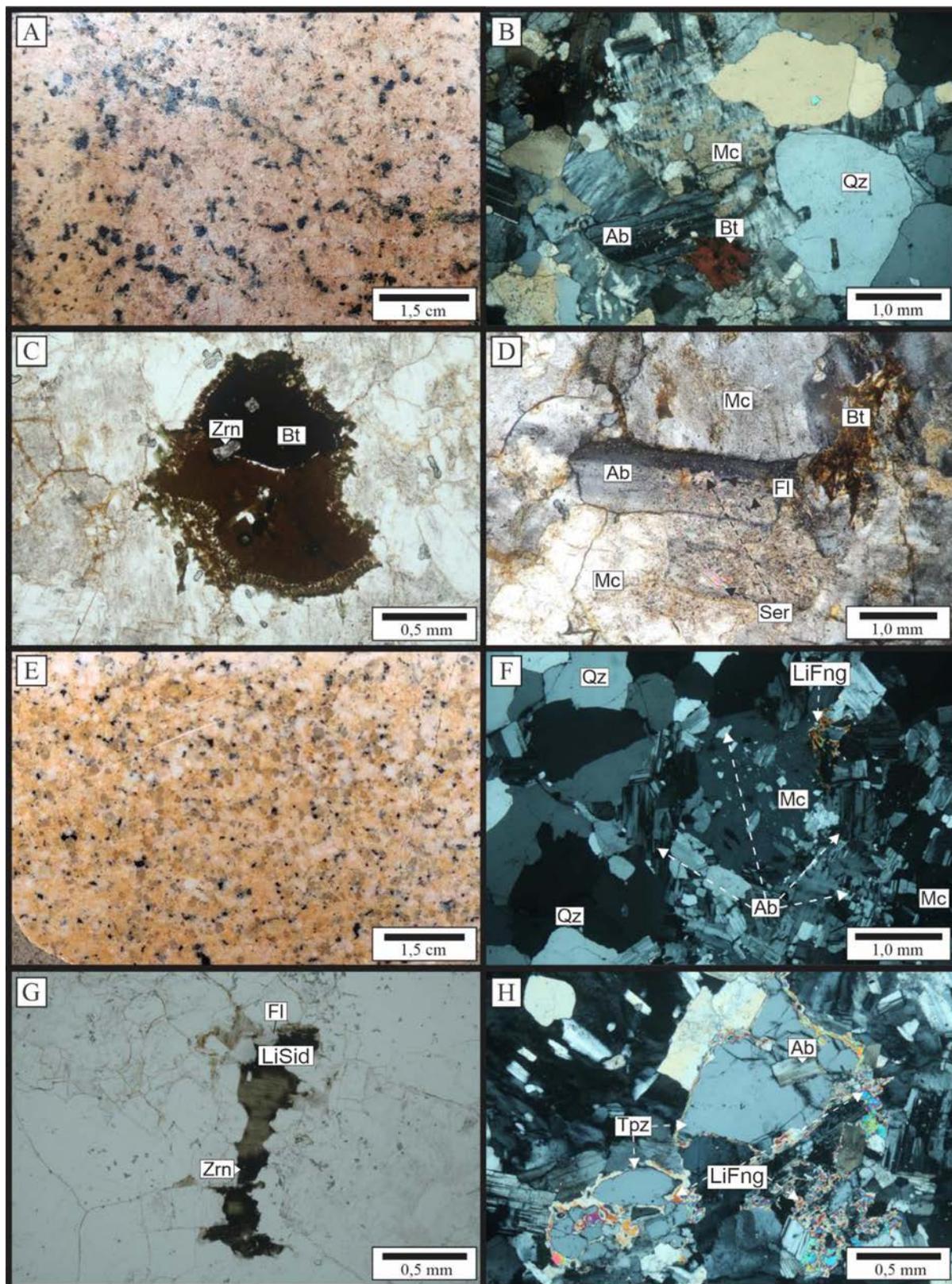
**Tabela 1** - Composição modal estimada para as fácies graníticas do maciço Palanqueta na mina Bom Futuro.

Fácies	Biotita-álcali-feldspato granito equigranular	Álcali-feldspato granito inequigranular com mica de lítio e ferro e topázio		Álcali-feldspato granito porfirítico I com mica de lítio e ferro e topázio		Álcali-feldspato granito porfirítico II com mica de lítio e ferro e topázio		Álcali-feldspato granito miarolítico com mica de lítio e ferro e topázio
		BF-43	PP-23	BF-99	BF-102	BF-98	BF-41A	
Amostra	BF-42	BF-43	PP-23	BF-99	BF-102	BF-98	BF-41A	BF-81
Mc	35	30	28	28	26	27	25	31
Ab	30	31	35	32	30	38	36	26
Qz	30	35	35	37	41	33	35	39
Bt	5	-	-	-	-	-	-	-
Mica Li-Fe	-	3	2	3	3	2	3	4
Tpz	-	1	Ac	Ac	Ac	Ac	1	Ac
Fl	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
Zrn	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
Cb-Ta	-	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
Mnz	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	-	-	Ac
Rt	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	-	-	-
Ap	Ac	-	-	-	-	-	-	-
Ilm	Ac	-	-	-	-	-	-	-

**Legenda:** Mc- microclínio, Ab- albita, Qz- quartzo, Bt- biotita, Mica Li-Fe- mica de lítio e ferro, Tpz- topázio, Fl- fluorita, Zrn- zircão, Cb-Ta- columbita-tantalita, Mnz- monazita, Rt- rutilo, Ap- apatita, Il- ilmenita. Ac- mineral acessório.



**Figura 4** - Classificação petrográfica das fácies graníticas do maciço Palanqueta na mina Bom Futuro, segundo o diagrama QAP de Streckeisen (1976). Símbolos: (▲) Biotita-álcali-feldspato granito equigranular; (▲) Álcali-feldspato granito inequigranular com mica de lítio e ferro e topázio; (▲) Álcali-feldspato granito porfirítico I com mica de lítio e ferro e topázio; (▲) Álcali-feldspato granito porfirítico II com mica de lítio e ferro e topázio; (▲) Álcali-feldspato granito miarolítico com mica de lítio e ferro e topázio.



**Figura 5** - Características petrográficas mesoscópicas e microscópicas do biotita álcali-feldspato granito equigranular (A-D) e do álcali-feldspato granito inequigranular com siderofilita com lítio e topázio (E-H). (A) cor rósea, textura equigranular e aspecto mosqueado; (B) textura hipidiomórfica de grão médio formada por microclínio pertítico, plagioclásio, quartzo e biotita; (C) agregado de cristais de biotita com quartzo vermiforme nas bordas e inclusões de zircão; (D) plagioclásio tabular com mica branca e fluorita; (E) cor rosa, hololeucocrático e textura inequigranular seriada; (F) textura hipidiomórfica inequigranular seriada, agregados de quartzo anédrico (à esquerda), albita tabular e microclínio pertítico com inclusões de ripas de albita; (G) agregado de fluorita e siderofilita com lítio e inclusão de zircão; (H) cristais anédricos de topázio com e sem inclusão de albita tabular e alterados nas bordas e fraturas para fengita com lítio. Fotomicrografias: B, D, F e H com luz transmitida e polarizadores cruzados, C e G com polarizadores paralelos. Abreviações: Mc - microclínio, Ab - albita, Qz - quartzo, Bt - biotita, Tpz - topázio, Fl - fluorita, Zrn - zircão, LiSid - siderofilita com lítio e LiFng - fengita com lítio.

É composto essencialmente por feldspato potássico (35% vol.), plagioclásio (30%), quartzo (30%) e biotita (5%). Ao microscópio, o feldspato potássico (subédrico tabular e anédrico) é o microclínio pertítico, com albita sob a forma de fios, lamelas e manchas. É moderadamente turvo, contém inclusões de plagioclásio e biotita e, por vezes, mostra sinais de substituição por albita intergranular. O plagioclásio é subédrico tabular, tem composição da albita e se apresenta parcialmente alterado para mica branca e fluorita. Alguns cristais são zonados, com núcleo turvo e borda límpida, outros mostram sinais de substituição por microclínio.

O quartzo forma cristais anédricos ovalados com golfos de corrosão e, também, cristais anédricos e intersticiais (Figura 5B). A biotita tem composição variando de siderofilita a siderofilita com lítio, apresenta cores variando do castanho ao pardo, forma cristais subédricos isolados ou em grupos e normalmente se mostra intercrescida com quartzo vermiforme nas bordas dos cristais (Figura 5C). Fluorita, zircão, apatita, monazita, ilmenita e rutilo são os minerais acessórios reconhecidos e ocorrem preferencialmente associados ou inclusos na biotita.

Já os minerais secundários, produtos de interação rocha-fluido hidrotermal, são principalmente albita lamelar e em manchas no microclínio pertítico, albita intergranular e mica branca e fluorita no plagioclásio (Figura 5D).

#### **Álcali-feldspato granito inequigranular com mica de lítio e ferro e topázio**

O álcali-feldspato granito inequigranular apresenta cor rosa claro, estrutura maciça, textura hipidiomórfica inequigranular seriada de granulação fina a média a porfirítica e é composto essencialmente por feldspato potássico róseo, plagioclásio cinza esbranquiçado, quartzo hialino e mica preta (Figura 5E). Ao microscópio, a composição mineralógica é definida por microclínio (28 a 30% vol.), albita (31 a 35%), quartzo (35%), mica de lítio e ferro (2 a 3%), topázio (1%) e minerais acessórios.

O microclínio é levemente turvo e pertítico, com albita sob a forma de filmes e mais raramente de manchas. Os cristais maiores (até 2,5 mm) são subédricos e contêm inclusões de ripas de albita, já os menores são anédricos e intersticiais. Raros cristais estão coroados por albita anédrica e intergranular com sinais de

substituição. A albita forma principalmente cristais euédricos e subédricos tabulares (< 1,5 mm) e límpidos, mas, por vezes, encontra-se levemente alterada para fengita com lítio ou com manchas internas de microclínio. O quartzo ocorre como cristais maiores (até 1,5 mm) subédricos e anédricos com inclusões de ripas de albita, não raramente formam agregados de vários cristais, enquanto os menores são anédricos e intersticiais (Figura 5F).

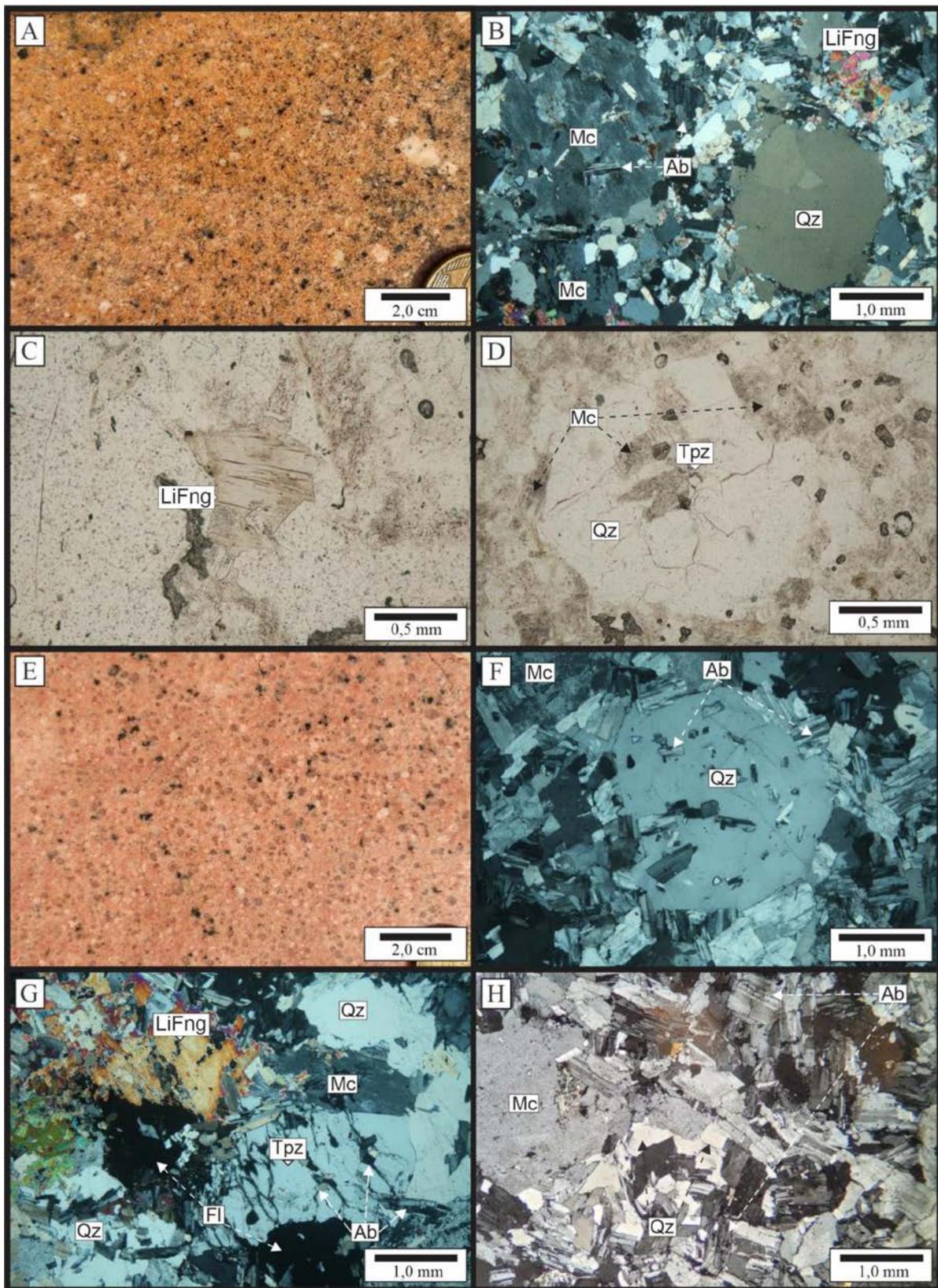
A mica é parda amarelada a parda esverdeada com composição variando de siderofilita com lítio a zinnwaldita. Forma cristais subédricos isolados (< 0,5 mm) ou grupos de cristais intersticiais (Figura 5G). O topázio magmático constitui dois tipos texturais, cristais subédricos e anédricos maiores (< 1,5 mm) com ou sem inclusões de ripas de albita e cristais menores inclusos nos feldspatos e quartzo, principalmente. Os maiores encontram-se, no geral, parcialmente alterados para fengita com lítio (Figura 5H).

Os minerais acessórios identificados são fluorita, zircão, monazita, rutilo e columbita-tantalita. A fluorita é roxa e incolor, anédrica e intersticial, não raramente se associa aos agregados de mica, assim como os diminutos cristais de zircão, monazita, rutilo e columbita-tantalita. Como minerais secundários são reconhecidos albita intergranular, albita em manchas no microclínio pertítico, fengita com lítio na albita e topázio, e bastnasita sob a forma de agregados fibrorradiais muito finos e intersticiais.

#### **Álcali-feldspato granito porfirítico I com mica de lítio e ferro e topázio**

A fácies porfirítica I tem cor variando de rosa a rosa acinzentada e estrutura maciça. A textura é porfirítica, com megacristais (5 a 10%) isolados ou em agregados de cristais euédricos e subédricos tabulares (< 10,0 mm) de feldspato potássico róseo e de plagioclásio cinza esbranquiçado e subédricos e anédricos arredondados de quartzo hialino (< 3,0 mm) em matriz hipidiomórfica equigranular de granulação fina a muito fina (< 1,0 mm) e composta essencialmente por esses minerais mais mica preta (Figura 6A).

Ao microscópio, o feldspato potássico é o microclínio pertítico (26 a 28% vol.), com albita sob a forma de filmes, veios e/ou manchas. Os megacristais (< 10,0 mm) contêm inclusões de ripas de albita e alguns mostram sinais de substituição por albita intergranular.



**Figura 6** - Características petrográficas mesoscópicas e microscópicas das fácies porfírica I (A - D) e II (E-F) com mica de lítio e ferro e topázio. (A) Cor rosa, hololeucocrático e textura porfírica de matriz fina a muito fina; (B) megacristais anédricos de quartzo arredondado e de microclínio com inclusões de ripas de albita; (C) agregado de cristais anédricos e intersticiais de siderofilita com lítio; (D) megacristal subédrico de quartzo com inclusões de microclínio e topázio; (E) cor rosa, hololeucocrático e textura porfírica de matriz fina a muito fina; (F) megacristal subédrico de quartzo com textura “bola de neve”; (G) megacristal anédrico de topázio com inclusões de ripas albita; (H) matriz com textura hipidiomórfica com albita tabular e microclínio e quartzo anédricos e intersticiais. Fotomicrografias: B, F, G e H com luz transmitida e polarizadores cruzados, C e D com polarizadores paralelos. Abreviações: Mc - microclínio, Ab – albita, Qz – quartzo, Bt – biotita, Tpz – topázio, Fl – fluorita, Zrn – zircão, LiSid – siderofilita com lítio e LiFng – fengita com lítio.

Os cristais matriciais são anédricos, ocorrem isolados ou em agregados granofíricos, ambos de modo intersticial. O plagioclásio é a albita (30 a 32%) e se apresenta, pelo menos, sob quatro tipos texturais, além da albita da pertita: megacristal (< 5,0 mm), cristal matricial, inclusão nos megacristais de microclínio e quartzo e como cristal intergranular. Os três primeiros são euédricos e subédricos tabulares, enquanto o último é mais raro e invariavelmente anédrico.

O quartzo (37 a 41%) ocorre como megacristal isolado ou em agregados, com inclusões ou não de albita e como cristais anédricos isolados ou em agregados granofíricos na matriz (Figura 6B). A mica de lítio e ferro (3%) tem composição de siderofilita com lítio. É subédrica e apresenta cores variando de pardo amarelado a pardo esverdeado. Forma cristais isolados ou grupos de vários indivíduos na matriz, contém inclusões de minerais acessórios e estão parcialmente substituídos por fengita com lítio nas bordas e nos planos de clivagem (Figura 6C). Os minerais acessórios reconhecidos são topázio, fluorita, zircão, monazita, rutilo e columbita-tantalita.

O topázio forma pequenos cristais anédricos inclusos nos minerais essenciais (Figura 6D), a fluorita é roxa e incolor, anédrica e intersticial, já o zircão, monazita, rutilo e columbita-tantalita formam diminutos cristais normalmente inclusos nos minerais essenciais e na mica. Albita em veios e manchas no microclínio pertítico, albita intergranular e fengita com lítio na mica são os principais minerais identificados como produtos da interação rocha-fluido hidrotermal.

#### **Álcali-feldspato granito porfirítico II com mica de lítio e ferro e topázio**

A fácies porfirítica II difere aparentemente do litotipo anterior pela cor sempre rosa, pelo menor tamanho (< 5,0 mm) e maior participação dos megacristais (30 a 40%) no volume total da rocha, pelo maior tamanho e participação do topázio na moda (ca. 1%) e pelo tipo de mica de lítio e ferro presente (Figura 6E). Ao microscópio, a composição mineralógica é definida por microclínio (25 a 27% vol.), albita (36 a 38%), quartzo (33 a 35%), mica de lítio e ferro (2 a 3%), topázio (1%) e minerais acessórios.

A textura “bola de neve” é bem característica, com inclusões de ripas de albita dispostas de modo concêntrico nos megacristais de microclínio e de quartzo (Figura 6F). O topázio aparece como

megacristais subédricos e anédricos (< 3,0 mm) com inclusões de albita (Figura 6G) e/ou como cristais menores inclusos nos minerais essenciais. Já a matriz (< 0,5 mm) é semelhante ao caso anterior e é formada por uma malha semiaberta de cristais euédricos e subédricos tabulares de albita, com microclínio, quartzo e mica, com composição variando de siderofilita com lítio a zinnwaldita e levemente pleocróica (parda a incolor), nos espaços intergranulares (Figura 6H).

Os minerais acessórios identificados são fluorita, zircão e columbita-tantalita e os minerais secundários, produtos da interação rocha-fluido, são albita em veios e manchas na pertita e fengita com lítio, esta substitui parcialmente o topázio e quase que totalmente a mica com lítio e ferro. Localmente, termos mais alterados hidrotermalmente estão relacionados aos greisens (sob a forma de *pipe* e veios) e granitos parcialmente greisenizados associados. Os greisens são, no geral, compostos essencialmente por quartzo, topázio e mica branca (fengita com lítio à muscovita) em proporções variadas, com fluorita, monazita, cassiterita, wolframita, hematita, pirita, esfalerita, calcopirita, bornita, galena, molibdenita como minerais varietais ou acessórios principais.

#### **Álcali-feldspato granito miarolítico com mica de lítio e ferro e topázio**

O álcali-feldspato granito miarolítico tem cor cinza rosado e estrutura miarolítica. Os miárolos são róseos e abundantes (30 a 40% do volume total da rocha), apresentam formas ovaladas e irregulares e tamanhos variados (< 15 cm). Ocorrem interconectados ou não e estão distribuídos homoganeamente pela rocha. A textura é hipidiomórfica inequigranular média a grossa (< 10,0 mm) e são compostos essencialmente por feldspato potássico róseo, plagioclásio cinza esbranquiçado, quartzo hialino e mica preta.

Alguns miárolos são zonados, com a borda formada predominantemente por feldspatos e mica de lítio e ferro e núcleo por quartzo. Os miárolos estão envolvidos por matriz de cor cinza claro, com estrutura maciça e textura hipidiomórfica inequigranular seriada, com granulação variando de muito fina a média (< 1,5 mm) e constituída principalmente pelos mesmos minerais dos miárolos, porém mais enriquecida em mica e plagioclásio (Figura 7A).

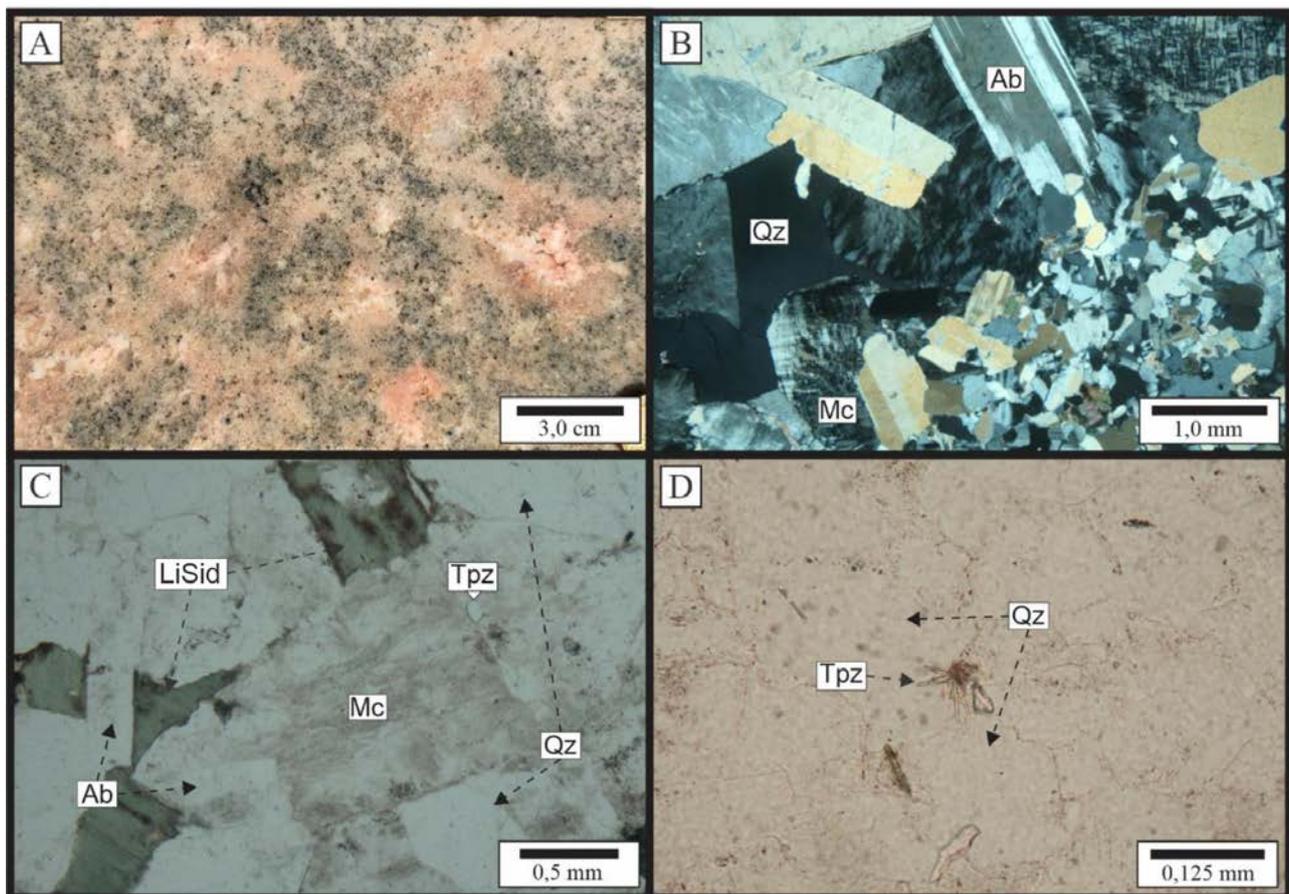
Ao microscópio, o feldspato potássico é o microclínio (26% vol.). Ocorre como cristais

subédricos e anédricos, leve a moderadamente turvos e pertíticos, com albita sob a forma fios, veios e/ou manchas. Os maiores e, não raramente tabulares, ocorrem nos miárolos, já na matriz são menores, anédricos e intersticiais. O plagioclásio é a albita (31%), a qual aparece como cristais e euédricos e subédricos e ligeiramente turvos, os maiores ocorrem também nos miárolos e os menores formam uma rede semiaberta na matriz. Albita anédrica intergranular é mais rara e mostra sinais de substituição na pertita.

O quartzo (39%) é normalmente anédrico e intersticial tanto nos miárolos (maiores) quanto na matriz (menores), porém cristais subédricos prismáticos são também observados nos miárolos (Figura 7B). A mica (4%) mostra cor variando do verde ao pardo e tem composição de siderofilita com lítio. Forma cristais subédricos maiores nos miárolos (Figura 7C) e menores e intersticiais na matriz. Inclui diminutos minerais

acessórios, alguns com halos pleocróicos, e encontra-se, por vezes, parcialmente alterada, nas bordas e ao longo dos planos de clivagem, para mica branca de composição variando de fengita a fengita com lítio.

Os minerais acessórios identificados são topázio, fluorita, zircão, monazita e columbitantalita. O topázio ocorre como diminutos cristais anédricos ou agregados de cristais aciculares inclusos nos minerais essenciais dos miárolos (Figura 7C) e da matriz (Figura 7D), respectivamente. A fluorita roxa e verde é anédrica e intersticial, zircão e monazita aparecem como inclusões na mica e a columbitantalita nos minerais essenciais. Albita em veios e manchas no microclínio pertítico, albita intergranular e mica branca na albita e siderofilita com lítio são os minerais secundários identificados como produtos da interação rocha-fluido hidrotermal.

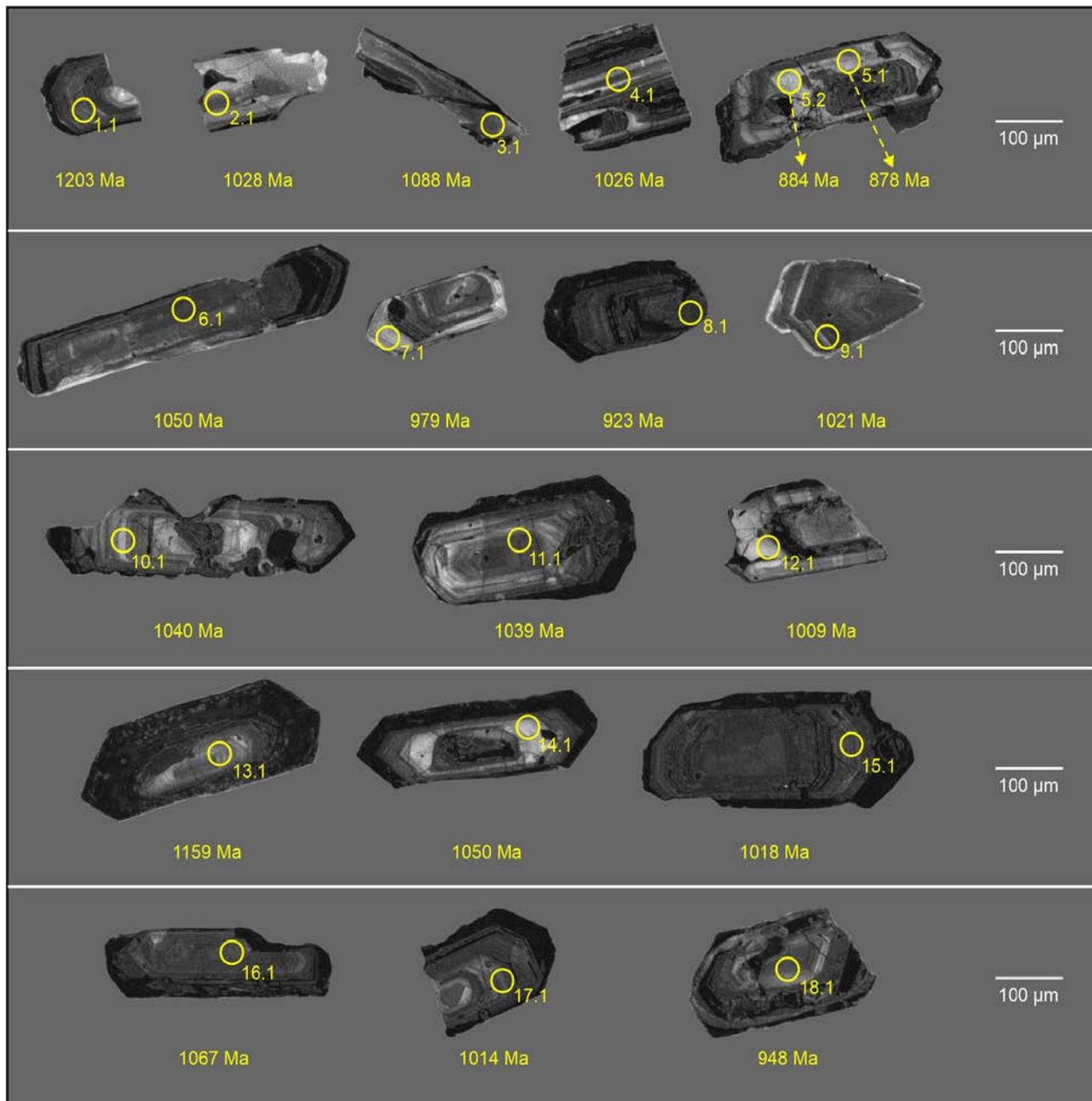


**Figura 7** - Características petrográficas mesoscópicas e microscópicas do álcali-feldspato granito miarolítico com siderofilita com lítio e topázio. (A) Miárolos róseos com feldspatos e quartzo em matriz cinza rosada mais rica em mica; (B) contato entre matriz (inferior direito) e miárolo (superior esquerdo) compostos por albita subédrica tabular e microclínio e quartzo subédricos e anédricos; (C) miárolo com microclínio turvo com inclusão de topázio anédrico, albita tabular, quartzo e siderofilita com lítio; (D) cristais aciculares de topázio inclusos em quartzo anédrico matricial. Fotomicrografias: B com luz transmitida e polarizador cruzado, C e D com polarizadores paralelos. Abreviações: Mc - microclínio, Ab - albita, Qz - quartzo, Bt - biotita, Tpz - topázio, Fl - fluorita, Zrn - zircão, LiSid - siderofilita com lítio e LiFng - fengita com lítio.

## GEOCRONOLOGIA

A amostra analisada do biotita álcali-feldspato granito equigranular apresenta cristais euédricos e subédricos prismáticos de zircão, com eixo maior variando de 200 a 700  $\mu\text{m}$  e razões axiais variando de 2:1 a 6:1. Nas imagens de catodoluminescência, os cristais mostram zoneamento oscilatório, com cores variando do cinza claro ao médio e normalmente com borda

enegrecida (teores mais altos em U), a qual sugere uma interação com fluidos hidrotermais (Borba et al., 2021). Trata-se de zircões magmáticos, segundo os critérios de Corfu et al. (2003), mas parcialmente hidrotermalizado. Fraturas são comuns e alguns cristais mostram bandas internas corroídas e zonas metamictizadas (Figura 8).



**Figura 8** - Imagens de SEM-CL de zircões do biotita-álcali-feldspato granito equigranular (Amostras PP-96), com os sítios analisados e idades  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^*$ .

Os sítios e os resultados de dezenove análises isotópicas U-Pb SHRIMP em dezoito cristais de zircão são mostrados na figura 8 e tabela 2.

Os teores de U variam de 120 a 564 ppm, com exceção de dois cristais que apresentam valores

bem mais altos (3.1: 2597 ppm e 8.1: 1194 ppm) que, provavelmente, indicam zonas metamictizadas e/ou fraturadas e/ou hidrotermalizadas nos cristais. Já as razões  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  variam de 0,57 a 1,54, com exceção também de dois cristais que

mostram valores relativamente mais altos (1.1: ígnea dos zircões analisados (Hoskin & 8,04 e 4.1: 3,24) e sugerem, também, a natureza Schaltegger, 2003).

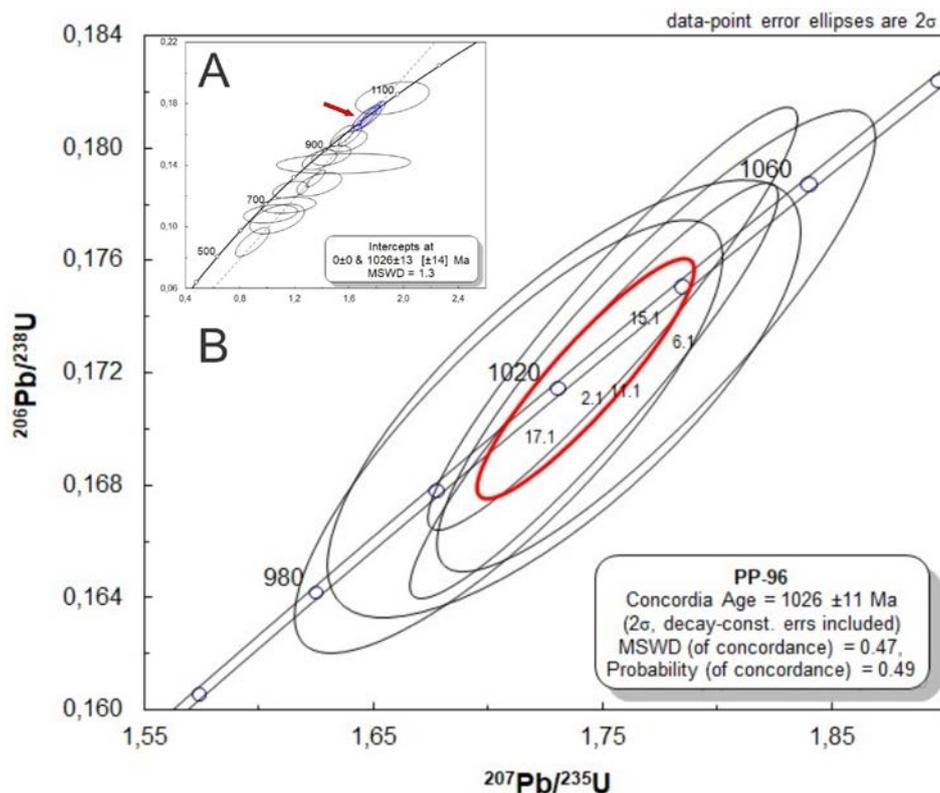
**Tabela 2** - Resultados de análises isotópicas U-Th-Pb (in situ) em zircões do biotita álcali-feldspato granito equigranular (Amostra PP-96).

Número de análise	<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> (%)	U (ppm)	Th (ppm)	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U (1σ erro %)	<sup>206</sup> Pb <sub>Rad</sub> (ppm)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb (1σ erro %)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U (1σ erro %)	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U (1σ erro %)	erro corr.	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U (Ma 1σ erro)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb (Ma 1σ erro)	Discordância (%)
<b>Biotita álcali-feldspato granito equigranular de grão médio (PP-96) - Idade concórdia: 1.026 ± 11 Ma</b>												
1.1	10,34	392	3050	8,04 [0,48]	47	0,0802 [12,7]	1,56 [12,8]	0,141 [1,9]	0,15	851 ± 15	1203 ± 250	+31
2.1	0,50	120	75	0,65 [0,60]	18	0,0735 [1,6]	1,73 [2,4]	0,171 [1,9]	0,76	1018 ± 18	1028 ± 32	+1
3.1	8,76	2597	2401	0,95 [6,28]	410	0,0757 [5,3]	1,92 [5,8]	0,184 [2,3]	0,40	1087 ± 23	1088 ± 106	+0
4.1	7,00	270	846	3,24 [0,45]	26	0,0734 [7,0]	1,15 [7,2]	0,114 [1,9]	0,26	696 ± 12	1026 ± 141	+34
5.1	3,29	243	344	1,46 [0,54]	26	0,0683 [4,1]	1,17 [4,5]	0,124 [1,8]	0,40	755 ± 13	878 ± 86	+15
5.2	6,56	159	278	1,81 [0,21]	15	0,0685 [7,5]	1,02 [7,8]	0,108 [2,2]	0,29	664 ± 14	884 ± 155	+26
6.1	0,43	564	420	0,77 [0,83]	84	0,0743 [1,0]	1,77 [2,2]	0,173 [1,9]	0,88	1029 ± 18	1050 ± 21	+2
7.1	5,30	296	432	1,51 [2,60]	23	0,0718 [3,7]	0,89 [5,7]	0,090 [4,3]	0,76	557 ± 23	979 ± 76	+45
8.1	2,96	1194	1292	1,12 [2,64]	147	0,0698 [3,2]	1,38 [3,7]	0,144 [1,8]	0,50	865 ± 15	923 ± 66	+7
9.1	0,62	307	286	0,96 [1,69]	42	0,0733 [1,3]	1,61 [2,2]	0,159 [1,8]	0,81	951 ± 16	1021 ± 26	+7
10.1	3,77	222	289	1,34 [4,22]	20	0,0739 [6,7]	1,07 [7,6]	0,105 [3,7]	0,49	645 ± 23	1040 ± 134	+40
11.1	0,30	525	493	0,97 [0,71]	77	0,0739 [0,6]	1,75 [1,9]	0,171 [1,8]	0,94	1020 ± 17	1039 ± 13	+2
12.1	3,21	222	301	1,40 [0,81]	28	0,0728 [3,6]	1,47 [4,1]	0,146 [1,8]	0,45	880 ± 15	1009 ± 74	+14
13.1	7,30	282	163	0,60 [0,91]	30	0,0785 [4,2]	1,38 [4,9]	0,128 [2,4]	0,50	774 ± 18	1159 ± 84	+35
14.1	5,08	177	98	0,57 [0,56]	24	0,0743 [3,1]	1,60 [3,6]	0,156 [1,8]	0,51	993 ± 16	1050 ± 62	+12
15.1	-0,09	284	214	0,57 [0,38]	57	0,0732 [0,6]	1,75 [1,9]	0,174 [1,8]	0,94	1034 ± 17	1018 ± 12	-2
16.1	1,95	460	684	1,54 [0,27]	51	0,0749 [1,1]	1,36 [2,1]	0,131 [1,8]	0,84	795 ± 13	1067 ± 23	+27
17.1	0,99	359	280	0,81 [0,72]	52	0,0730 [1,2]	1,71 [2,2]	0,170 [1,9]	0,83	1011 ± 17	1014 ± 25	+0
18.1	1,12	329	473	1,48 [0,92]	45	0,0707 [1,5]	1,55 [2,3]	0,159 [1,8]	0,76	952 ± 16	948 ± 31	-0

Nota: 1) <sup>206</sup>Pb<sub>c</sub> - comum 2) <sup>206</sup>Pb<sub>rad</sub> - radiogênico 3) Pb\* - Pb comum corrigido com o uso do <sup>204</sup>Pb medido.

As idades individuais de <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb, corrigidas pelo <sup>204</sup>Pb, indicam discordâncias entre os cristais em respostas às perdas de Pb. As dezenove análises plotadas no diagrama <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U versus <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U se alinham numa reta discordância forçada a zero, com idade de 1026 ± 13 Ma (MSWD = 1,3) no intercepto superior (Figura 9A).

Porém, quando consideramos as cinco análises mais concordantes (< 5%), com baixos teores de Pb comum e normais de U e razões mais baixas de <sup>232</sup>Th/<sup>238</sup>U (2.1, 6.1, 11.1, 15.1 e 17.1), a idade concórdia é de 1026 ± 11 Ma (MSWD = 0,46) (Figura 9B), a qual é interpretada aqui como a idade de cristalização do biotita-álcali-feldspato granito.



**Figura 9** - Diagramas concórdias  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  vs.  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  para os zircões analisados do biotita-álcali-feldspato granito (PP-96). A – Todas as análises; B – Cinco análises mais concordantes.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os granitos do maciço Palanqueta ocorrem no domínio da Suíte Intrusiva Rondônia - SIR (998 – 974 Ma, Bettencourt et al., 1999) (Figura 1). Resultados recentes de gamaespectrometria e magnetometria aérea na região da mina Bom Futuro revelam uma área alongada segundo a direção NE-SW e com cerca de 5,0 x 20 km de extensão (Buch et al., 2019), com elevados valores radiométricos nos três canais (K, eTh e eU) e baixo magnetismo, respectivamente. O maciço na região do morro Palanqueta ocupa uma parte do extremo SW dessa área, porém, esses resultados indicam um provável controle estrutural e uma extensão bem maior do maciço sob a cobertura sedimentar cenozoica.

Na região do morro Palanqueta, o maciço é composto por várias fácies graníticas, as quais são representadas por um biotita-álcali-feldspato granito equigranular de grão médio e por diferentes tipos texturais de álcali-feldspato granito com mica de lítio e ferro e topázio. As relações de contato são bruscas quando observadas, embora sem a presença de bordas resfriadas, o que permite inferir uma natureza multifásica para o plúton.

Pelo menos três períodos principais de intrusão dos magmas podem ser distinguidos e são representados pelas seguintes fácies petrográficas

ou associação de fácies: 1) biotita-álcali-feldspato granito equigranular, 2) álcali-feldspato granito inequigranular com mica de lítio e ferro e topázio e 3) álcali-feldspato granito porfirítico I e II com mica de lítio e ferro e topázio e álcali-feldspato granito miarolítico com mica de lítio e ferro e topázio (Figura 2). Porém, neste último período, diques ou apófises da fácies porfirítica II sobre a fácies porfirítica I são algumas vezes observados (Figura 3F), assim como provável feição de mistura (*mingling*) entre os dois magmas (porções da fácies porfirítica I na fácies porfirítica II próximo ao contato). Já os fragmentos tabulares isolados de quartzo leitoso na fácies porfirítica II (Figura 3H) podem representar enclaves de veios de quartzo quebrados de fase anterior (fácies porfirítica I?), como interpretado no sistema cobre pórfiro (Sillitoe, 2010) ou veios de quartzo rompidos de modo semelhante aos restos de diques sin-plutônicos em complexos bimodais.

A idade U-Pb (SHRIMP) em zircão de  $1026 \pm 11$  Ma (Figura 9B) obtida para o biotita-álcali-feldspato granito equigranular é mais antiga que aquelas determinadas para outros granitos da SIR (Bettencourt et al., 1999; Sparrenberger, 2003; Debowski et al., 2019). Contudo, Debowski et al. (2019) relatam também uma idade de  $1026 \pm 16$

Ma (LA-ICP-MS em zircão) para um biotita granito do maciço Massangana, distante de poucos quilômetros ao sul do maciço Palanqueta. Assim, atualmente, as idades U-Pb em zircão da SIR indicam um intervalo de cristalização das rochas de cerca de 50 Ma, ou seja, de 1026 Ma a 974 Ma e incluem, aparentemente, pelo menos duas fases de mineralização estanífera, com base nas idades U-Pb em cassiterita de  $1024 \pm 13$  Ma e  $989 \pm 3$  Ma (Neymark et al., 2018; Guimarães et al., 2021; Yang et al. 2022)

A idade dos álcali-feldspato granitos e riólitos com mica de lítio e ferro e topázio na mina Bom Futuro ainda é desconhecida. Porém, com base na idade Ar-Ar de  $994 \pm 3$  Ma em zinnwaldita de pegmatitos estaníferos do morro Bom Futuro (Bettencourt et al., 2005b), bem como em idade U-Th-Pb de  $997 \pm 48$  Ma em monazita hidrotermal de greisen do maciço Palanqueta (Souza et al., 2005), uma idade de cerca de 1000 Ma pode ser atribuída para essas rochas. Tal idade, assim considerada, indica que os álcali-feldspato granitos e riólitos com mica de lítio e ferro e topázio são cerca de 20 a 30 Ma mais jovens que o biotita-álcali-feldspato equigranular e são, aparentemente, coevos com as rochas intermediárias (traquitos e sienitos pórfiros) com idades U-Pb (ID-TIMS) de  $1000 \pm 5,2$  Ma (Souza et al., 2007), embora as relações de campo mostrem que os granitos e riólitos são posteriores aos traquitos e sienitos (Dias et al., 2013).

O biotita-álcali-feldspato granito equigranular ocorre na porção ocidental da área mapeada. A sua extensão para oeste e para norte é desconhecida, mas para o sul, é limitada pela ocorrência de rochas metamórficas representadas por biotita gnaisses e anfibolitos muito comuns na região do morro Bom Futuro (Figura 3A). Trata-se de granito *subsolvus*, com microclínio pertítico e plagioclásio de composição de albita quase pura (< 3,77% peso Na, Ciotta, 2022), com evidências de interação com fluidos hidrotermais (turbidez dos feldspatos, albita em veios ou manchas na pertita, albita intergranular, entre outros) nos estágios tarde a pós-magmáticos (Haapala, 1997; Putnis, 2002; Rong & Wang, 2016). O plagioclásio albitico é aqui interpretado como produto da de-anortitização do plagioclásio primário, mais rico em anortita (albita-oligoclásio?), por ação de fluido hidrotermal rico em flúor, com a formação de minerais secundários como mica branca e fluorita, principal-

mente (Figura 3D). Assim sendo, trata-se, provavelmente, de biotita monzogranito equigranular parcialmente hidrotermalizado (Figura 4).

Os álcali-feldspato granitos com mica de lítio e ferro e topázio ocupam a maior área de exposição do maciço na região do morro Palanqueta (Figura 2). Entre eles, o tipo inequigranular é o mais expressivo, apesar dos seus limites ao norte e leste serem ainda desconhecidos. Os demais formam um núcleo no centro da área, com o tipo miarolítico restrito a uma estreita faixa no extremo oeste desse núcleo e que pode ser comparado aos pegmatitos marginais (*stockscheider*) de sistemas de granitos altamente fracionados e com depósitos de metais raros associados (Pollard, 1989; Cerný et al., 2005; Pirajno, 2010; Lehmann, 2021).

Além disso, a presença de estruturas miarolíticas, texturas de granulação fina a muito fina (microgranular, microporfirítica e granofírica) e corpos de greisen sob as formas de *pipe* e veios indicam não só a saturação de fase fluida durante a cristalização dessas rochas, mas também uma importante interação rocha-fluido em nível crustal elevado da crosta continental (Liverton & Alderton, 1994; Haapala, 1997; Haapala & Lukkari, 2005; Breiter, 2012; Breiter et al., 2017; Michaud & Pichavant, 2020).

As composições mineralógicas dos álcali-feldspato granitos com mica de lítio e ferro e topázio são muito parecidas e bem típica de granitos *subsolvus* peraluminosos com topázio e associados com depósitos de metais raros (Cuney et al., 1992; Taylor, 1992; Haapala & Lukkari, 2005; Moura et al., 2014; Simons et al., 2016; Breiter et al., 2017; Pollard, 2021), com quartzo (33 a 41%), albita (30 a 38%), microclínio pertítico (25 a 30%), micas de lítio e ferro (2 a 4%), topázio (< 1%) e fluorita, zircão, monazita, columbita-tantalita e rutilo como minerais acessórios principais. A albita ocorre em quantidades sempre superiores ao microclínio pertítico, a mica de lítio e ferro tem composição variando de siderofilita litífera a zinnwaldita (Ciotta, 2022) e o topázio magmático aparece como megacristais subédricos e anédricos com ou sem inclusão de albita e/ou como diminutos cristais inclusos nos minerais essenciais (Figuras 5H, 6D, 6G, 7C e D).

A textura bola de neve (Figura 6F) é mais desenvolvida na fácies porfirítica II e é considerada aqui como uma textura magmática (cf., Schwartz, 1992; Wang et al., 2019; Pollard,

2021), que resulta da cristalização simultânea de quartzo e albita e de feldspato potássico e albita muito comum nos granitos porfiríticos dessa natureza (Pollard, 1989; Goraieb, 2001; Leite Júnior, 2002; Badanina et al., 2004, Dostal et al., 2015; Michaud & Pichavant, 2020; Moussa et al., 2021, entre outros).

Os álcali-feldspato granitos com mica de lítio e ferro e topázio mostram várias texturas que são interpretadas como produtos da interação rocha-fluido, tais como, albita em veios e manchas no microclínio pertítico, albita intergranular e mica branca na albita e na mica de lítio e ferro, que, no

geral, não alteram significativamente a textura e composição dessas rochas.

Porém, localmente, fácies parcialmente greisenizadas em intensidades variadas e greisens sob a forma de *pipes* e, mais raramente, em veios são encontradas principalmente na fácies porfirítica II. Os greisens são compostos, essencialmente, por quartzo, mica branca (fengita litinífera à muscovita), topázio em proporções variadas, com minerais de metais raros (Sn e W) e básicos associados (Cu, Pb e Zn) (ver também Souza & Botelho, 2002; Foster, 2016 e Yonezawa, 2018).

## CONCLUSÕES

As idades radiométricas e as relações de contato entre as fácies graníticas do maciço Palanqueta, na região do morro Palanqueta, permitem inferir que se trata de plúton multifásico, com pelo menos três períodos de colocação e cristalização dos magmas. Destes, o mais antigo está relacionado ao biotita-álcali-feldspato granito (ca. 1026 Ma) e o mais jovem aos álcali-feldspato granitos porfiríticos I e II e mirolítico com mica de lítio e ferro e topázio (ca. 1000 Ma). Além disso, os aspectos petrográficos (estruturais e texturais) indicam que os últimos se formaram em nível crustal mais elevado, muito provavelmente em ambiente subvulcânico.

A composição modal do biotita granito é de álcali-feldspato granito. Porém, as evidências petrográficas sugerem reações *subsolidus*, entre outras, à de-anortitização do plagioclásio primário (albita-oligoclásio?) com a formação secundária, pelo menos, de mica branca e fluorita. Assim, considera-se aqui que o biotita-álcali-feldspato granito trata-se, na verdade, de biotita monzogranito parcialmente hidrotermalizado. Já, as composições mineralógicas dos álcali-feldspato granitos com mica de lítio e ferro e topázio são semelhantes aos topázio granitos de suítes de granitos peraluminosos associados com depósitos

de metais raros. Neste caso, as interações rocha-fluido não proporcionaram mudanças significativas nas texturas e composições dessas rochas, a não ser localmente, onde halos de alteração hidrotermal são representados por corpos (*pipes* e veios) de greisen e de granitos greisenizados associados, os quais são encontrados principalmente na fácies porfirítica II.

As idades e as diferentes características petrográficas indicam, aparentemente, que o biotita-álcali-feldspato granito e os álcali-feldspato granitos com mica de lítio e ferro e topázio são originados de magmas parentais distintos. Já, as similaridades petrográficas entre álcali-feldspato granitos com mica de lítio e ferro e topázio sugerem que são, provavelmente, derivados de uma mesma câmara magmática mais profunda e verticalmente zonada e que os tipos faciológicos revelados devem representar diferentes estágios de evolução de um mesmo magma parental peraluminoso rico em flúor. A variação composicional das micas de lítio e ferro fornece uma indicação dos estágios evolutivos desses magmas, com siderofilita litinífera nas variedades porfirítica I e mirolítica como fácies relativamente menos evoluídas e siderofilita litinífera e zinnwaldita nos tipos inequigranular e porfirítico II como fácies mais evoluídas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Geologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) por proporcionar a infraestrutura laboratorial para o desenvolvimento da pesquisa, à Cooperativa dos Garimpeiros do Santa Cruz Ltda (Coopersanta Ltda) pelo apoio nos trabalhos de campo na mina Bom Futuro. À *Society of Economic Geologists* (SEG), pelo auxílio financeiro pelo McKinstry Fund (SGR 20-75). Os autores Matheus Ramos Ciotta e Marly Aparecida da Silva agradecem também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) a concessão das bolsas de mestrado (processo 130975/2020-6) e doutorado (processo 140649/2020-4), respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- ADAMY, A. Estudo das Formas de Relevô. In: FERNANDES, L.C. E GUIMARÃES, S.C.P. (org.), **Atlas Geoambiental de Rondônia**, v. 2, p. 51-56. Porto Velho. Imediata Gráfica e Editora, 2002
- BADANINA, E.V.; VEKSLER, I.V.; THOMAS, R.; SYRITSO, L.F.; TRUMBULL, R.B. Magmatic evolution of Li-F, rare-metal granites: a case study of melt inclusions in the Khangilay complex, Eastern Transbaikalia (Russia). **Chemical Geology**, v. 210, p. 113 – 133, 2004.
- BETTENCOURT, J.S.; MUZZOLON, R.; PAYOLLA, B.L.; PINHO, O.G.; DALL'IGNA, L.G. Os depósitos estaníferos da região central de Rondônia. In: J.S. BETTENCOURT; R. MUZZOLON; B.L. PAYOLLA; R. DALL'AGNOL; O.G. PINHO (Org). **Principais depósitos minerais do Brasil**, DNPM, v. 3, p. 213-241, 1988.
- BETTENCOURT, J.S.; LEITE JÚNIOR, W.B.; GORAIEB, C.L.; SPARRENBERGER, I.; BELLO, R.M.S.; PAYOLLA, B.L. Sn-polymetallic greisen-type deposits associated with late-stage rapakivi granites, Brazil: fluid inclusion and stable isotope characteristics. **Lithos**, v. 80, p. 363-386, 2005a.
- BETTENCOURT, J.S.; SPARRENBERGER, I.; LEITE JÚNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L.; ONOE, A.K.; TOSDAL, R.M. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar step heating laser system dating of zinnwaldite and muscovite from tin deposits of the Rondônia tin province, Brazil: evidence for multiple mineralization episodes. In: SIMPÓSIO DE METALOGENIA, I, Gramado, 2005. Atas...Gramado: Sociedade Brasileira de Geoquímica, CD-ROM, 2005b.
- BETTENCOURT, J.S.; PAYOLLA, B.L.; TOSDAL, R.M.; WOODEN, R.M.; LEITE JÚNIOR, W.B.; SPARRENBERGER, I. SHRIMP-RG zircon geochronology of gneiss from the Rio Crespo Intrusive Suite, SW Amazonian craton, Rondônia, Brazil: new insight about protolith crystallization and metamorphic ages. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, V, Punta del Este, Uruguai, Facultad de Agronomía/Facultad de Ciencias, Universidad de la Republica. **Short Papers...**Punta del Este: 2006, p. 49 – 52.
- BETTENCOURT, J.S.; LEITE JR, W.B.; RUIZ, A.S.; MATOS, R.; PAYOLLA, B.L.; TOSDAL, R.M. The Rondonian-San Ignacio Province in the SW Amazonian Craton: An overview. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 29, p. 28 – 46, 2010.
- BETTENCOURT, J.S.; PAYOLLA, B.L.; LEITE JR, W.B. U-Pb detrital and metamorphic zircon ages of paragneisses from Rondônia (Brazil), SW margin of the Amazonian Craton: passive continental margin basin sedimentation related to the evolution of the Rondonian-San Ignacio Province. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 11, Cochabamba, Bolivia. 2018. **Abstracts...** Cochabamba: 2018.
- BETTENCOURT, J.S.; TOSDAL, R.M.; LEITE JR, W.B.; PAYOLLA, B.L. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian craton, Brazil - I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. **Precambrian Research**, v. 95, p. 41 – 67, 1999.
- BORBA, M.L.; TASSINARI, C.C.G.; MATOS, F.M.V.; SATO, K.; HUHNS, S.; FERREIRA, S.N.; MEDEIROS, C.A. Tracking hydrothermal events using zircon REE geochemistry from the Carajás Mineral Province, Brazil: **Journal of Geochemical Exploration**, v. 221, p. 1 – 11, 2021.
- BREITER, K. Nearly contemporaneous evolution of the A- and S-type fractionated granites in the Krušné hory/Erzgebirge Mts., Central Europe. **Lithos**, v. 151, p. 105-121, 2012.
- BREITER, K.; ĎURIŠOVÁ, J.; HRSTKA, T.; KORBEOVÁ, Z.; VAŇKOVÁ, M.H.; GALIOVÁ, M.V.; KANICKY, V.; RAMBOUSEK, P.; KNĚSL, I.; DOBEŠ, P.; DOSBABA, M. Assessment of magmatic vs. metasomatic process in rare-metal granites: A case study of the Cínovec/Zinnwald Sn-W-Li deposit, Central Europe. **Lithos**, v. 292-293, p. 198-217, 2017.
- BUCH, T.; DALL'IGNA, L.G.; GRAÇA, M.C.; SILVA, D.R.V. **Áreas de relevante interesse mineral: reavaliação da Província Estanífera de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2019
- CERNÝ, P.; BLEVIN, P. L.; CUNEY, M.; LONDON, D. Granite-related ore deposits. In: HEDENQUIST, J. W., THOMPSON, J. F. H., GOLDFARB, R. J., RICHARDS, J. **One hundredth anniversary volume**, Canada, Economic Geology, 2005.
- CIOTTA, M.R. **Petrologia dos granitos associados aos depósitos primários de estanho e metais base da mina Bom Futuro**. Rio Claro, 149 p. 2022. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do Estado de São Paulo.
- CORFU, F.; HANCHAR, J.M.; HOSKIN, P.W.O.; KINNY, P. Atlas of zircon textures. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 53, p. 469 – 500, 2003.
- COSTA, M.A.C.; SOUSA, M.Z.A.; DALL'AGNOL, R.; SCANDOLARA, J.E.; RUIZ, A.S. Geochemistry and geochronology of the rapakivi granites and associated rocks in the midwest portion of the Serra da Providência composite batholith, SW of Amazonian craton, Rondônia, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 69, p. 194 – 212, 2016.
- COSTA, M.A.C.; RODRIGUES, J.B.; QUADROS, M.L.E.S.; SCANDOLARA, J.E.; FIGUEIREDO, E.R.H.I. New detrital zircon U-Pb ages on Igarapé Lourdes Formation, southwest of the Amazonian Craton, Ji-Paraná, Rondônia, Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 9. São Paulo, 2014. **Abstract...**São Paulo: CPGeo, 2014
- CUNEY, M.; MARIGNAC, C.; WEISBROD, A. The Beauvoir topaz-lepidolite albite granite (massif central, France): the disseminated magmatic Sn-Li-Ta-Nb-Be mineralization. **Economic Geology**, v. 87, p. 1766-1794, 1992
- DEBOWSKI, B.; ALVES, M.; SANTOS, A.; TAVARES JR., A.; GERALDES, M. Contribution to the understanding of the Rondônia Tin Province granites (SW Amazonian Craton) origin using U-Pb and Lu-Hf in zircon by LA-ICPMS: Implications to A-type granite genesis: **Journal of the Geological Survey of Brazil**, v. 2, p. 151 – 164, 2019.
- DIAS, C.A. **Geologia e mineralogia de pegmatito mineralizado em estanho e metais associados (Nb, Ta, Zn, Cu, Pb), Mina Bom Futuro, Rondônia**. Rio Claro, 2012. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do Estado de São Paulo.
- DIAS, C.A.T., LEITE JÚNIOR, W.B.; MUZZOLON, R., BETTENCOURT, J.S. Geologia e mineralogia do pegmatito estanífero Cascavel, mina Bom Futuro, Rondônia. **Geociências**, v. 32, n. 4, p. 731-745, 2013.
- DOSTAL, J.; KONTAK, D.J.; GEREL, O.; SHELLNUTT, J.G.; FAYEK, M. Cretaceous ongonites (topaz-bearing albite-rich microleucogranites) from Ongon Khaikhan, Central Mongolia: products of extreme magmatic fractionation and pervasive metasomatic fluid: rock interaction. **Lithos**, v. 236, p. 173 – 189, 2015.
- FOSTER, P.L.L. **Geologia e petrologia do Maciço Palanqueta, Mina Bom Futuro, Rondônia**. Rio Claro, 118 p. 2016. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do Estado de São Paulo.
- GERALDES, M.C.; TEIXEIRA, W.; HEILBRON, M. Lithospheric versus asthenospheric source of the SW Amazonian Craton A-type granites: the role of the Paleo- to Mesoproterozoic accretionary belts for their coeval continental suites. **Episodes**, v. 27, p.185-189, 2004.

- GORAIEB, C.L. **Contribuição à Gênese do Depósito Primário Polimetálico (Sn, W±, Zn, Cu, Pb) Correias, Ribeirão Branco (SP)**. São Paulo, 327 p. 2001. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- GUIMARÃES, F.S.; DE OLIVEIRA, A.L.R.; AMORIM, L.E.D.; RIOS, F.J.; LEHMANN, B.; HERNÁNDEZ, C.R.; MORAES, R. Lithium-mica composition as pathfinder and recorder of Grenvillian-age greisenization, Rondônia Tin Province, Brazil. *Geochemistry*, v. 81, n. 2, p. 125737, 2021.
- HAAPALA, I. Magmatic and postmagmatic processes in tin-mineralized granites: topaz-bearing leucogranite in the Eurajoki Rapakivi Granite Stock, Finland. *Journal of Petrology*, v. 38, p. 1645–1659, 1997
- HAAPALA, I. & LUKKARI, S. Petrological and geo Chemical Evolution of the Kymi stock, a topaz granite cupola within the Wiborg rapakivi batholith, Finland. *Lithos*, v. 80, p. 347 – 362, 2005.
- HOSKIN, P.W.O. & SCHALTEGGER, U. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 53, p. 27 – 62, 2003.
- ISOTTA, C.A.L.; CARNEIRO, J.M.; KATO, H.T.; BARROS, R.J.L. **Projeto província estanífera de Rondônia: relatório final**. Porto Velho: DNPM/CPRM, v. 16, 1978.
- LEHMANN, B. Formation of tin ore deposits: A reassessment. *Lithos*, v. 402, p. 1 – 14, 2021.
- LEITE JÚNIOR, W.B. **A Suíte Intrusiva Santa Clara (RO) e a mineralização primária polimetálica (Sn, W, Nb, Ta, Zn, Cu, Pb) associada**. São Paulo, 2002. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- LEITE JÚNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L.; BETTENCOURT, J.S. Petrogenesis of two Grenvillian tin-bearing rapakivi granites suites, SW Amazonian Craton, Rondônia, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31, Rio de Janeiro. 2000. **Resume Expanded**...Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2000.
- LEITE JÚNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L.; MUZZOLON, R.; OLIVEIRA, L.R.; BETTENCOURT, J.S. Topaz leucorhyolite porphyry (ongonite) from Bom Futuro Mine, Rondônia. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, II, 2002. Atas...Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2002.
- LEITE JÚNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L.; OLIVEIRA, L.R.; MUZZOLON, R.; BETTENCOURT, J.S. Geoquímica dos pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro, Mina Bom Futuro, Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, IX, Belém, 2003. **Resumos**...Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2003, p. 734 – 736.
- LEITE JÚNIOR, W.B.; OLIVEIRA, R.C.B.; TAMBORIM, D.A.R.; PAYOLLA, B.L.; BETTENCOURT, J.S. Geoquímica dos topázio granitos do stock Palanqueta, Mina Bom Futuro, Rondônia: considerações preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, X, Porto de Galinhas, 2005. **Atas**...Porto de Galinhas: Sociedade Brasileira de Geologia, 1 CD-ROM.
- LEITE JÚNIOR, W.B.; OLIVEIRA, R.C.B., DE, PAYOLLA, B.L.; BETTENCOURT, J.S. Geological and petrological aspects of Grenvillian A-type topaz granites of the Bom Futuro tin-mine, Rondônia, Brazil. In: SYMPOSIUM ON MAGMATISM, CRUSTAL EVOLUTION, AND METALLOGENESIS OF THE AMAZONIAN CRATON, 1. Belém, 2006. **Anais**...Belém: Sociedade Brasileira de Geologia /UFPA, 2006, p. 61.
- LEITE JUNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L.; BETTENCOURT, J.S.; DIAS, C.A.T. 1.38-1.30 Ga A-type granites related to the evolution of the Rondonian-San Ignacio orogenic system, SW Amazonian Craton, Brazil: a geochemical overview. **Comunicações Geológicas**, v. 101, n. Especial I, 125 – 129. 2014, IX CNG/2º CoGeLiP.
- LEITE JÚNIOR, W.B.; FOSTER, P.L.L.; DIAS, C.A.T.; MUZZOLON, R.; BETTENCOURT, J.S. *Geologia, Petrografia e Geocronologia dos Granitos do Maciço Palanqueta, Mina Bom Futuro, Rondônia*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 49º, Rio de Janeiro, 2018. **Anais**...Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2018, p. 1736.
- LENHARO, S.L.R.; POLLARD, P.J.; BORN, H. Petrology and textural evolution of granites associated with tin and rare-metals mineralization at the Pitinga mine, Amazonas, Brazil. *Lithos*, v. 66, p. 37–61, 2003
- LIVERTON, T. & ALDERTON, D.H.M. Plutonic rocks of the Thirtymile Range, Dorsey Terrane: ultrafractionated tin granites in the Yukon. *Canadian Journal of Earth Science*, v. 31, p. 1557–1568, 1994
- MELO, D.P.; COSTA, R.C.R.; NATALI FILHO, T. *Geomorfologia*. In: Brasil. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.20 Porto Velho: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM. 663 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 16), p. 185 – 250, 1978.
- MICHAUD, J.A.S. & PICHAVANT, M. Magmatic fractionation and the magmatic-hydrothermal transition in rare metal granites: evidence from Argemela (Central Portugal). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 289, p. 130 – 157, 2020.
- MICHAUD, J.A.S.; GUMIAUX, C., PICHAVANT, M., LOAGUEN, E., MARCOUX, E. From magmatic to hydrothermal Sn-Li-(Nb-Ta-W) mineralization: The Argemela area (central Portugal). *Ore Geology Reviews*, v. 116, p. 1–16, 2020
- MOURA, M.A.; BOTELHO, N.; OLIVIO, G.R.; KYSER, K.; PONTES, R.M. Genesis of the Proterozoic Mangabeira tin-indium mineralization, Central Brazil: Evidence from geology, petrology, fluid inclusion and stable isotope data. *Ore Geology Reviews*, v. 60, p. 36-49, 2014.
- MOUSSA, H.E.; ASIMOW, P.D.; AZER, M.K.; ABOU EL MAATY, M.A.; AKARISH, A.I.M.; YANNI, N.N.; MUBARAK, H.S.; WILNER, M.J.; ELSAGHEER, M.A. Magmatic and hydrothermal evolution of highly fractionated rare-metal granites at Gabal Nuweibi, Eastern Desert, Egypt. *Lithos*, v. 400–401, p. 106405, 2021.
- MUZZOLON, R. **Estudo de reavaliação de reservas de estanho e titânio da mina Bom Futuro, Rondônia**. Relatório Interno. Ariquemes: Cooperativa dos Garimpeiros do Santa Cruz Ltda (Coopersanta Ltda). 2019.
- NEYMARK, I.A.; HOLM-DEMONA, C.S.; MOSCATI, R.J. In situ LA-ICPMS U-Pb dating of cassiterite without a known-age matrix-matched reference material: example from worldwide tin deposits spanning the Proterozoic to the Tertiary. *Chemical Geology*, 483, 410-425. 2018.
- NOGUEIRA, C.C. **Petrogênese da Suíte Intrusiva Santa Clara, com base em litogeoquímica, geocronologia U-Pb e geoquímica isotópica Lu-Hf: registro de magmatismo rapakivítico no SW do Cráton amazônico**. Rio de Janeiro. 2016. Tese (Doutorado), Centro de Tecnologia e Ciências: Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, R.C.B. *Geologia e petrografia dos granitos e greisens mineralizados a estanho e metais base (Zn, Cu, Pb) do morro Palanqueta, mina Bom Futuro, Rondônia*. Rio Claro, 2005. Trabalho (Conclusão de Curso), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do Estado de São Paulo.
- PAYOLLA, B.L.; BETTENCOURT, J.S.; KOZUCH, M.; LEITE JR, W.B.; FETTER, A.H.; SCHMUS, W.R.V. Geological Evolution of the Basement Rocks in the East-Central part of the Rondônia Tin Province, SW Amazonian Craton Brazil: U-Pb and Sm-Nd Isotopic Constraints. *Precambrian Research*, v. 119, p. 141 – 169, 2002.
- PAYOLLA, B.L.; BETTENCOURT, J.S.; TOSDAL, R. M.; WOODEN, J. L.; LEITE JÚNIOR, W.B. SHRIMP-RG zircon geochronology of high-grade paragneisses from NE Rondônia, SW Amazonian craton, Brazil: constraints of provenance and

- metamorphism. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, IV, 2003, Salvador. **Short Papers Volume**...Salvador: Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM e Institute de Recherche Pour le Développement - IRD, 2003. v. 1. p. 248 – 251.
- PAYOLLA, B.L.; BETTENCOURT, J.S.; LEITE JÚNIOR, W.B.; TOSDAL, R.; WOODEN, J. Late Statherian (1.69-1.65 Ga) Orogeny in SW Amazonian Craton, Rondônia, Brazil: Review and New U-Pb SHRIMP Zircon Ages. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, XIII, 2024, Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. **Proceedings**...Armação de Búzios, Rio de Janeiro, Brasil: Sociedade Brasileira de Geologia, 2024.
- PIRAJNO, F. **Hydrothermal Process and Mineral Systems**. New York: Springer, 2010.
- POLLARD, P.J. Geochemistry of granites associated with tantalum and niobium mineralization. In: MÖLLER, P., CERNÝ, P., SAUPÉ, F. (Eds) **Lanthanides, Tantalum and Niobium**. Special Publication n° 7 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, 7, Springer, Berlin, Heidelberg, 1989.
- POLLARD, P.J. Geology of rare metal deposits: an introduction and overview. **Economic Geology**, v. 90, p. 489-494, 1995.
- POLLARD, P.J. The Yichun Ta-Sn-Li deposit, South China: evidence for extreme chemical fractionation in F-Li-P-Rich magma. **Economic Geology**, v. 116, p. 453 – 469, 2021
- PUTNIS, A. Mineral replacement reactions: from macroscopic observations to microscopic mechanisms. **Mineralogical Magazine**, v. 66, p. 689 – 708, 2002.
- QUADROS, M.L.E.S. & RIZZOTTO, G.J. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2007.
- QUADROS, M.L.E.S.; PALMEIRA, L.C.M.; CASTRO, C.C. **Geologia e recursos minerais da Folha Rio Machadinho (SC.20-X-C)**. Sistema de Informações Geográficas-SIG: Texto Explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais da Folha Rio Machadinho–Escala 1:250.000–Porto Velho: CPRM, 194 p., 2011
- RONG, J. & WANG, F. **Metasomatic Textures in Granites, Evidence from Petrographic Observation**. Beijing: Springer Mineralogy, jointly published with Science Press Ltd., 2016.
- SANTOS, J.O.S.; RIZZOTTO, G.J.; CHEMALE, F.; HARTMANN, L.A.; QUADROS, M.L.; DO E.S.; MCNAUGHTON, N.J. Three distinctive collisional orogenies in the Southwestern Amazon craton: constraints from U-Pb geochronology. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, IV, 2003, Salvador. **Short Papers Volume**... Salvador: Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM e Institute de Recherche Pour le Développement - IRD, 2003. v. 1. p. 282 – 285.
- SANTOS, J.O.S.; RIZZOTTO, G.J.; POTTER, P.E.; MCNAUGHTON, N.J.; MATOS, R.S.; HARTMANN, L.A.; CHEMALE, F.; QUADROS, M.E.S. Age and autochthonous evolution of the Sunsás Orogen in West Amazon Craton based on mapping and U-Pb geochronology. **Precambrian Research**, v. 165, p. 120 – 152, 2008.
- SATO, K.; TASSINARI, C.C.G.; BASEI, M.A.S.; SIGA JÚNIOR, O.; ONOE, A.T.; DE SOUZA, M.D. Sensitive high resolution ion microprobe (SHRIMP IIe/MC) of the Institute of Geosciences of the university of São Paulo, Brazil: analytical method and first results. **Geologia USP. Série Científica**, v. 14, p. 3 – 18, 2014.
- SCANDOLARA, J.E. **Geologia e evolução do terreno Jamari, embasamento da faixa Sunsás/Aguapeí, centro-leste de Rondônia, sudoeste do Cráton Amazônico**. Brasília, 2006. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- SCANDOLARA, J.E.; FUCK, R.A.; DALL'AGNOL, R.; DANTAS, E.L. Geochemistry and origin of the early Mesoproterozoic mangerite-charnockite-rapakivi granite association of the Serra da Providência suite and associated gabbros, central-eastern Rondônia, SW Amazonian Craton, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 45, p. 166 – 193, 2013
- SCANDOLARA, J.E.; CORREA, R.T.; FUCK, R.A.; SOUZA, V.S.; RODRIGUES, J.B.; RIBEIRO, P.S.E.; FRASCA, A.A.S.; SABOIA, A.M.; LACERDA FILHO, J.V. Paleo-Mesoproterozoic arc-accretion along the southwestern margin of the Amazonian craton: The Jurueña accretionary orogen and possible implications for Columbia supercontinent. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 73, p. 223 – 247, 2017.
- SCHWARTZ, M.O. Geochemical criteria for distinguishing magmatic and metasomatic albite-enrichment in granitoids - examples from the Ta-Li granite Yichun (China) and the Sn-W deposit Tikus (Indonesia). **Mineralium Deposita**, v. 27, p. 101-108, 1992.
- SILLITOE, R.H. Porphyry Copper Systems. **Economic Geology**, v. 105, p. 3 – 41, 2010.
- SILVA, L.F.S.; COSTI, H.T.; TEIXEIRA, J.T. (). Faciologic mapping and preliminary petrography of Palanqueta albite granite, Bom Futuro, Rondônia, Brazil. In: DALL'AGNOL, R., MACAMBIRA, M.J.B., COSTI, H.T. (ed). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RAPAKIVI GRANITE AND RELATED ROCKS, 6, 1995. Belém. **Abstract**...Belém: Universidade Federal do Pará, 1995, p. 73.
- SILVA, L.F.S.; COSTI, H.T.; DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, J.T. Petrographic and geochemical characteristics of the tin-bearing albite granite of Morro da Palanqueta, Bom Futuro Mine, Rondônia, Brazil. In: FERREIRA, V.P., SIAL, A.N. (ed.). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, II, Salvador, 1997. **Extended Abstract**...Salvador: SGM, 1997, p. 155 – 156.
- SILVA, L.C.; ARMSTRONG, R.; PIMENTEL, M.M.; SCANDOLARA, J.E.; RAMGRAB, G.; WILDNER, W.; ANGELIM, L.A.A.; VASCONCELOS, A.M.; RIZZOTTO, G.J.; QUADROS, M.L.E.S.; SANDER, A.; ROSA, A.L.Z. Reavaliação da evolução geológica em terrenos pre-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP: parte III. Província Borborema, Mantiqueira Meridional e Rio Negro-Jurueña. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, p. 529 – 544, 2002.
- SILVA, M.A.; LEITE JUNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L.; CIOTTA, M.R.; BETTENCOURT, J.S. Granitos rapakivi e rochas associadas da Suíte Intrusiva São Lourenço-Caripunas (1,32 – 1,30 Ga) no distrito mineiro São Lourenço-Macisa, NW da Província Estanífera de Rondônia: I - Petrografia das fácies precoces e evidências de interação de magmas. **USP Geologia Série Científica**, v. 22, p. 39–54, 2022.
- SIMONS, B.; SHAIL, R.K.; ANDERSEN, J.C.Ø. The petrogenesis of the Early Permian Variscan granites of the Cornubian Batholith: Lower plate post-collisional peraluminous magmatism in the Rheohercynian Zone of SW England. **Lithos**, v. 260, p. 76–94, 2016.
- SOUZA, V.S. **Evolução magmática e modelo metalogenético do sistema vulcão-plutônico estanífero Bom Futuro (RO)**. Brasília, 2003. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SOUZA, V.S.; TEIXEIRA, L.M.; BOTELHO, N.F. Datação U-Th-Pb de monazita hidrotermal e sua aplicação na geocronologia da mineralização de estanho em zonas de greisen do sistema granítico Palanqueta, depósito do Bom Futuro (RO). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 43-48, 2005.
- SOUZA, V.S.; BOTELHO, N.F.; DANTAS, E.L.; LAUX, J.H. Geoquímica e geologia isotópica (Sm-Nd e U-Pb) do magmatismo traquítico no depósito de estanho do Bom Futuro (RO). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, p. 660 – 667, 2007.
- SOUZA, S.V. & BOTELHO, N.F. Geologia do depósito de

- estanho do Bom Futuro (Rondônia) e composição dos fluidos nos sistemas de veios e greisens. In: KLEIN, E.L., VASQUEZ, M.L., ROSA-COSTA, L.T. (Ed). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 199 – 214, 2002.
- SPARRENBERGER, I. **Evolução da mineralização primária estanífera associada ao Maciço Granítico Santa Bárbara, Rondônia**. São Paulo. 2003. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- STRECKEISEN, A. To each plutonic rock its proper name. **Earth-Science Reviews**, v. 12, p. 1–33, 1976.
- TASSINARI, C.C.G. **O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos**. São Paulo, 1996. Tese (Livre-Docência), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G.; CORREIA, C.T.; NUTMAN, A.P.; KINNY, P.; DIAS NETO, C. Dating granulites by SHRIMP U-Pb systematics in Brazil: constraints for age of the metamorphism of Proterozoic orogenies. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 2, Cordoba. **Abstract....** Cordoba: IGRM-SGMA, 1999, p. 234-238.
- TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Matesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D., Brito Neves, B. B., 2004. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo. Beca. p. 471-485, 2004
- TAYLOR, R.P. Petrological and geochemical characteristics of the Pleasant Ridge zinnwaldite-topaz granite, southern New Brunswick, and comparisons with other topaz-bearing felsic rocks. **Canadian Mineralogist**, v. 30, p. 895-921, 1992.
- TEIXEIRA, N.P.; BETTENCOURT, J.S.; DALL'AGNOL, R.; MOURA, C.A.V.; FERNANDES, C.M.D.; PINHO, S.C.C. Geoquímica dos granitos paleoproterozoicos da Suíte Granítica Velho Guilherme, província estanífera do sul do Pará. **Revista Brasileiras de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 217-226, 2005.
- TEIXEIRA, W.; GERALDES, M.C.; MATOS, R.; RUIZ, A. S.; SAES, G.; VARGAS-MATTOS, G. A review of the tectonic evolution of the Sunsás belt, SW Amazonian Craton. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 29, p. 47–60, 2010.
- TISCHENDORF, G. Geochemical and petrographic characteristics of silicic magmatic rocks associated with rare-element mineralization. In: STEMPROK, M.; BURNOL, L.; TISCHENDORF, G. (Eds.), **Metallization Associated with acid magmatism**. Czechoslovakia Geological Survey, Prague. p. 41 – 98, 1977.
- TOHVER, E.; VAN DER PLUIJM, B.A.; VAN DER VOO, R.; RIZZOTTO, G.J.; SCANDOLARA, J.E. Paleogeography of the Amazon craton at 1.2 Ga: early Grenvillian collision with the Llano segment of Laurentia. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 199, p. 185–200, 2002.
- TOHVER, E.; VAN DER PLUIJM, B.A.; SCANDOLARA, J.E.; ESSENE, E.J. Late Mesoproterozoic Deformation of SW Amazonia (Rondônia, Brazil): Geochronological and structural evidence for collision with southern Laurentia. **The Journal of Geology**, v. 113, p. 309–323, 2005.
- TRIVELLI, G.G.B.; SOUZA, V.S.; SCANDOLARA, J.E.; OLIVEIRA, C.E.S. Batólito polifásico Alto Candeias, Província Estanífera de Rondônia: novos dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos (U-Pb e Sm-Nd). **Contribuições à Geologia da Amazônia**, v. 12, p. 86–110, 2023.
- VILLANOVA, M.T. & FRANK, N.D. Serra do Bom Futuro, Rondônia: a volcanic-breccia pipe-hosted tin mineralization. In: DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, M.J.B.; COSTI, H.T. (Ed.) INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RAPAKIVI GRANITE AND RELATED ROCKS, 6, Belém, 1995. **Abstract...** Universidade Federal do Pará, 1995, p. 83 – 84.
- WAGHORN, J.G. **The Geology of Rondônia Western Brazil with special reference to the tin-bearing granite complexes and placers deposits**. London – Faculty of Science of the University of London, 1974.
- WANG, D.; LIU, J.; CARRANZA, E.J.M.; ZHAI, D.; WANG, Y.; ZHEN, S.; WANG, J.; WANG, J.; LIU, Z.; ZHANG, F. Formation and evolution of snowball quartz phenocrysts in the Dongping porphyritic granite, Hebei Province, China: insights from fluid inclusions, cathodoluminescence, trace elements and crystal size distribution study. **Lithos**, v. 340-341, p. 239–254, 2019.
- YANG, M.; ROMER, R.L.; YANG, Y.; WU, S.; WANG, H.; TU, J.; ZHOU, H.; XIE, L.; HUANG, C.; XU, L.; YANG, J.; WU, F. U-Pb isotopic dating of cassiterite: Development of reference materials and in situ applications by LA-SF-ICP-MS. **Chemical Geology**, v. 593, p. 1-19, 2022.
- YONEZAWA, I.K.N. **Caracterização petrográfica dos minerais de minério dos greisens do maciço Palanqueta, mina Bom Futuro, Rondônia**. Rio Claro, 2018. Trabalho (Conclusão de Curso), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do Estado São Paulo.

*Submetido em 15 de julho de 2024*

*Aceito para publicação em 27 de agosto de 2024*