

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Instituto de Geociências

Trabalho de Formatura  
(TF-2024/59)

Monografia

**Tipologia das mineralizações magmáticas-  
hidrotermais paleoproterozoicas na parte sul do  
Cráton Amazônico – Potencial para depósitos de  
cobre pórfiro para a transição energética**

Pedro Munhoz Casa Nova  
Nº USP - 11858391

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani / GSA  
Coorientador: Dr. Luiz Fernandes Dutra / GSA



São Paulo  
Dezembro de 2024



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	3
2.	OBJETIVOS .....	5
3.	FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
3.1	Contexto Geológico Regional .....	5
3.2	Geologia e Mineralizações dos Depósitos Coringa e V6 .....	10
4.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
4.1	Análise de Dados Aerogeofísicos e Sensoriamento Remoto .....	16
4.2	Descrição Macroscópica de Amostras .....	17
4.3	Descrição Petrográfica de Lâminas .....	17
4.4	Identificação de Minerais por MEV .....	18
5.	RESULTADOS OBTIDOS .....	18
5.1	Levantamentos Aerogeofísicos e SRTM .....	18
5.1.1	Modelo Digital de Terreno .....	18
5.1.2	Gamaespectrometria e Magnetometria .....	20
5.2	Descrição petrográfica .....	26
5.2.1	Depósito Coringa .....	26
5.2.2	Depósito V6 .....	30
6.	DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	37
6.1	Dados Aerogeofísicos e Sensoriamento Remoto .....	37
6.2	Petrografia e Alteração Hidrotermal do Depósito Coringa .....	38
6.3	Petrografia e Alteração Hidrotermal do Depósito V6 .....	39
7.	CONCLUSÃO .....	40
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42

## RESUMO

Na parte sul do Cráton Amazônico, inúmeros projetos de exploração mineral para metais de base e preciosos estão sendo desenvolvidos devido à descoberta recente de mineralizações epitermais e do tipo pórfiro relacionados a eventos magmáticos paleoproterozoicos. Considerando a demanda atual do cobre, a forte redução das descobertas de novos depósitos e o potencial geológico para ocorrência de depósitos de cobre do tipo pórfiro na região, o sucesso nestes investimentos em pesquisa mineral, poderão, desta forma, contribuir com os esforços mundiais para efetivar a transição energética para uma economia de baixo carbono, com a adição de mais recursos do cobre necessário para eletrificação de veículos, indústria e equipamentos. Pesquisas recentes indicam que as mineralizações de Cu-Au-Mo do tipo pórfiro foram geradas em um longo evento de subducção nas Províncias Mineraias do Tapajós e Juruena-Teles Pires. Os depósitos mineraias do sul do Cráton Amazônico carecem de uma melhor caracterização geológica e metalogenética das mineralizações magmáticas-hidrotermais paleoproterozoicas para avaliação do modelo genético e de seu potencial. Assim, este trabalho de formatura foca na análise de dados geológicos, geofísicos e de petrografia visando contribuir com a exploração mineral da região por meio da caracterização dos tipos de mineralizações. Analisando as rochas com alteração hidrotermal, foi possível identificar pórfiros intrusivos em rochas vulcânicas e vulcanoclásticas félsicas que se desenvolveram em sistemas mineralizados em ouro e metais de base nos depósitos Coringa e V6, com alteração hidrotermal potássica, com feldspato potássico e biotita propilítica distal, sericítica com adularia, silicificação, argílica e argílica avançada (junto aos veios mineralizados). Os veios de quartzo com sulfetos de metais de base, ouro e prata no Depósito do Coringa estão hospedados em rochas efusivas, domos de riolitos e intrusivas subvulcânicas graníticas, e controlados estruturalmente por falhas, sistemas de veios e *stockworks*. Os dados aerogeofísicos evidenciam altas concentrações de potássio e urânio nas proximidades dos depósitos, o que, juntamente com a análise do modelo digital de terreno, o permitem interpretar a presença de possíveis caldeiras vulcânicas e estruturas de rochas intrusivas. Ademais, a orientação preferencial para NW-SE das estruturas interpretadas nos mapas aerogeofísicos e de sensoriamento indicam uma direção para a vetorização de novas campanhas de exploração mineral na região.

**Palavras-chave:** Alteração Hidrotermal, Metais de base, Magmatismo, Intrusão.

## ABSTRACT

In the southern Amazonian Craton, numerous mineral exploration projects for base and precious metals are underway due to recent discoveries of epithermal and porphyry-type mineralizations associated with Paleoproterozoic magmatic events. Considering the current demand for copper, the decline in new deposit discoveries, and the geological potential for porphyry-type copper deposits in the region, successful mineral research investments could support global efforts toward a low-carbon economy, by expanding copper resources essential for the electrification of vehicles, industry, and equipment. Recent studies indicate that Cu-Au-Mo porphyry-type mineralizations formed during a long-term subduction event in the Tapajós and Juruena-Teles Pires Mineral Provinces. Mineral deposits in the southern Amazonian Craton require further geological and metallogenetic characterization of Paleoproterozoic magmatic-hydrothermal mineralizations to better assess the genetic model and potential of these deposits. This study thus aims to analyze geological, geophysical, and petrographic data to support mineral exploration in the region through the characterization of mineralization types. This study identified intrusive porphyries in felsic volcanic and volcanoclastic rocks with hydrothermal alteration, which host the mineralization of gold and base metals in the Coringa and V6 deposits. These deposits show potassic hydrothermal alteration (potassic feldspar) and distal propylitic alteration (biotite), sericitic alteration (sericite-adularia), silicification, argillic alteration, and advanced argillic alteration (near mineralized veins). Quartz veins with base metal sulfides, gold, and silver in the Coringa Deposit are hosted in effusive rocks, rhyolite domes, and subvolcanic granite intrusions, structurally controlled by faults, vein systems, and stockworks. Airborne geophysical data reveal high concentrations of potassium and uranium near these deposits, and, combined with digital terrain model analysis, enable the interpretation of potential volcanic calderas and intrusive rock structures. Furthermore, the predominant NW-SE orientation of structures interpreted in analytic signal amplitude and remote sensing maps suggests priority areas for targeting new mineral exploration campaigns in the region.

**Keywords:** Hydrothermal Alteration, Base Metals, Magmatism, Intrusion.

## 1. INTRODUÇÃO

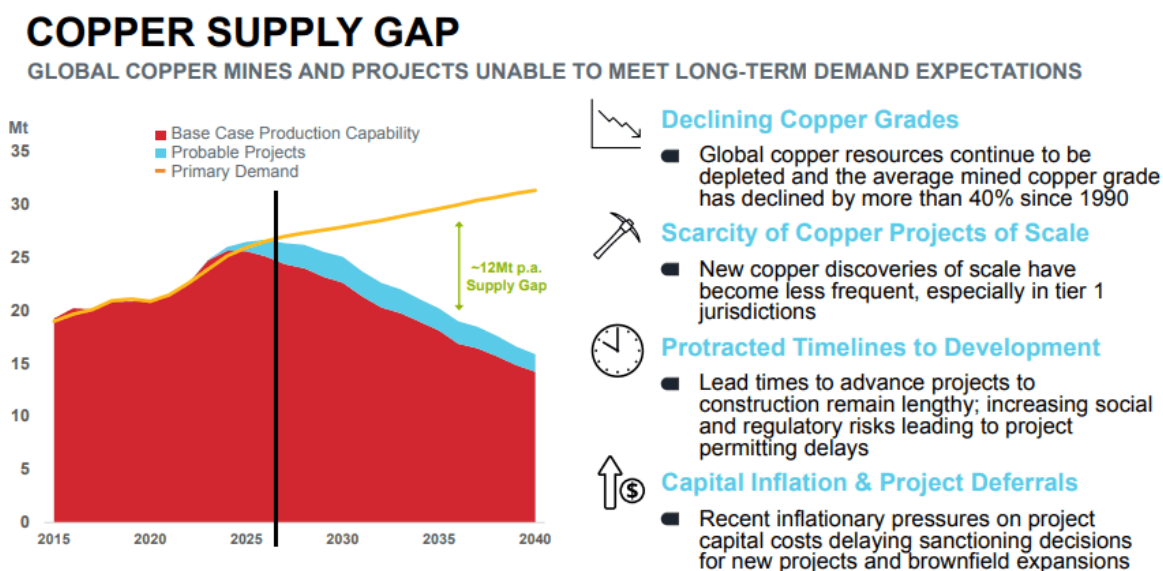
O Cráton Amazônico vem sendo objeto de estudo por empresas de exploração mineral há algumas décadas. Devido à existência de um grande número de garimpos, muitos dos projetos de pesquisa destas empresas visaram mineralizações de ouro em depósitos secundários, do tipo orogênico em veios de quartzo sulfetados em zonas de falhas e em rochas sedimentares paleoproterozoicas nas províncias minerais do Tapajós e de Alta Floresta. Entretanto, com a descoberta de sistemas epitermais *high-sulfidation* de Au+(Ag) paleoproterozoicos (Juliani et al., 2005), a exploração mineral passou a focar também em mineralizações de metais de base, o que têm resultado na descoberta de mineralizações de Cu-Au-Mo do tipo pórfiro, semelhantes às encontradas em arcos magmáticos gerados em zonas de subducção fanerozoicas.

A melhor compreensão dos modelos genéticos dos depósitos minerais e a sua relação com a tectônica tem avançado significativamente nos últimos anos, graças ao desenvolvimento de novas técnicas analíticas e ao aumento significativo de um conjunto variado de dados geológicos. Mesmo assim, os modelos tectônicos para a formação e a evolução do Cráton Amazônico são ainda objeto de controvérsias entre os pesquisadores, o que dificulta o entendimento dos tipos de eventos magmáticos, suas distribuições e, conseqüentemente, dos modelos exploratórios para pesquisa mineral.

O mundo busca hoje avançar com a transição energética, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis, o que resulta em aumento da demanda por um grande conjunto de bens minerais necessários para transmissão e armazenamento de energia e para produção de equipamentos não poluentes, como os veículos elétricos e híbridos, por exemplo. Adicionalmente, a demanda pelos bens minerais tem aumentado continuamente desde a Revolução Industrial, tanto pelo desenvolvimento de produtos tecnológicos, como pelo crescimento populacional e urbanização; porém a descoberta de novos depósitos minerais não tem acompanhado a expansão da demanda (Cordani e Juliani, 2019).

O aumento na demanda por bens minerais e o esforço global para diminuição do consumo de combustíveis fósseis, exige muitas *commodities* minerais, o que gera oportunidades para as empresas desenvolverem projetos de exploração mineral. Entretanto, a descoberta de depósitos minerais tem se tornado mais difícil, havendo a necessidade de desenvolvimento de novos modelos genéticos em província minerais maduras e de pesquisas em províncias desconhecidas ou ainda imaturas, como as províncias minerais no Cráton Amazônico. Desta forma, a região Amazônica, pela sua geologia de alto potencial para ocorrência de depósitos minerais diversos, dimensão territorial, cobertura vegetal e nível relativamente baixo de conhecimento geológico, tem atraído interesse global em investimentos na exploração mineral.

Dentre os diversos metais importantes para transição energética, a demanda mundial pelo cobre tem superado a capacidade de produção das minas (Fig. 1). Devido ao potencial da região para descoberta de depósitos minerais que possam contribuir para redução do *supply gap* do cobre previsto para os próximos anos, novos estudos acadêmicos focados na metalogênese são importantes por contribuírem para prospecção de mineralizações do tipo pórfiro no Cráton Amazônico.



**Figura 1** - Demanda e produção de cobre para os próximos anos, em grande parte impulsionada pela necessidade do metal para a transição energética numa economia de baixo carbono (Long-Term Copper Supply Gap - Wood Mackenzie's Report Q3 2022).

Sob o ponto de vista das pesquisas básicas, os eventos vulcânicos na Amazônia constituem o maior evento deste tipo no mundo, as rochas estão muito bem preservadas de processos deformacionais e metamórficos, o que permite estudar os sistemas vulcânicos e as mineralizações magmáticas-hidrotermais paleoproterozoicas com materiais de difícil obtenção em outros locais no mundo. Assim, a região apresenta uma oportunidade única de estudar a geração de arcos vulcânicos e a formação de mineralizações epitermais e do tipo pórfiro no Paleoproterozoico.

Em função do exposto, o foco deste estudo é compreender as alterações hidrotermais e a gênese das mineralizações de metais de base e preciosos dos depósitos V6 e Coringa, ambos no contexto geológico do sul do Cráton Amazônico, contribuindo assim, para melhor compreensão dos processos geológicos geradores das mineralizações e trabalhos de exploração mineral na região.

## **2. OBJETIVOS**

Esse trabalho de formatura tem como objetivo contribuir para a caracterização geológica e metalogenética das mineralizações magmáticas-hidrotermais da parte sul do Cráton Amazônico, com foco em processamentos de dados aerogeofísicos e estudos petrográficos e da alteração hidrotermal de depósitos selecionados.

Complementarmente, visa correlacionar os depósitos estudados com os eventos magmáticos nos arcos magmáticos, por meio de evidências geoquímicas e geológicas, fornecendo, desta forma, dados importantes para a exploração mineral.

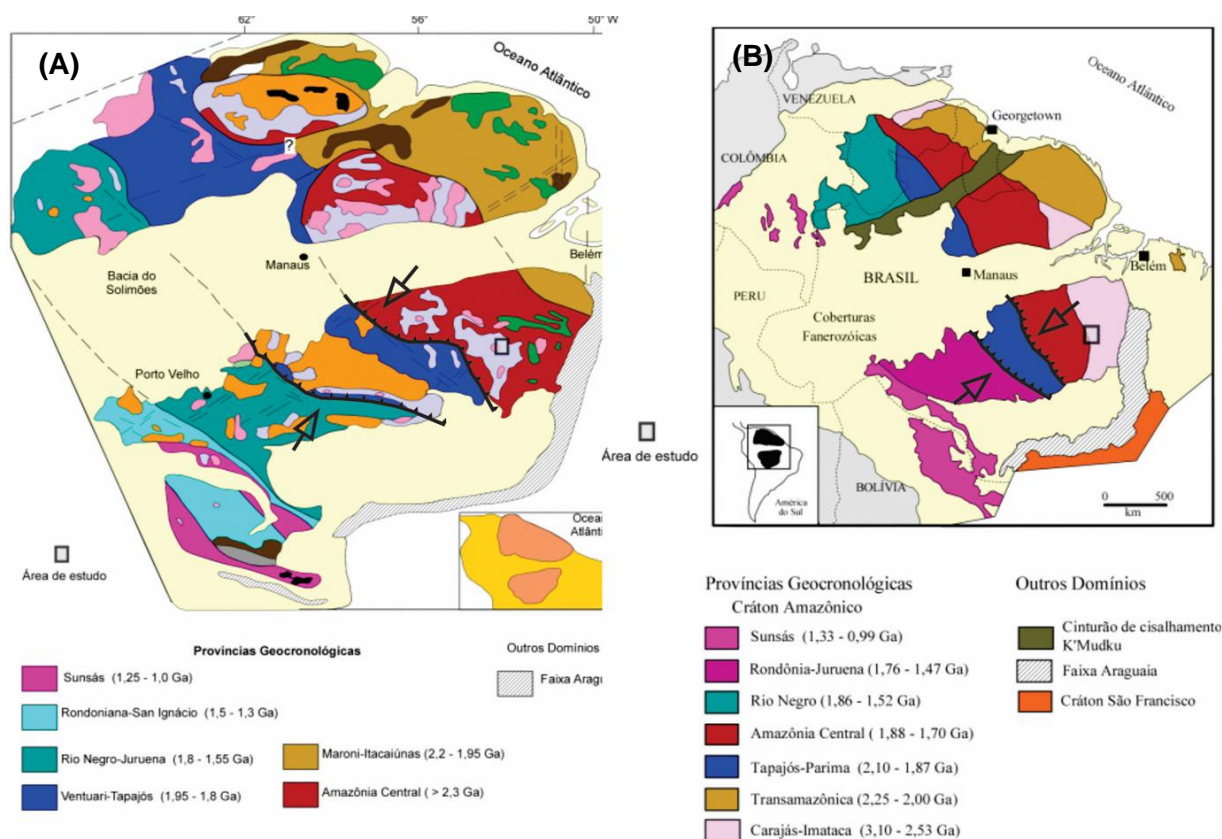
## **3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Contexto Geológico Regional**

A compreensão da evolução tectônica paleoproterozoica do Cráton Amazônico fundamenta-se principalmente em dados geocronológicos, isotópicos e aerogeofísicos. Os principais modelos (Tassinari e Macambira, 1999; Santos et al., 2000) têm proposto que o cráton se estruturou pela colagem de arcos insulares aos terrenos arqueanos Carajás-Iricoumé entre ca. 2,2 e 1,75 Ga (Fig. 2) e que o magmatismo com o qual se associam as mineralizações magmáticas-hidrotermais seria anorogênico e intraplaca.

Segundo Tassinari e Macambira (1999), o Cráton Amazônico se subdivide em seis províncias, com cinturões sucessivamente mais jovens em direção ao sudoeste. Estas províncias são: Amazônia Central (>2,3 Ga), Maroni-Itacaiúnas (2,20 a 1,95 Ga), Ventuari-Tapajós (1,95 a 1,80 Ga), Rio Negro-Juruena (1,80 a 1,55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1,55 a 1,30 Ga) e Sunsás (1,25 a 1,00 Ga).

Segundo Santos et al. (2000), o cráton pode ser subdividido em oito províncias geocronológicas/tectônicas, também cada vez mais novas no sentido sudoeste, sendo elas: Carajás-Imataca (3,0 a 2,5 Ga), Transamazônica (2,25 a 2,00 Ga), Tapajós-Parima (2,10 a 1,87 Ga), Amazônia Central (1,88 a 1,70 Ga), Rio Negro (1,86 a 1,52 Ga), Rondônia-Juruena (1,76 a 1,47 Ga), e Sunsás (1,33 a 0,99 Ga). Esses autores também individualizaram os domínios Iriri-Xingu, Tapajós e Peixoto de Azevedo na Província da Amazônia Central.



**Figura 2** - Subdivisão do Cráton Amazônico em províncias geocronológicas, usualmente interpretadas como províncias geotectônicas, segundo (A) Tassinari e Macambira (1999) e (B) Santos et al. (2000). As setas indicam a convergência tectônica que terá resultado na acreção da Província Ventuari-Tapajós ou Tapajós-Parima, respectivamente, pelos autores citados.

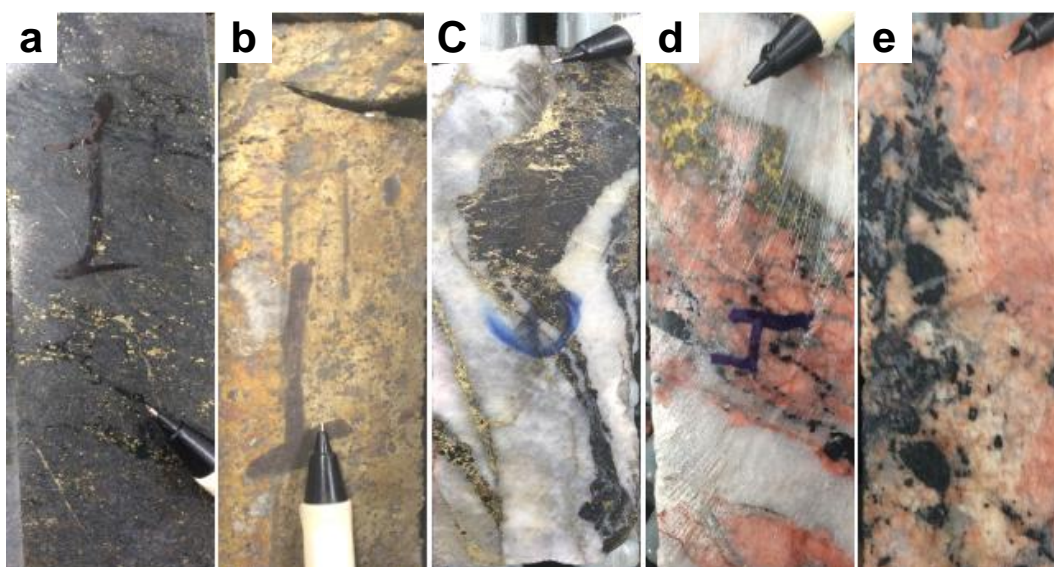
Segundo Juliani et al. (2021), as mineralizações magmáticas-hidrotermais do sistema mineral epitermal-pórfiro nas províncias minerais no sul do Cráton Amazônico se formaram durante um longo evento de subducção de placa oceânica sob uma placa continental, o que gerou arcos magmáticos do tipo Andino. Este evento resultou em pelos menos três arcos vulcânico-plutônicos continentais parcialmente superpostos (dois deles na Província Mineral do Tapajós, denominados arcos Tapajônicos por Juliani et al., 2013, 2021), e um deles na Província Juruena-Teles Pires, além de sequências de rochas sedimentares diversas.

As mineralizações de ouro nas províncias minerais de Alta Floresta, Tapajós e Carajás ainda são lavradas por garimpeiros em aluviões, coluviões, veios de quartzo, veio de quartzo com sulfetos, em zonas de *stockwork*, como disseminações de sulfetos em granitos intemperizados e em contatos de diques básicos.

A relação das mineralizações auríferas com as rochas do evento Uatumã foi inicialmente reconhecida por Coutinho et al. (1997, 1998), quando foi sugerida a possibilidade de mineralizações epitermais e do tipo pórfiro. Dreher et al. (1998) consideram que as mineralizações de ouro com adularia nas bordas de diques de rochas máficas poderiam ser correlacionadas com mineralizações epitermais *low-sulfidation* e Corrêa Silva et al. (2000)

caracterizaram as zonas de alteração hidrotermal do Granito Batalha como sendo do tipo pórfiro de níveis crustais profundos.

Com o avanço dos estudos foram identificadas mineralizações epitermais (Jacobi, 1999), caracterizadas como sendo dos tipos *high-*, *intermediate-* e *low-sulfidation* (Nunes et al., 2000; Juliani et al., 2000, 2005, 2021), bem como mineralizações do tipo pórfiro (Echeverri-Misas, 2010; Usero et al., 2011; Juliani et al., 2016; 2021). A ocorrência do pórfiro de cobre do Jaca (Fig. 3) estabeleceu um novo paradigma para a exploração mineral nos arcos magmáticos paleoproterozoicos no Cráton Amazônico e incentivou o desenvolvimento de novas pesquisas científicas.



**Figura 3** - Exemplos das texturas de rochas e minério identificadas em testemunhos de sondagem no pórfiro de cobre do Jaca. **a)** Anfibolito com mineralização sulfetada controlada por foliação Sm; **b)** Minério sulfetado maciço; **c)** Veio de quartzo com sulfeto controlado por foliação Sm; **d)** Pegmatito deformado com mineralização sulfetada; **e)** Pegmatito não deformado com turmalina e muscovita (Martins, 2024).

Trevisan et al. (2021) interpretam a existência na Província Aurífera de Alta Floresta, inserida na Província Juruena-Teles Pires, de pelo menos três eventos magmáticos com rochas cálcio-alcalinas e granitos orogênicos do tipo I e um evento de *slab-rollback* e extensões crustais, e granitos e rochas vulcânicas mais tardias do tipo A, gerados entre ca. 2,03 e 1,75 Ga. O evento mais antigo é considerado como parte do embasamento do arco magmático Juruena-Teles Pires e, portanto, correlacionado à Província Mineral do Tapajós (Juliani et al., 2021; Correa et al., 2024). Trevisan et al. (2021) consideram ainda que o último estágio magmático, de características mais evoluídas e do tipo A, de cerca de 1,78 Ga, teria sido o evento responsável pela gênese das mineralizações epitermal-pórfiro de metais preciosos e de base. Entretanto, este último estágio magmático é formado por rochas com estado de oxidação reduzido, o que não pode ser geneticamente correlacionado com sistemas de pórfiros de cobre, além do fato das mineralizações de cobre estarem associadas aos eventos de ca. 1,88 Ga (Juliani et al., 2021; Martins, 2024).

De interesse metalogenético na região em estudo, destaca-se a Província Estanífera de Pitinga, situada a norte da Província Mineral do Tapajós, onde ocorrem granitos cálcio-alcalinos e alcalinos do tipo A de ca. 1,87 Ga, sendo que neste últimos se associam os depósitos de Sn-Nb-Ta-F (Costi et al., 2000).

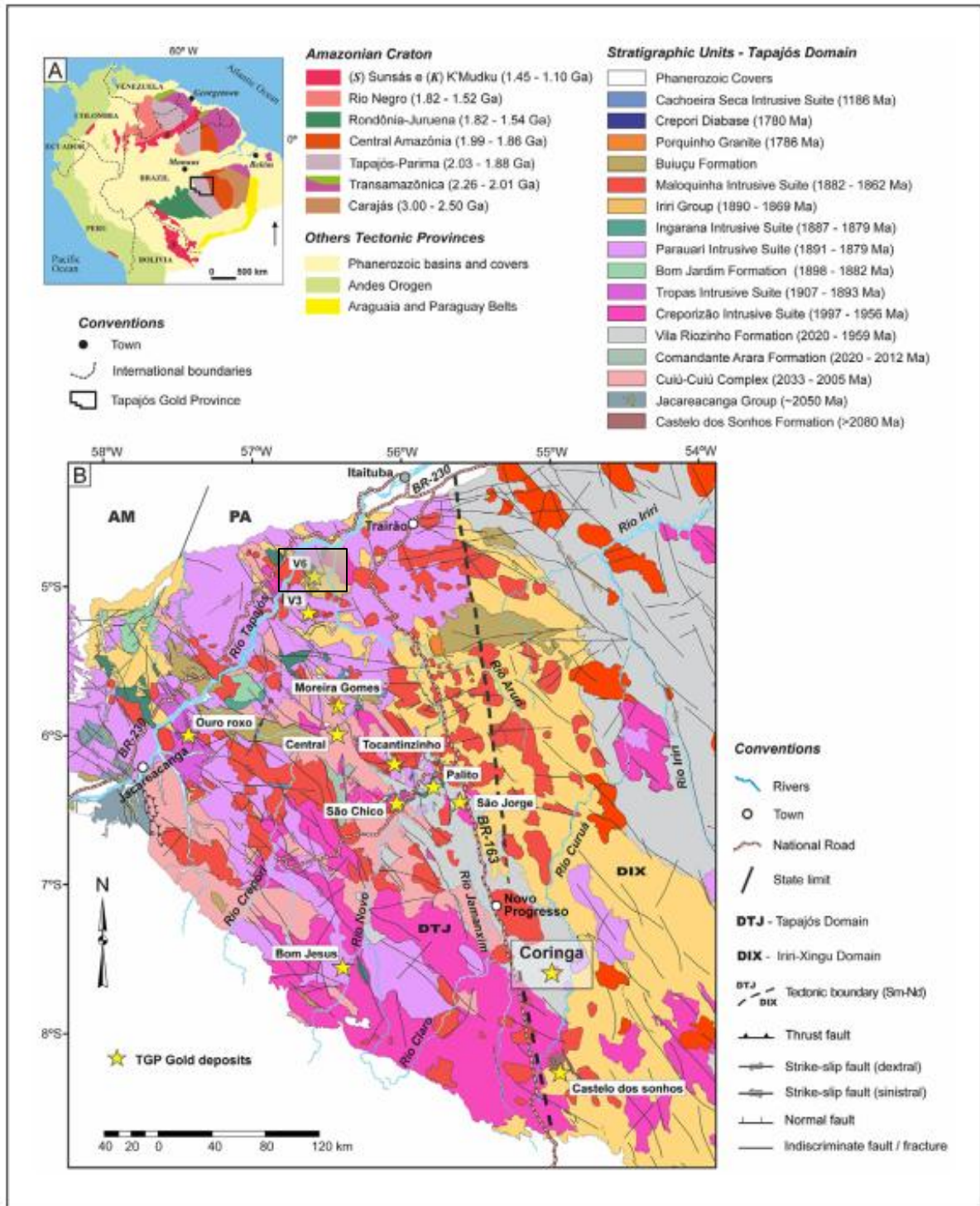
Seguindo-se no sentido oeste, além da Província Juruena-Teles Pires, ocorre a Província Estanífera de Rondônia, com mineralizações de metais raros, vários deles de interesse tecnológico, como Ta, Nb e Be, juntamente com mineralizações de Sn e W, formadas em estágios pós-colisionais da Província Rondôniana-San Ignácio, assim como nos granitos do tipo A mais jovens de Rondônia. Estes depósitos polimetálicos de metais raros estão associados aos granitos peraluminosos e as mineralizações ocorrem principalmente em *greisens*, veios de quartzo e em pegmatitos (Bettencourt et al., 2016).

A Província Mineral do Tapajós é limitada ao leste pelo Domínio Iriri-Xingu por alguns autores, e a norte e sul pelas bacias sedimentares fanerozoicas do Amazonas e do Alto do Tapajós, respectivamente. Sua geração, segundo Santos et al. (2001, 2004), deu-se em um cinturão orogênico com diversos arcos magmáticos de idade variando entre 2040 e 1870 Ma, cada vez mais jovens no sentido sudoeste. Estes arcos magmáticos são associados pelos mesmos autores, a dois grandes eventos orogênicos, denominados Orogênese Munducus (2040-1957 Ma) e Orogênese Tropas (1906-1886 Ma), seguidos pelo magmatismo pós-orogênico/anorogênico do evento Uatumã, de 1890 a 1870 Ma, e um evento de magmatismo granítico anorogênico (1780 Ma), como sugerido por Juliani et al. (2013).

A Província Mineral Tapajós é formada por sequências metavulcanossedimentares, tonalitos a granitos, rochas vulcânicas e vulcanoclásticas cálcio-alcalinas andesíticas a riolíticas, rochas vulcânicas e vulcanoclásticas alcalinas riolíticas e granitos do tipo A (Juliani et al., 2016). As mineralizações epitermais de ouro e metais de base e do tipo pórfiro de Cu-Au e Cu-Au-(Mo) se formaram em rochas vulcânicas e subvulcânicas cálcio-alcalinas geradas em arcos magmáticos do evento acrescionário (Echeverri-Misas, 2010; Usero et al., 2011; Bettencourt et al., 2016; Juliani et al., 2016; 2021).

Na parte sudeste da Província Mineral do Tapajós, ocorrem mineralizações de ouro, prata e metais de base em veios do Depósito do Coringa, que Tokashiki (2015) e Tokashiki et al. (2015) caracterizaram pela primeira vez com sendo do tipo epitermal, classificado como *intermediate-sulfidation*. A presença de diversos *stocks* de pórfiros com alterações tipos de sistemas pórfiro foram também descritos nos arredores do depósito (Tokashiki et al., 2015; Tokashiki, 2015). A sul deste depósito, afloram alguns corpos da Formação Castelo de Sonhos, composta por uma sequência metassedimentar siliclástica de idade inferior a 2080 Ma, com mineralização em ouro detrítico e hidrotermal. Essa unidade é cortada por diques de dacito porfírico e de biotita granodiorito com idades de ca. 2011 Ma e 1976 Ma,

respectivamente. Essas rochas intrusivas são atribuídas à Formação Comandante Arara e à Suíte intrusiva Creporizão por Guimarães et al. (2020).

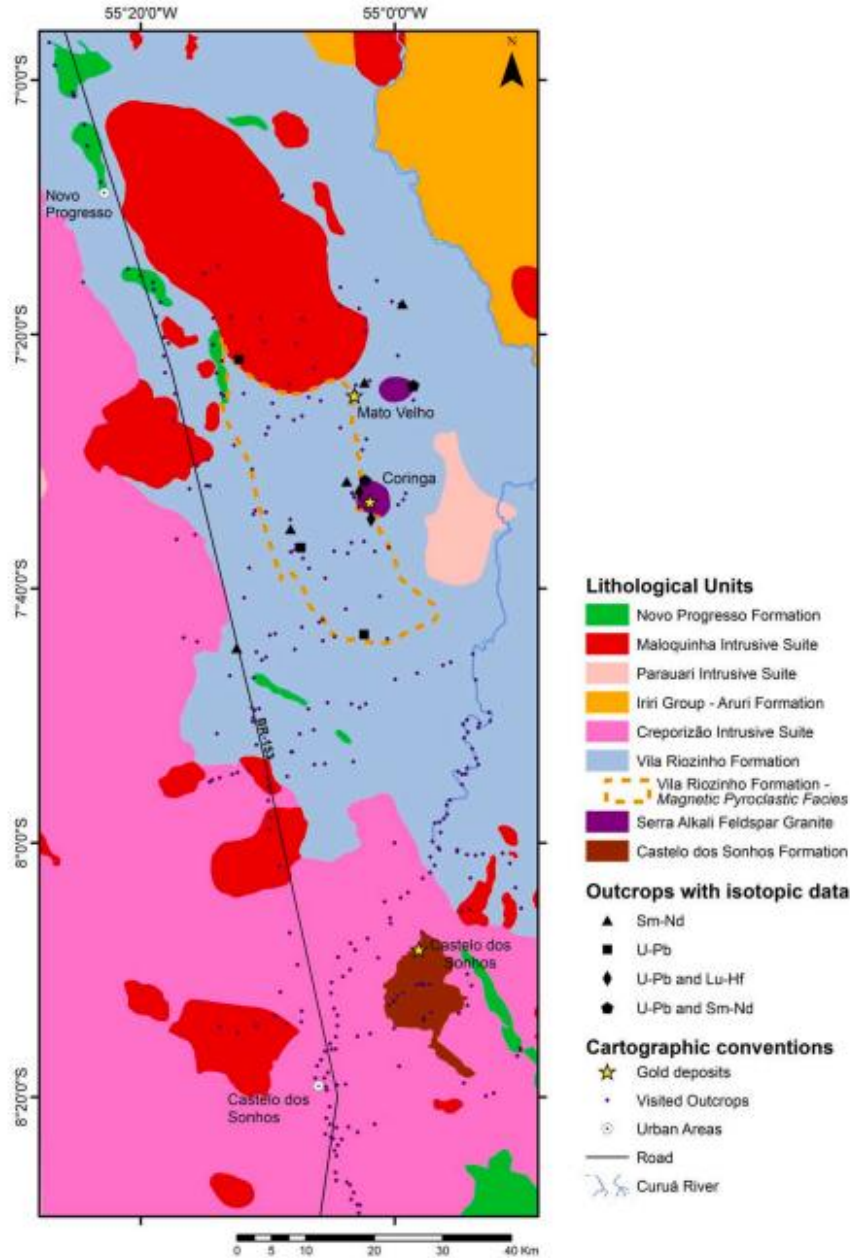


**Figura 4** - Localização dos depósitos do Coringa e do V6, com a base geológica de Vasquez et al. (2014) e a subdivisão das províncias geocronológicas do Cráton Amazônico de Santos et al. (2008), segundo Corrêa-Lima e Klein (2020).

O prospecto V6, alvo desse estudo (Fig. 4), localiza-se na porção norte da Província Mineral de Tapajós, entre os rios Tapajós e Jamaxim. As suas mineralizações de ouro, cobre e molibdênio são também vinculadas geneticamente a rochas do evento magmático Uatumã. Essas mineralizações de ouro e de metais de base hospedadas em rochas vulcânicas e vulcanoclásticas do Grupo Iriri e Vila Riozinho e a pórfiros intrusivos nas unidades vulcânicas e sedimentares constituem um sistema mineral epitermal-pórfiro paleoproterozoico associadas a estruturas vulcânicas interpretadas como caldeiras, diques e *stocks* de pórfiros (Aguja-Bocanegra, 2013; Echeverri-Misas, 2015). Um dos depósitos caracterizados na região, denominado V6 ou Chapéu de Sol, foi caracterizado como sendo um epitermal *low-sulfidation* com Au-Ag. As intrusões de diques de pórfiros riolíticos neste sistema apresentam alterações hidrotermais típicas de pórfiros (potássica, sericítica e propilítica) e estão mineralizados em Cu-Mo-(Au)-(Ag) (Echeverri-Misas, 2015).

### **3.2 Geologia e Mineralizações dos Depósitos Coringa e V6**

O Depósito Coringa está localizado na parte sudeste da Província Mineral do Tapajós (Fig. 4). A mineralização ocorre em veios e vênulas de quartzo com pirita, calcopirita, galena e esfarelita em zonas de falha rúpteis em domos de riolito e em rochas vulcânicas e vulcanoclásticas predominantemente riolíticas de ca. 1,97 Ga (Tokashiki, 2014, Tokashiki et al., 2015), atribuídas à Formação Vila Riozinho por Vasquez et al. (2014) e Corrêa-Lima e Klein (2020) (Figs.4 e 5).



**Figura 5** - Mapa geológico da área do Depósito Aurífero do Coringa, segundo Guimarães et al. (2020).

Os granitos da Suíte intrusiva Creporizão retrabalhados por zonas de cisalhamento transcorrentes NW-SE, constituem o embasamento das rochas vulcânicas e vulcanoclásticas e dos domos de riolitos nos arredores do Depósito do Coringa. A suíte é composta predominantemente por biotita sienogranito e monzogranito equigranulares a porfiríticos cinzas e tonalito róseo-avermelhado, cuja cor é devida às alterações hidrotermais (Guimarães et al., 2020).

As rochas vulcânicas e vulcanoclásticas apresentam idades aproximadas de 1,97 Ga (Tokashiki, 2015; Tokashiki et al., 2015; Guimarães et al. 2020, 2021) que sugerem correlação com as unidades vulcânicas da Formação Vila Riozinho. Essa formação é constituída

predominantemente por ignimbritos, dacitos, andesitos e riolitos e, muitas vezes, com corpos intrusivos de granitos (Guimarães et al., 2020).

O Granito Serra possui coloração rosada, textura equigranular média e, comumente, possui textura granofírica indicativa de ambiente crustal raso de colocação (Tokashiki et al., 2015; Guimarães et al., 2021). Um dos corpos desse granito está em contato com as fácies magnéticas de rochas piroclásticas da Formação Vila Riozinho. As principais mineralizações do Depósito Coringa estão nesse contato.

A Suíte Intrusiva Maloquinha constitui intrusões subvulcânicas e plutônicas nas rochas do complexo Cuiú-Cuiú e das suítes Creporizão e Parauari. Seus contatos muitas vezes, se dão por falhas com orientação NW-SE. Em termos gerais, estas rochas são granitos róseos com biotita, de granulação variando de fina a grossa. Zircões e análises Sm-Nd em rocha total apontam para uma idade de cristalização entre 1888 e 1870 Ma (Santos et al., 2000; Guimarães et al., 2020).

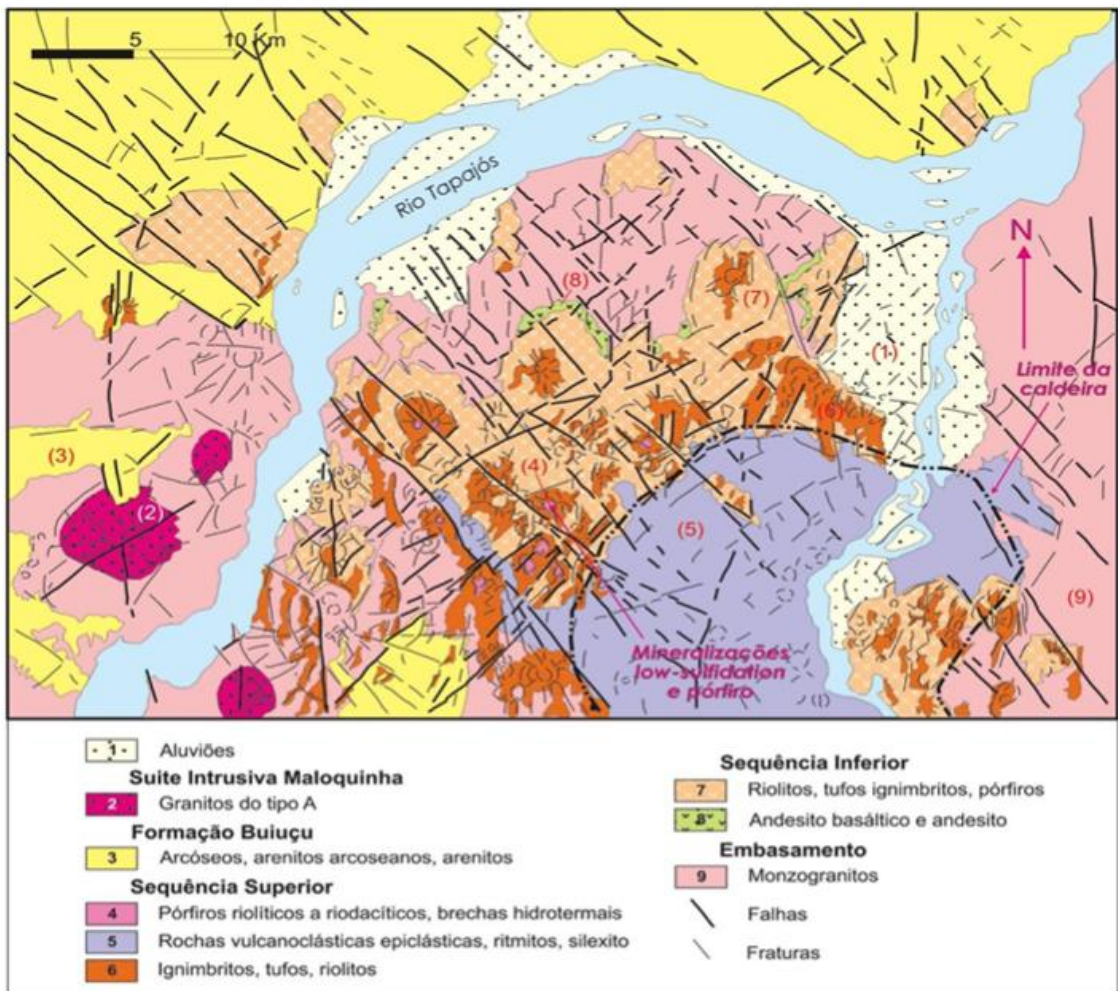
As rochas sedimentares na área do Depósito Coringa pertencem à Formação Novo Progresso, formada por arenitos e siltitos com contribuições de materiais vulcânicos. As análises geocronológicas indicam idade máxima de deposição em 1840 Ma (Guimarães et al., 2020), o que sugere que rochas dos Domínios Irixi-Xingu e Tapajós foram as principais áreas fonte dessas formações.

As rochas hospedeiras das mineralizações de ouro e de metais de base do Depósito Coringa são vulcânicas e vulcanoclásticas riolíticas com magnetita, correlacionáveis geocronologicamente com as rochas da Formação Vila Riozinho. São corpos de ignimbritos, tufos, lapilli-tufos, aglomerados e brechas vulcânicas e rochas sedimentares epiclásticas vulcânicas derivadas do retrabalhamento sin-magmatismo de tufos e vulcânicas (Tokashiki et al., 2015). Os riolitos podem apresentar textura porfírica, assim como hematita disseminada na matriz, fazendo a rocha apresentar colorações avermelhadas. Fragmentos líticos subgranulares ou arredondados das diversas unidades litológicas, comumente com fraturas conchoidais indicativas de fragmentação explosiva, são identificadas nas rochas piroclásticas.

As alterações hidrotermais nas rochas vulcânicas e graníticas, segundo Tokashiki et al. (2015) e Guimarães et al. (2020) são: alteração propilítica com carbonatos-clorita-epidoto±albita±sericita±pirita nas porções mais distais aos corpos de minérios, alteração sericítica (com piritita e adularia) intermediária a proximal e alteração proximal com clorita-hematita, silicificação e alteração argílica. A presença de adularia de hábito pseudo-romboédrico associada à alteração sericítica ou carbonatos magnesíferos, são característicos dos sistemas epitermais *low-sulfidation* com evolução de fluidos oscilando entre *low-* e *intermediate-sulfidation* (Tokashiki et al., 2015)

As rochas hospedeiras do depósito V6 são vulcânicas e vulcanoclásticas associadas às formações Aruri e Salustiano (Fig. 6), com mineralização predominantemente de cobre,

com molibdênio, ouro e prata e prata subordinados no sistema epitermal-pórfiro. De modo geral, os teores de cobre são relativamente baixos, quando comparados com teores de cobre de pórfiros em exploração. O sistema se caracteriza pelo *overprint* dos sistemas pórfiro causado pelas intrusões de diques de pórfiro nas vulcânicas e vulcanoclásticas com ouro e prata desenvolvida no sistema epitermal, o que indica a telescopagem no depósito. Os minérios ocorrem de forma disseminada, em veios e vênulas, contendo sulfetos como calcopirita e pirita e molibdenita, metais em forma nativa também podem ser encontrados de forma secundária, como o ouro e prata (Aguja-Bocanegra, 2013).

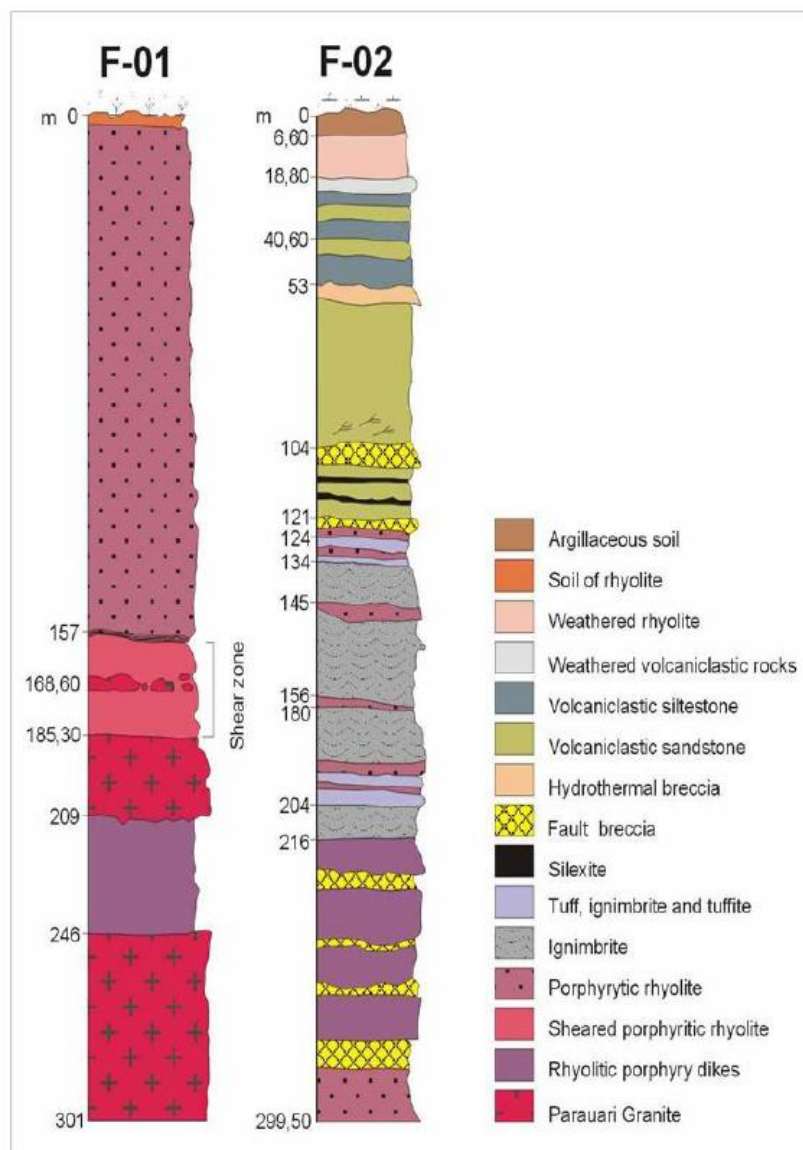


**Figura 6** – Mapa Geológico do depósito V6 – mineralização low-sulfidation (Aguja-Bocanegra 2013), modificado de Corrêa-Silva, 2002)

O embasamento granítico das unidades supracrustais da região do depósito V6 é considerado, segundo Santos et al. (2000), como pertencente ao segundo arco magmático paleoproterozoico desenvolvido após a construção do Complexo Cuiú-Cuiú. Aguja-Bocanegra (2013) descreve também granitos leucocráticos a hololeucocráticos que constituem *stocks*, apófises e diques intrusivos em granodioritos e tonalitos. Zonas de falhas transcorrentes de

orientação NW-SE controlaram parcialmente a colocação dos magmas intrusivos e falhas anelares e radiais são comuns ao redor das intrusões de pórfiros relacionados às fases tardias da Suite intrusiva Parauari e a granitos da Suite Intrusiva Maloquinha.

Corrêa-Silva (2002) subdividiu as sequências supracrustais em duas unidades: a mais antiga apresenta rochas com idades de ca.  $1990 \pm 12$  Ma formadas predominantemente por andesito basáltico e andesitos porfíricos com componentes vulcanoclásticos e riocitos e riolitos subordinados. Essas unidades são associadas ao Grupo Iriri e Juliani et al (2005) as consideram como formadas em estratovulcões do estágio pré-caldeira. Os riolitos e derrames porfíricos apresentam texturas de fluxo ígneo identificadas por orientação de megacristais de feldspato. A sequência em direção ao topo varia para vulcanoclásticas epiclásticas, como ignimbritos, tufos, arcóseos e arenitos arcoseanos ou feldspáticos e arenitos quartzosos (Echeverri-Misas, 2015). A sequência superior, com rochas com idade de ca  $1888 \pm 6,6$  Ma, está assentada concordantemente com a sequência inferior e é composta por rochas vulcanoclásticas, epiclásticas e vulcânicas félsicas intrusivas, compostas majoritariamente por tufos, ignimbritos, tufos soldados, ritmitos, silexitos, e brechas hidrotermais (Aguja-Bocanegra, 2013). A litologia dessa sequência permite correlacioná-las às formações Auri e Buiuçu do Grupo Iriri, interpretadas evolutivamente por Correa-Silva (2002) como formadas durante estágios sin- e pós-caldeira. Diques de dacito e riocito e de pórfiros riolíticos com biotita e hornblenda, além de corpos de monzogranito que ocorrem de forma intrusiva em ambas as sequências. A Figura 7 mostra a estratigrafia das rochas do Depósito V6.



**Figura 7** – Estratigrafia das rochas na área V6 observada em dois testemunhos de sondagem (Corrêa-Silva, 2002).

Após a identificação das mineralizações *low-sulfidation* descritas por Corrêa-Silva (2002) e *high-sulfidation*, identificados por Nunes et al. (2000) as unidades vulcânicas do Grupo Iriri e os pórfiros associados do estágio pós-caldeira têm sido o principal alvo da exploração mineral para pórfiros e epitermais na Província Mineral do Tapajós, mas as pesquisas não avançaram na região do V6 devido a restrições ambientais.

De acordo com as descrições petrográficas feitas por Correa-Silva (2002) e Aguja-Bocanegra (2013), as alterações hidrotermais identificadas no Deposito V6, em ordem decrescente de temperatura, são: metassomatismo sódico, metassomatismo potássico, alteração propilítica, alteração sericítica com ou sem adularia e alteração argílica.

Os metassomatismos sódico e potássico afetam principalmente monzogranitos do embasamento, pórfiros riolíticos e riolitos porfíricos. As alterações propilíticas são mais intensas no monzogranitos, pórfiros e andesitos, mas estão presentes em todos os litotipos

da região. As alterações sericíticas também são encontrados em todos os litotipos e são caracterizadas pela associação QPS (sericita + quartzo + pirita + calcopirita). Finalmente, as alterações argílicas ocorrem majoritariamente em riolitos e tufos das unidades mais superficiais do sistema epitermal.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

As amostras estudadas incluem rochas coletadas em afloramento e testemunhos de sondagem pelo orientador em projetos anteriores, assim como lâminas delgadas das principais rochas hospedeiras e alterações hidrotermais associadas aos Depósitos Coringa e V6. Complementarmente, foram utilizados dados SRTM e aerogeofísicos para estudo das estruturas regionais.

Para entendimento da geologia e da metalogênese da região foram consultadas referências sobre a geologia e a metalogênese da Província Mineral do Tapajós, incluindo artigos, livros, dissertações, teses e relatórios. Os dados de levantamentos aerogeofísicos foram obtidos da base de dados do Serviço Geológico do Brasil, assim como informações e imagens de relevo, utilizados na elaboração de mapas e modelos digitais de elevação das áreas de estudo.

##### **4.1. Análise de Dados Aerogeofísicos e Sensoriamento Remoto**

Os levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) utilizados são os disponibilizados em bases públicas do Serviço Geológico do Brasil e da NASA (modelos digitais de elevação - SRTM). Estes dados foram processados para elaboração de mapas diversos e análise das estruturas geológicas, tectônicas e magmáticas da região. Os processamentos foram realizados com os *softwares*, como Oasis montaj, disponibilizados no Laboratório de Informações Geológicas (LIG/IGc-USP) e *softwares* livres como o QGIS.

Os dados aerogeofísicos aéreos foram obtidos e pré-processados pela LASA Prospecções S/A, com linhas de voo espaçadas em 500 e 1000 m na direção N-S e linhas de controle de 10 a 20 km de distância orientadas em E-W, todas com altura de voo de 100 m. O magnetômetro Scintrex CS-3 usado no projeto coletou dados a uma taxa de 10 Hz, com resolução de 0,001 nT. O espectrômetro de raios gama Exploranium GR-820 de 256 canais coletou emissões na frequência de 1 Hz. A velocidade média da aeronave foi fixa de 266 km/h, resultando em medições a cada 7,4 m (magnetometria) e 74 m (gamaespectrometria).

Os dados foram interpolados usando a técnica de curvatura mínima em um *grid* regular de 100 m (1/5 do espaçamento de voo). Alguns levantamentos geofísicos aerotransportados apresentam um espaçamento de voo de 1000 m; portanto, eles foram interpolados em 200 m e reinterpolados para resolução de 100 m.

O método de nivelamento de *grid* proposto por Minty (2000) foi adotado para juntar os *grids* de gamaespectrometria. Este método requer a estimativa de uma mudança de nível de base e fator de escala para trazer um *grid* ao mesmo nível absoluto que o *grid* 'base'.

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), foi executada pela Agência Geoespacial Americana e pela NASA para formar uma base completa de dados topográficos digitais e modelos verticais de elevação com alta resolução, tendo parte de seus dados disponibilizados publicamente. Técnicas de sombreamento direcional são comumente empregadas em dados SRTM para ressaltar estruturas geológicas em superfície, como falhas, zonas de cisalhamento, contatos, dobras e caracterização de terrenos vulcânicos (Florinsky, 2016; Yang et al., 2011). Diferentes direções de iluminação foram avaliadas para o reconhecimento dessas estruturas, sendo escolhidas as de 90 graus por conta de sua melhor marcação das estruturas (perpendicular a maioria).

#### **4.2. Descrição Macroscópica de Amostras**

Inicialmente foram selecionadas amostras representativas de rochas inalteradas e hidrotermalizadas (de afloramentos e testemunhos de sondagens) de sistemas epitermais e do tipo pórfiro da Província Mineral do Tapajós. Em seguida as amostras foram descritas com uso de lupa de mão e estereomicroscópio no Laboratório GeoFluid (IGc-USP).

Para estes estudos foram selecionadas amostras e lâminas petrográficas da coleção disponibilizada pelo orientador. Esta seleção foi feita inicialmente pelo estudo de artigos e teses de Tokashiki (2015), Tokashiki et al. (2015), Cassini (2016), Gómez-Gutiérrez (2018), Cassini et al. (2020, 2022) e Aguja-Bocanegra (2013). Feita a pré-seleção das amostras, foram avaliadas as lâminas petrográficas disponíveis e selecionadas amostras representativas do Depósito de Ouro do Coringa e do Depósito de Cobre-Molibdênio V6 (Chapéu de Sol) para os estudos deste trabalho de formatura.

#### **4.3. Descrição Petrográfica de Lâminas**

Dentre as amostras macroscópicas, foram selecionadas amostras para confecção de lâminas para uma descrição petrográfica e fotomicrografia, utilizando abreviações de Whitney e Evans (2010) para indicação dos minerais. O objetivo principal é analisar e identificar minerais sulfetados e níveis de alteração com a variação de profundidade e local de coleta.

As seções delgadas foram confeccionadas no IGc-USP e analisadas com os microscópios Leica DM2700 do Laboratório GeoFluid ou Olympus BXP40 do Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica do IGc-USP.

A petrografia foi feita com uso de manuais como: Deer et al. (1967), Tröger (1979), Bard (1986), Mackenzie e Adams (1994), Melgarejo (1997), Mackenzie e Guilford (1982), Fisher e Schmincke (1984) e McPhie et al. (1993).

#### 4.4. Identificação de Minerais por MEV

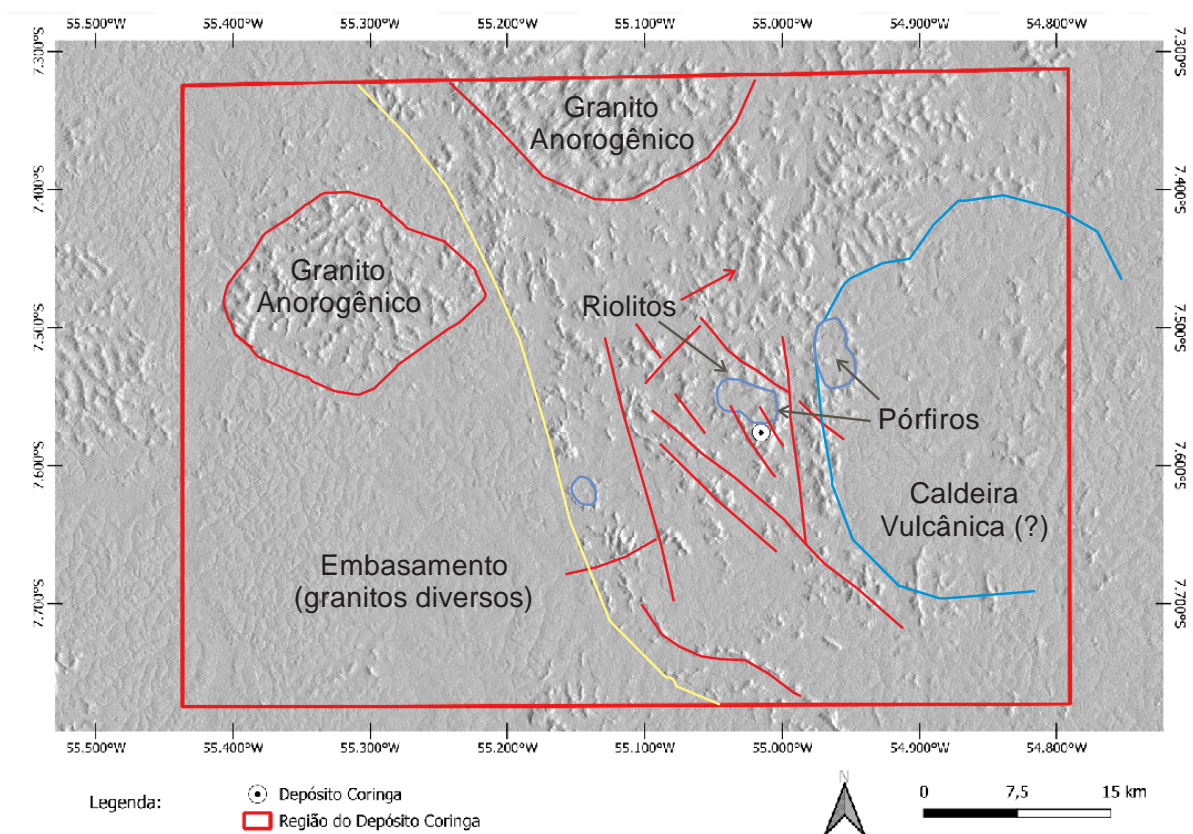
Complementarmente à petrografia, alguns minerais foram identificados por microscopia eletrônica de varredura no microscópio de bancada Phenon G2 Thermoscientific do Laboratório GeoFluid. Esse método produz imagens de alta resolução das lâminas analisadas e ajuda na identificação dos minerais através de disparos de um feixe de elétrons na amostra, tendo como resposta a composição química das áreas escolhidas, que posteriormente são comparadas com um banco de dados com a composição química de diversos minerais.

### 5. RESULTADOS OBTIDOS

#### 5.1. Levantamentos Aerogeofísicos e SRTM

##### 5.1.1. Modelo Digital de Terreno

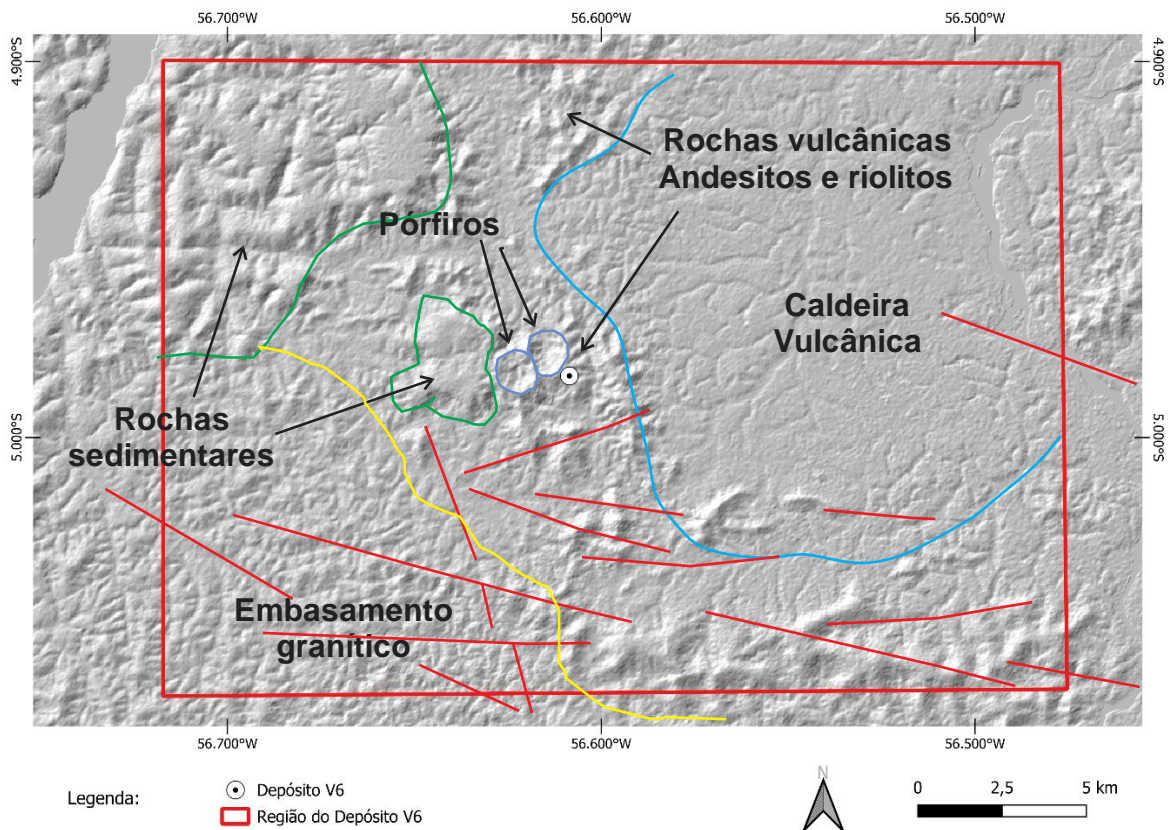
Com ajuda de ferramentas como o *Google Earth Engine*, foi possível ter acesso aos bancos de dados para todo Norte do Brasil. Dentre os mapas analisados, foram escolhidos os sombreamentos (*hillshade*) de 90 e 315°, com o objetivo de ressaltar os lineamentos NW-SE e W-E constatados em estudos prévios, estruturas vulcânicas e intrusões (Fig. 8).



**Figura 8** – Modelo digital de terreno do Depósito de Ouro Coringa, onde as linhas vermelhas indicam as falhas que hospedam as mineralizações epitermais (NE) e pós-mineralização (N-S e NE-SW), as áreas delimitadas em

azul as intrusões de pórfiros, as texturas rugosas os domos e diques de riolitos porfíricos e as intrusões de granitos anorogênicos da Suíte Intrusiva Maloquinha delimitadas em vermelho. Na porção oeste da área afloram rochas graníticas do embasamento e as áreas com textura suave na porção leste indicam cobertura de rochas vulcanoclásticas e sedimentares geradas durante a formação das caldeiras vulcânicas e, à formação dos domos de riolitos (dados geológicos baseados em Tokashiki, 2015).

Pode-se observar que o depósito Coringa está em uma região com estruturas tectônicas com orientações preferenciais NW-SE que hospedam as mineralizações e falhas posteriores às mineralizações (indicadas em vermelho) nos domos e diques de riolitos porfíricos (Fig. 9). Na porção oeste do mapa afloram rochas graníticas indiferenciadas do embasamento. A possível caldeira vulcânica e as intrusões de pórfiros são indicadas pelas áreas delimitadas em azul e as estruturas típicas das intrusões graníticas da Suíte Maloquinha são indicadas em vermelho, estas originadas no evento anorogênico e, portanto, sem potencial para as mineralizações epitermais e do tipo pórfiro.



**Figura 9** – Modelo digital de terreno do Depósito V6, onde as linhas vermelhas indicam as falhas, as áreas delimitadas em azul as intrusões de pórfiros, as texturas rugosas rochas vulcânicas andesíticas e predominantemente riolíticas e as áreas delimitadas em verde as coberturas de rochas sedimentares paleoproterozoicas. Na parte oeste, após a linha amarela afloram rochas graníticas do embasamento e as áreas com textura suave à direita da linha amarela indicam coberturas de rochas vulcanoclásticas e sedimentares associadas ao evento vulcânico que gerou a caldeira vulcânica (dados geológicos baseados em Corrêa-Silva, 2002).

Na região do depósito V6 é possível delimitar a caldeira vulcânica proposta por Correa-Silva (2002). A cobertura de rochas sedimentares paleoproterozoicas da Formação Buiuçu corresponde à área com morros de topos com textura suave. As rochas graníticas do embasamento apresentam o relevo de textura rugosa suave, as rochas vulcânicas (andesitos a riolitos e vulcanoclásticas associadas) definem relevo colinoso, com as intrusões de *stocks* de pórfiros em estruturas semicirculares e diques (Fig. 10). As falhas são caracterizadas por lineamentos de drenagem e de relevo.

### 5.1.2. Gamaespectrometria e Magnetometria

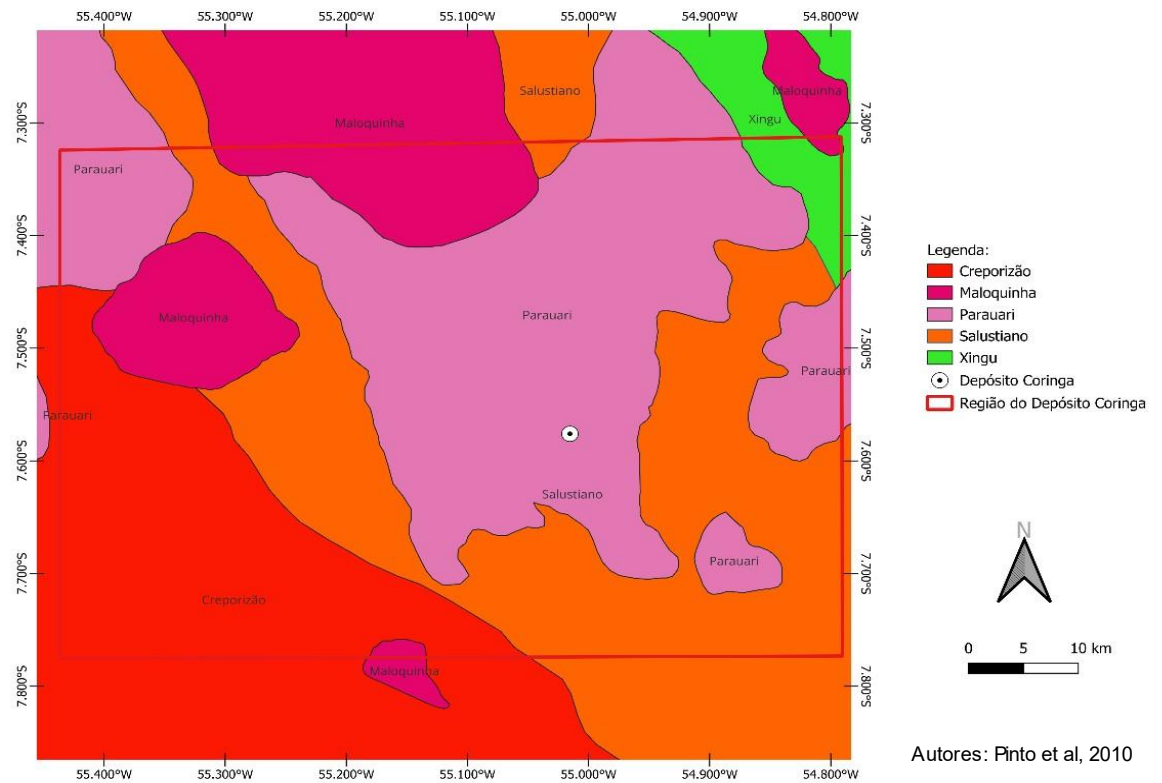
As concentrações dos radioelementos, potássio, urânio e tório atingem a profundidade máxima de 45 cm de profundidade. Os isótopos de U e Th são estimados segundo seus isótopo-filhos,  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{208}\text{Tl}$ , pois emitem radiação gama, assim, a estimativa de Th e U é referenciada na literatura como tório equivalente (eTh) e urânio equivalente (eU) (Ribeiro et al., 2014). Esses elementos mostram comportamento geoquímico distinto, mas apresentam correlação com a composição, processo de enriquecimento e intemperismo (Wilford et al., 1997; Ferreira et al., 2009). O potássio é geoquimicamente móvel em condições hidrotermais e na maioria das condições intempéricas, em particular no clima tropical a subtropical (Wilford et al., 1997). Por outro lado, o eTh normalmente contido como elemento traço em minerais acessórios, possui mobilidade reduzida e pode acumular-se durante o tempo, enquanto o eU é lixiviado de minerais solúveis (Wilford et al., 1997; Ferreira et al., 2009).

Na Figura 10 é apresentado o mapa geológico da área do Depósito do Coringa (Pinto et al., 2010) e na Figura 11 o mapa da composição ternária, onde predominam cores verde, azul e branco (região central) onde afloram as rochas vulcânicas e tons mais verde na área onde ocorrem os granitos do embasamento com maiores concentrações de potássio, urânio e tório nos eventos vulcânicos.

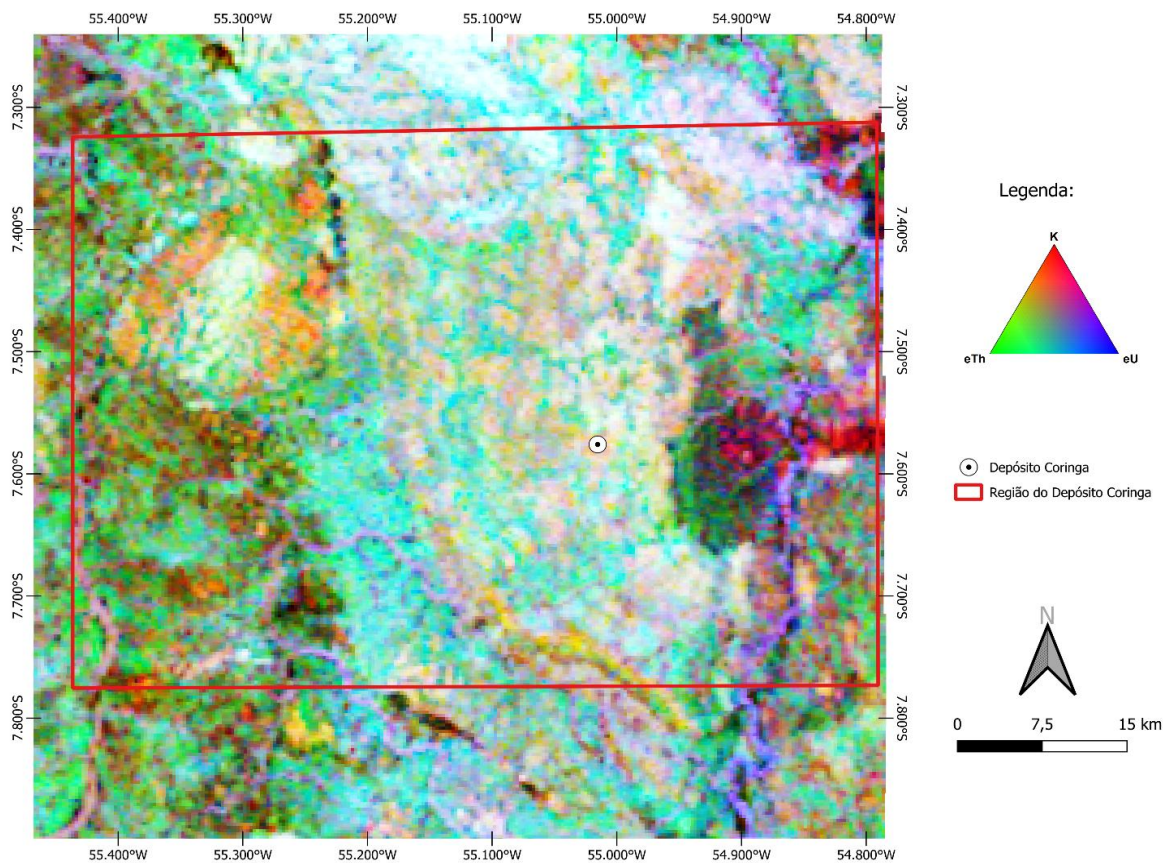
Áreas com cores mais claras, onde se identificam altas concentrações dos três elementos (Fig. 11) podem, ao menos em partes, serem devidas à atividade hidrotermal presente no sistema epitermal-pórfiro descrito, que provoca intensa remobilização e neoformação de minerais potássicos, como feldspato potássico (alteração potássica), sericita (alteração sericítica) e illita (alteração argílica). Os conteúdos de urânio e tório refletem os magmas mais evoluídos e mais tardios do sistema orogênico.

É interessante notar que na porção leste do mapa estão presentes áreas com altos teores de potássio (Fig. 11) definido estruturas aproximadamente circulares, que podem representar intrusões de pórfiros alterados hidrotermalmente e, portanto, com potencial para gerarem mineralizações do tipo pórfiro, o que não se observa nos pórfiros a norte do depósito. Considerando o discutido quanto à alteração *intermediate-sulfidation* produzida por

neutralização primária, esta pode ser uma área mais potencial para ocorrência do pórfiro de cobre geneticamente vinculado à formação do Depósito do Coringa.



**Figura 10** - Mapa Geológico com localização do Depósito Coringa (CPRM, 2010).



**Figura 11** - Mapa de composição ternária RGB de gamaespectrometria do Depósito Coringa.

Na parte oeste do mapa de composição ternária do Depósito Coringa observa-se uma certa homogeneidade na concentração de K e Th na gamaespectrometria, o que sugere rochas graníticas menos evoluídas geoquimicamente e, também, menor número de intrusões de granitos e pórfiros e, portanto, de menor potencialidade para ocorrência de depósitos epitermais e do tipo pórfiro, devido à erosão das supracrustais.

Na Figura 12 é apresentado o mapa geológico da área do Depósito V6 (Pinheiro et al, 2015), onde pode-se notar a ausência da caldeira vulcânica definida por Corrêa-Silva (2002), com depósitos vulcanoclásticos e lacustres, bem como das rochas sedimentares da Formação Buiçu, bem caracterizadas por Aguja-Bocanegra (2013). Nestas áreas estão representadas nos mapas, respectivamente, rochas do Grupo Iriri (Formação Salustiano) e uma intrusão do Granito Maloquinha.

O mapa ternário do Depósito V6 aponta uma anomalia de potássio + tório, representada pela cor amarela, e coloração branca que indica concentração dos três elementos (Fig. 13) em seu centro, o que parece ressaltar as alterações hidrotermais do sistema epitermal/pórfiro descrito. A sul do depósito não são identificadas anomalias no mapa ternário e as concentrações parecem homogêneas com tório um pouco mais ressaltado,

podendo-se interpretar como zona de alteração hidrotermal mais leve, com baixa potencialidade para mineralização de metais de base. Destacam-se também no ternário os sedimentos imaturos da Formação Buiuçu, com cores mais claras, onde foi interpretado uma intrusão da Suite Granítica Maloquinha no mapa geológico da Figura 12.

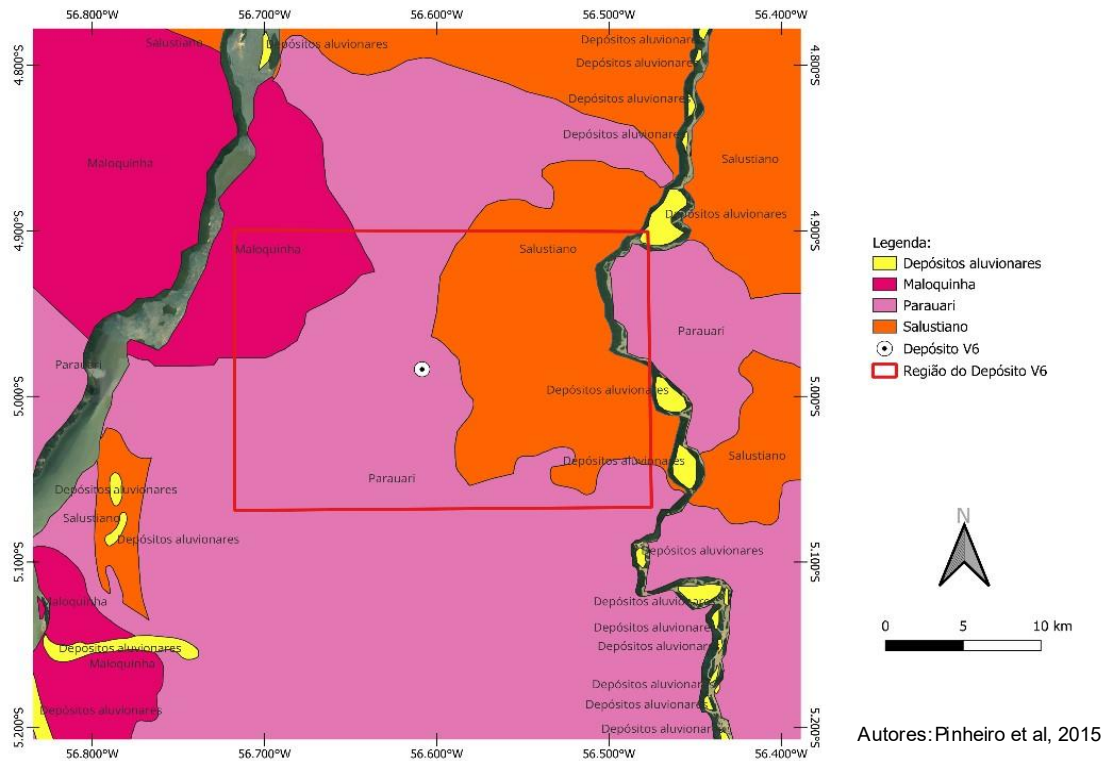
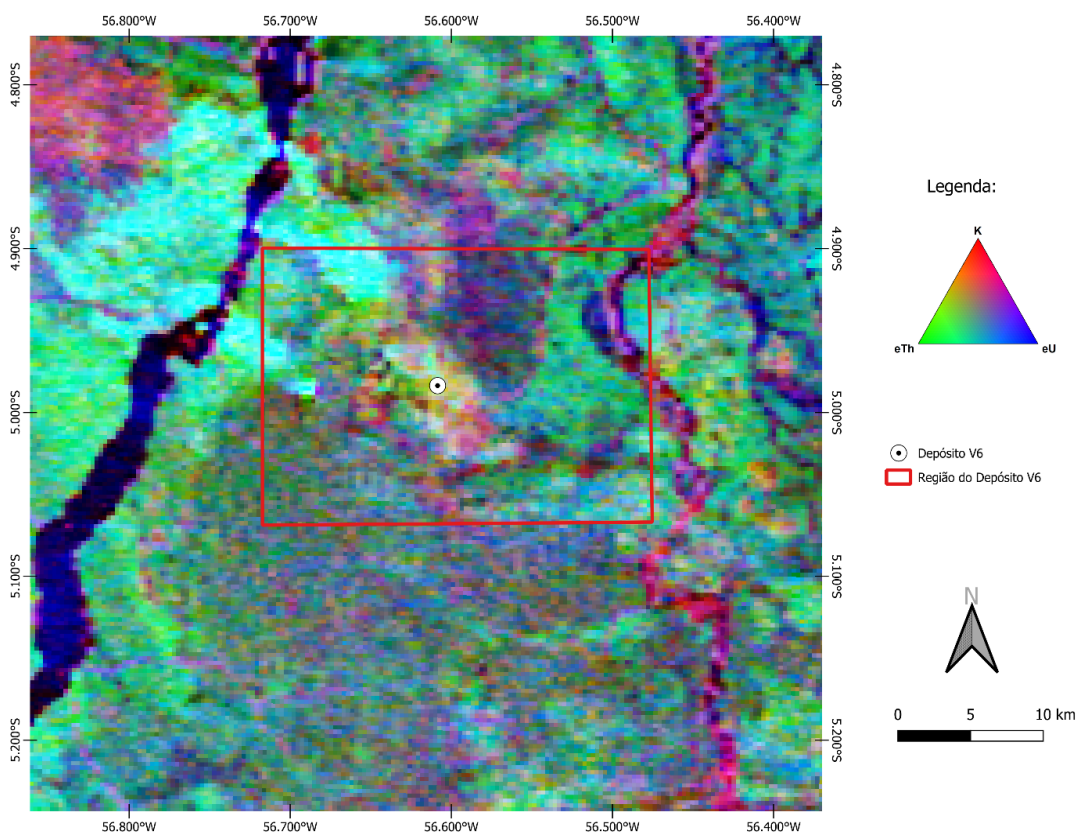


Figura 12 - Mapa Geológico com localização do Depósito V6 (CPRM, 2010).

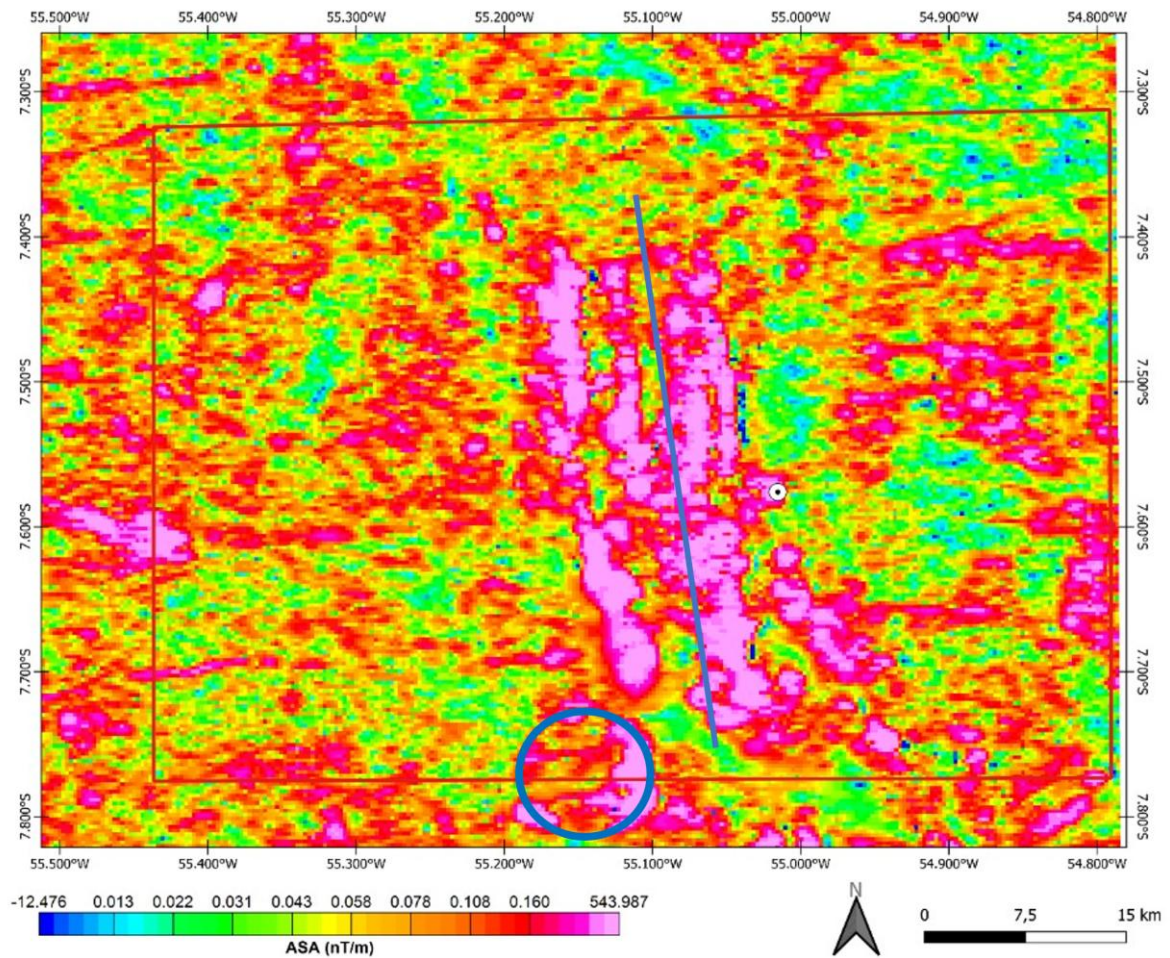


**Figura 13** - Mapa de composição ternária RGB de gamaespectrometria do Depósito V6.

Os dados aeromagnéticos foram utilizados com objetivo de identificar fontes magnéticas. Os principais métodos aplicados são baseados em derivadas verticais e horizontais do campo magnético para melhorar a resposta de fontes de diferentes profundidades (Pilkington e Tschirhart, 2017) como a amplitude do sinal analítico (ASA).

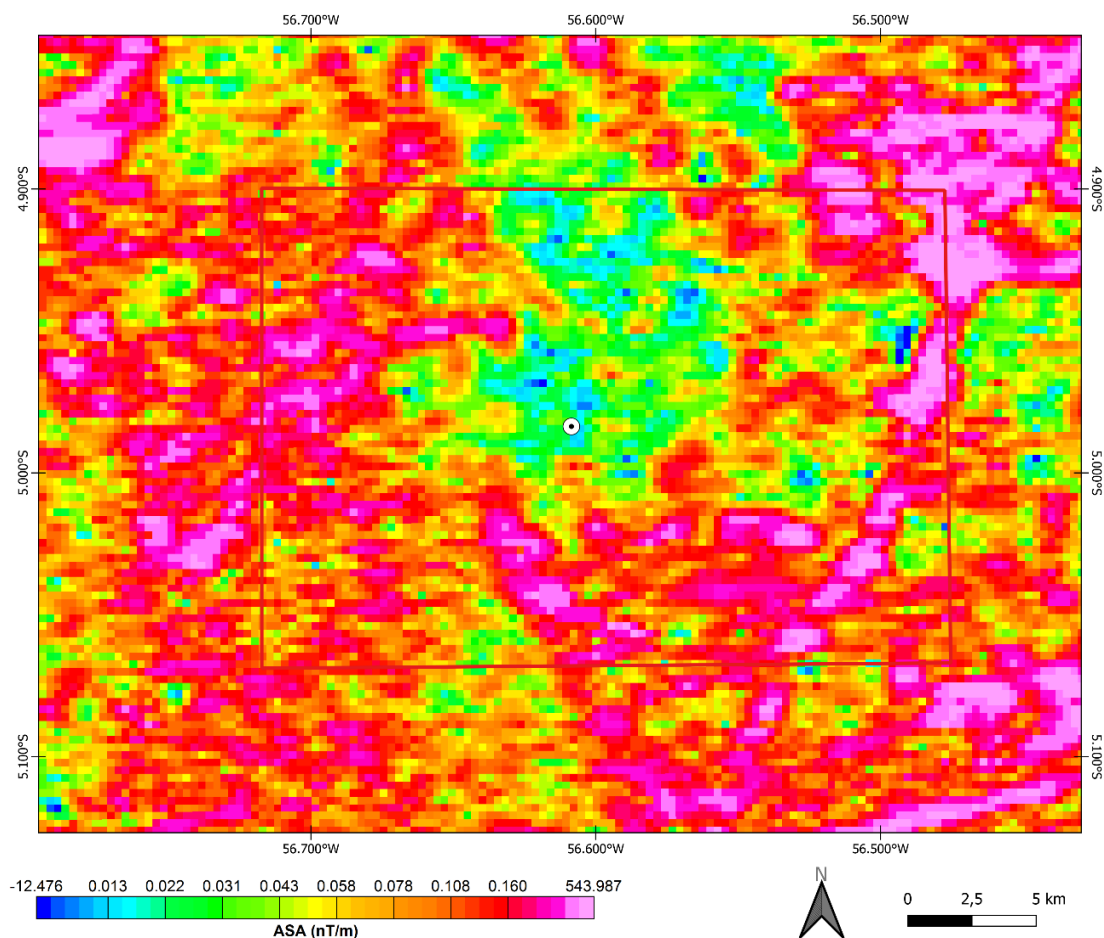
As anomalias no mapa ASA na região do Depósito Coringa (Fig. 14) sugerem que grande parte dos corpos de rochas vulcânicas/vulcanoclásticas e intrusivas são relativamente magnéticas, o que indica que o estado de oxidação dos magmas foi relativamente elevado.

Diversos corpos no centro do mapa (Fig. 14) apresentam orientação NNW-SSE. Esses corpos podem corresponder às alterações hidrotermais com magnetita associadas ao sistema pórfiro, diques máficos ou falhas com diques de rochas básicas, mas essas rochas não são descritas nos estudos prévios, o que pode indicar intrusões maiores de rochas básicas não aflorantes. Destaca-se diversos lineamentos com orientação aproximadamente E-W, uma delas intersectando a área do Depósito do Coringa, o que pode indicar estruturas alimentadoras das intrusões de magmas. Também vale destacar novamente a falta de estruturas e anomalias na altura do depósito Coringa ao leste, reduzindo a possibilidade da exploração de continuidades da mineralização para essa área.



**Figura 14** - Mapa de ASA (Amplitude de Sinal Analítico) do Depósito Coringa.

A região mais próxima ao depósito V6 não aparenta ser cortada por corpos magnéticos (Fig. 15). As intrusões mostram menor presença de minerais magnéticos devido a alterações hidrotermais intensas, típicas de mineralizações de baixa sufuração. As rochas basálticas e andesíticas da fase pré-caldeira aparecem nas áreas mais distantes do sistema epitermal (Corrêa-Silva, 2002).



**Figura 15** - Mapa de ASA (Amplitude de Sinal Analítico) do Depósito V6.

## 5.2. Descrição petrográfica

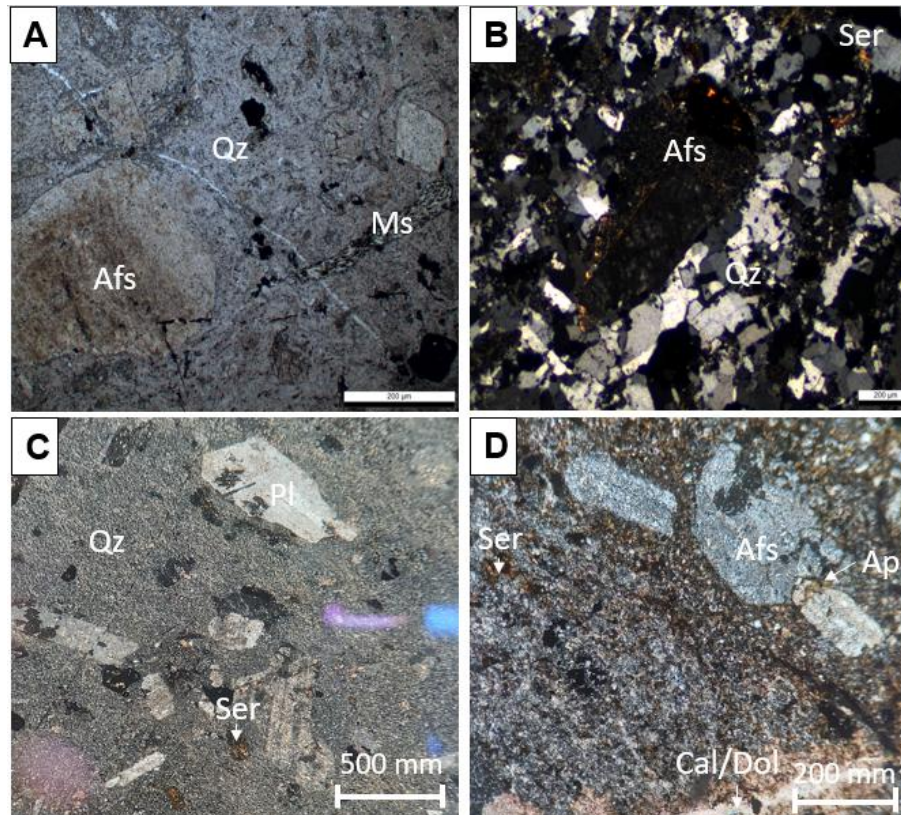
Nessa etapa, foram descritas 5 lâminas selecionadas do Depósito Coringa, sendo elas as amostras CO-01e, CO-54c, J-01, J-38 e J-39. Essas lâminas são de rochas vulcanoclásticas hospedeiras da mineralização, variavelmente hidrotermalizadas. No Depósito V6, foram selecionadas 4 lâminas representativas das principais litotipos hospedeiros das mineralizações de cobre-molibdênio, sendo essas amostras FV6-1/44, FV6-1/48, FV6-36A e FV6-1/28, avaliando também as principais alterações hidrotermais e influência na mineralogia da amostra. Complementarmente foi utilizado o MEV para identificar a composição aproximada de sulfetos mineralizados durante as alterações hidrotermais.

### 5.2.1. Depósito Coringa

As amostras CO-01e, CO-54c correspondem às rochas vulcanoclásticas de composição majoritariamente riolítica (Fig. 16A). Os cristais mais grossos da matriz possuem bordas com fraturas côncavas indicativas de fragmentação explosiva combinado com o aspecto turvo dos cristais, indica uma textura fragmental (Fig. 16B), assim como os

fragmentos líticos, alguns muito finos, substituídos totalmente por sericita, sugestivos de antigos fragmentos vítreos (Fig. 16B).

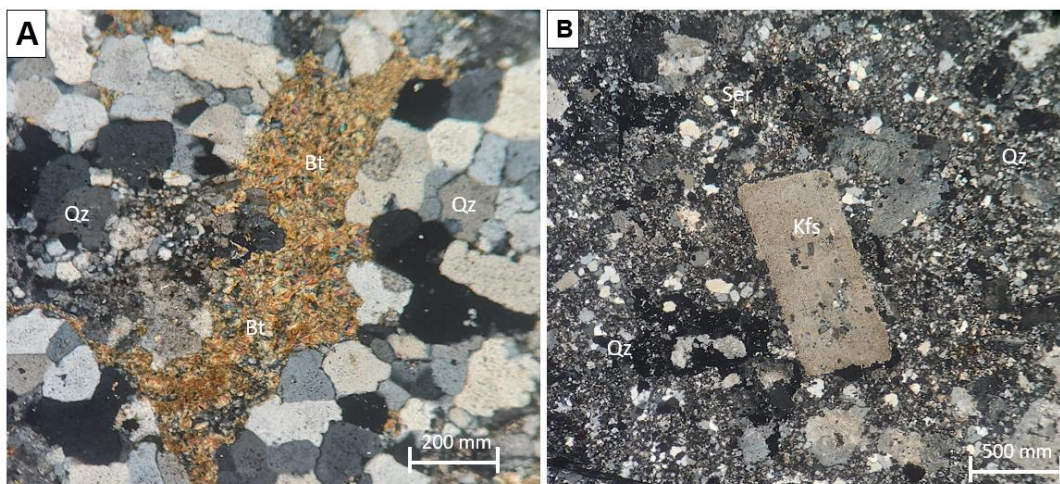
Tufos félsicos são representados pelas amostras CO-54c J-01. A primeira apresenta cristais bipiramidais de quartzo, apesar da substituição durante a silicificação (Fig. 16C). Já a segunda mostra fragmentos de rochas andesíticas e de feldspato alcalino e plagioclásio. Esses cristais são grossos e euédricos sendo envolvidos por uma matriz afanítica (Fig. 16D).



**Figura 16** - Fotomicrografia das amostras CO-01e, CO-54c e J-01. **A)** Rocha vulcanoclástica riolítica (amostra CO-01e) com fragmentos de cristais de feldspato alcalino (Afs) com fraturas côncava e fragmentos líticos. **B)** Amostra CO-54c, representante de rocha vulcanoclástica riolítica, com fragmentos de feldspato potássico (Afs) com fraturas côncavas, parcialmente substituídos por sericita, com grande volume modal de quartzo (Qz) hidrotermal. **C)** Dacito porfirítico, destacando-se a matriz muito fina com alteração sericítica forte e fluxo, com fenocristais predominantemente de plagioclásio (Pl) e, subordinadamente de feldspato potássio, com formas euédricas, texturas de reabsorção magmática e formando agregados (textura glomeroporfirítica). **D)** Detalhe da amostra J-01 mostrando vênulas preenchidas por carbonatos (Cal/Dol) na parte inferior e pequenos cristais de apatita (Ap) próximos aos feldspatos, possível resultado de exsolução. Ser = Sericita, Ms = Muscovita.

Os riolitos brechados da Formação Vila Riozinho (amostras J-38 e J-39) hospedam as mineralizações de Au-(Ag)-(Cu)-(Zn)-(Pb) do Depósito Coringa. O riolito apresenta matriz quartzosa com granulação variada, passando de muito fina a grossa em regiões relativamente próximas. Cavidades miarolíticas preenchidas por biotita hidrotermal (Fig. 17A) ou quartzo de granulação mais grossa são frequentes, assim como zonas de *stockwork* são frequentes. O riolito pode apresentar cor vermelha (amostra J-39) com matriz afanítica e quartzosa. No riolito

vermelho, os feldspatos são euédricos (Fig. 17B) a subédrico de granulação mais grossa que na maior parte da matriz definem texturas porfírica ou glomeroporfírica.



**Figura 17** - Fotomicrografia da amostra J-38 e J-39. **A)** Detalhe da biotita (Bt) hidrotermal em vênulas irregulares na amostra J-38 (anterior a alteração potássica). **B)** Feldspato potássico (Kfs) euédrico da amostra J-39, rico em inclusões de minerais, em matriz fina a muito fina inequigranular e alteração sericítica pouco intensa. Qz = Quartzo, Ser = Sericita.

As alterações hidrotermais incluem alteração potássica, sericitização, silicificação, argilização e propilitização, além dos vários sistemas de veios. A alteração potássica forma feldspato potássico e biotita que substituem parcial a totalmente feldspatos e biotita ígneos. O feldspato potássico hidrotermal constitui cristais subédricos (Fig. 18A) e, comumente, apresenta microinclusões de hematita. Já a biotita forma cristais subédricos com coloração esverdeada em luz com polarizadores descruzados. A biotita verde caracteriza a típica alteração potássica presente em sistema epitermal-pórfiro, segundo Sillitoe (2010).

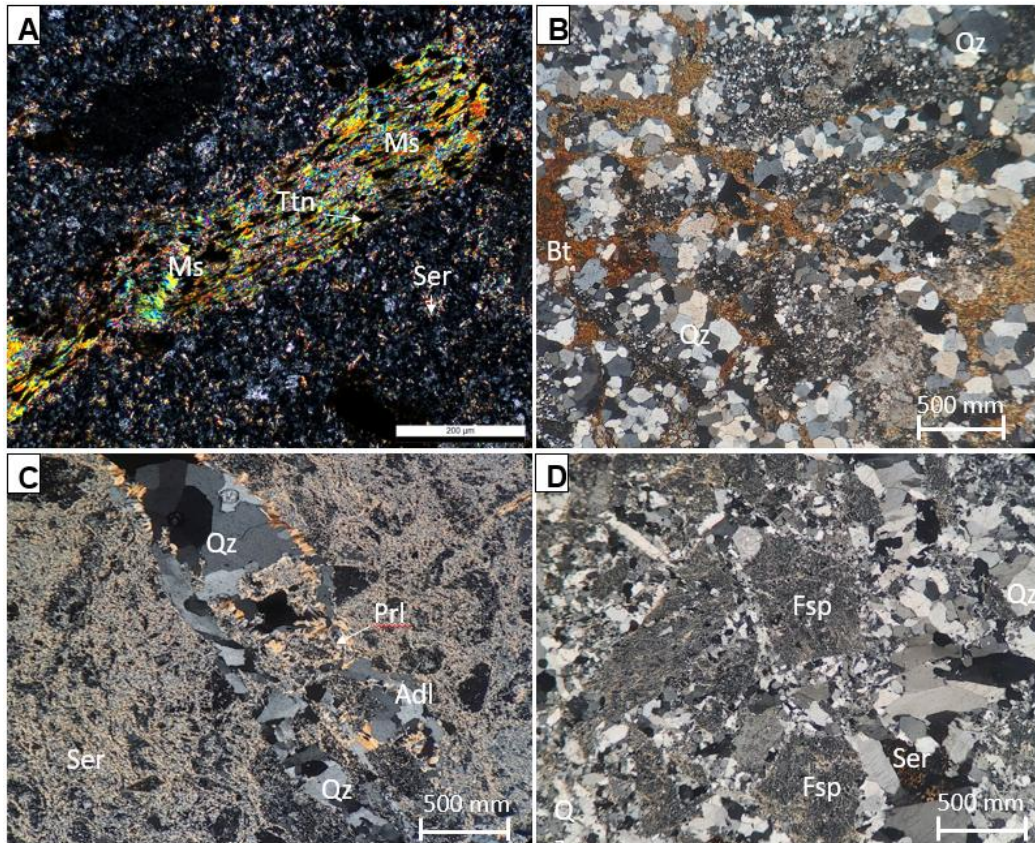
A sericitização substitui pervasivamente minerais ígneos, como feldspato, e minerais hidrotermais como o feldspato potássico e biotita da alteração potássica. Na biotita, a muscovita pode se formar com minerais opacos e titanita nos planos de clivagens como produtos de substituição. A sericita pode ocorrer com clorita, o que caracteriza uma alteração sericito-clorítica, típicas de zonas mais rasas de pórfiros, como definido por Sillitoe (2010), ou mais profundas de mineralizações epitermais.

Silicificação atuou de modo variado, com substituições moderadas a intensas dos minerais nas matrizes vulcânicas das rochas hospedeiras. O quartzo forma cristais finos a médios e anédricos a subédricos. Localmente, observa-se um possível controle estrutural da silicificação, onde ela é mais intensa nas porções mais fragmentadas, indicando processos simultâneos de brechação hidrotermal e/ou tectônica.

A alteração potássica posterior à silicificação da amostra é indicada pela biotita marrom em vênulas irregulares e com contatos difusos (Fig. 18B). Somente na amostra CO-01e foi identificada a alteração argílica. Ela é representada principalmente por argilominerais de granulação muito fina de birrefringência baixa ou alta que substituem os feldspatos e

muscovita. A alteração propilítica fraca é descrita somente na amostra J-38 sendo definida pela associação de epidoto, clorita e albita.

Em relação às vênulas, elas apresentam quartzo ± adulária ± apatita, quartzo-sericita e carbonatos (Fig. 18C). Estruturas em *stockwork* são comuns nas rochas vulcanoclásticas, como desenvolvimento de vênulas com quartzo controladas por fraturas ou irregulares (Fig. 18D).



**Figura 18** - Fotomicrografia com foco nas alterações hidrotermais das amostras. **A)** Detalhe da muscovita (Ms) com titanita e minerais opacos orientados nos planos de clivagem na amostra CO-01. Esta textura é indicativa da substituição completa de biotita pela forte alteração sericítica. **B)** Amostra de riolito brechado (J-38) intensamente silicificado e com abundantes vênulas de quartzo (Qz) configurando estrutura em *stockwork* e vênulas de biotita (Bt) hidrotermal cortando as vênulas de quartzo (Qz). **C)** Amostra CO-01e, onde pode-se observar a intensa substituição da matriz por sericita e uma vênula de quartzo (Qz) com adulária (Adl). **D)** Detalhe da textura clástica da amostra CO-54c, com cristalização de quartzo (Qz) em vênulas irregulares intraclasto, caracterizando a estrutura *stockwork*. A alteração sericítica é evidente nos fragmentos de granulação muito fina. Ttn = Titanita, Ser = Sericita.

A Figura 19 é um quadro paragenético feito com base nas análises petrográficas das rochas e trabalhos prévios na região do depósito:

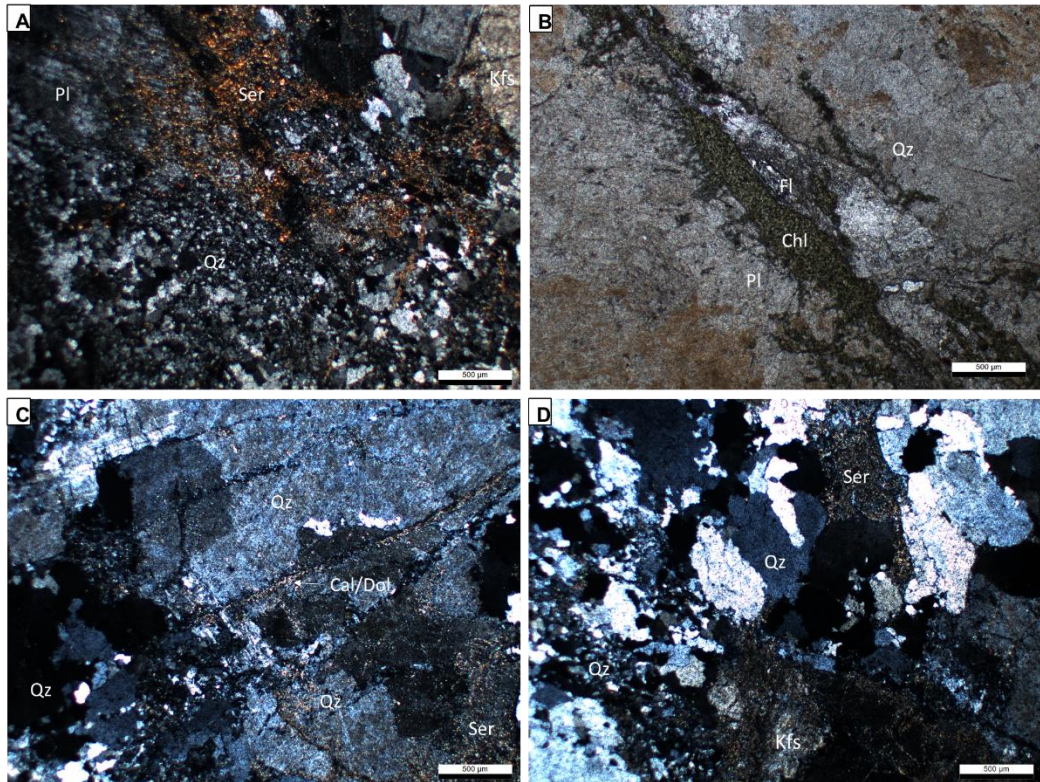
Minerais	Estágio Magmático	Alteração Potássica	Alteração Propilítica	Alteração Sericítica	Alteração Argílica
Quartzo	I	II	II	III	-----
Feldspato alcalino	I	II			
Plagioclásio	I	-----			
Biotita					
Anfibólio	I				
Muscovita	I			II	
Apatita		I			
Clorita			I	---	
Epidoto			I		
Albita			I	---	
Carbonato			I		
Sericita				I	
Adulária				I	
Pirita			---	I	
Calcopirita				I	
Caulinita					I

**Figura 19** – Quadro paragenético das rochas ígneas e das alterações hidrotermais associadas às mineralizações do Depósito Coringa.

### 5.2.2. Depósito V6

As amostras FV6-1/44 e 1/48 são representativas dos granitos intrusivos na unidade litoestratigráfica inferior. Na amostra FV6-1/44, o granito é afetado por zonas de cisalhamento (Fig. 20A), possuindo evidências de cristalização dinâmica no quartzo anteriores às fraturas preenchidas por clorita, fluorita, carbonatos e quartzo de geração posterior (Fig. 20B), a concentração de plagioclásio é superior à de feldspatos potássicos, sempre apresentando orientação preferencial causado por fluxo ígneo leve.

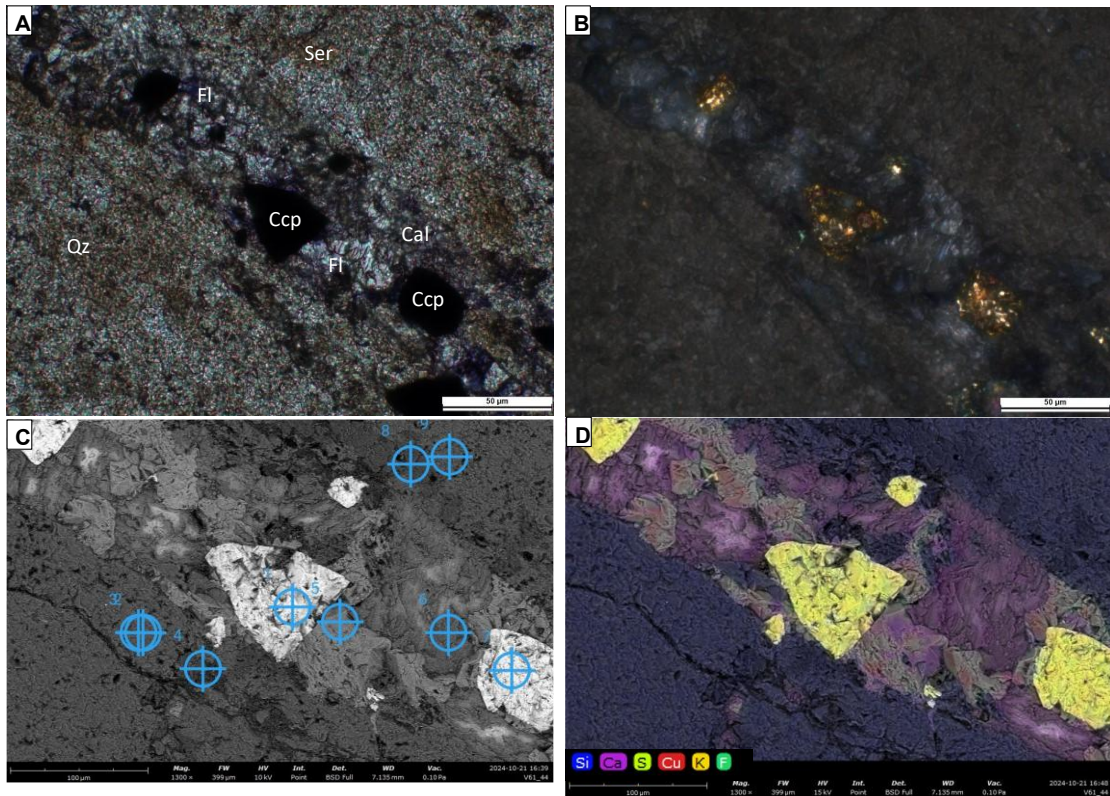
Na amostra FV6-1/48, o granito apresenta granulação mais grossa (Fig. 20C), é cortado por uma grande quantidade de vênulas quartzosas e possui algumas cavidades preenchidas por minerais hidrotermais. O plagioclásio mostra-se orientado, indicando fluxo ígneos e a rocha foi também afetada por deformações tectônicas que deforma os cristais e geraram sistemas de fraturas e de pequenas falhas.



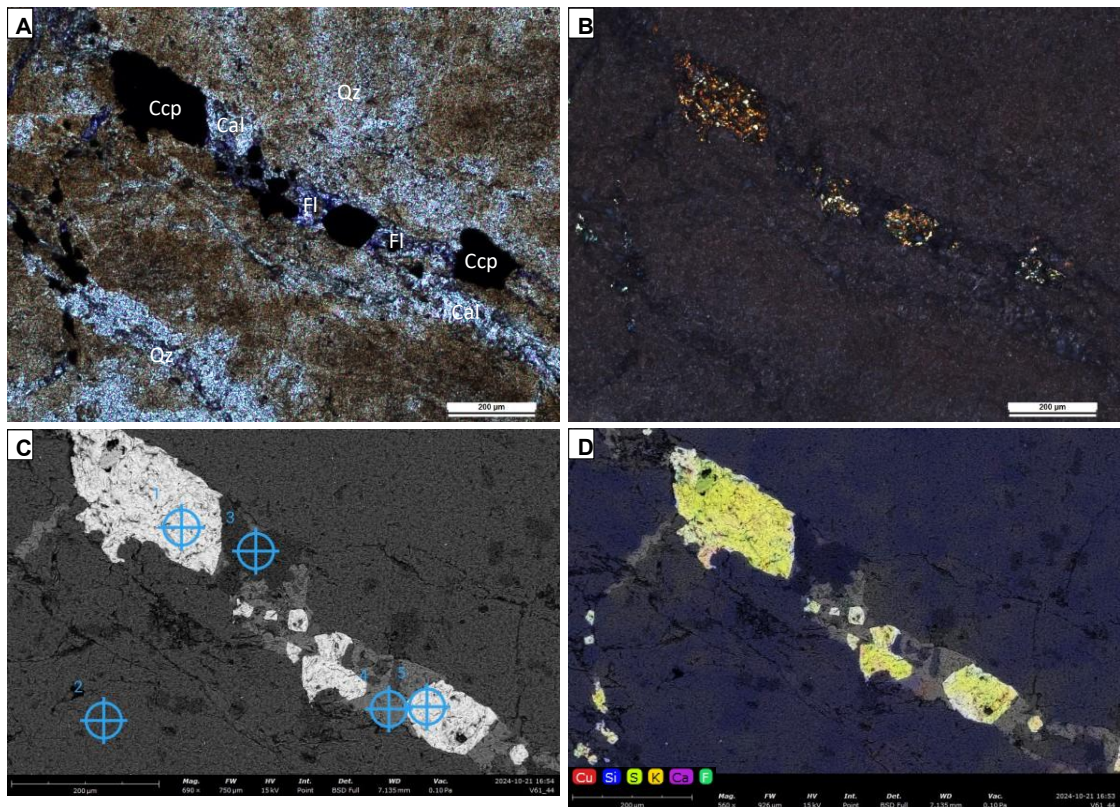
**Figura 20** - Fotomicrografia das amostras FV6-1/44 e 1/48. **A)** Quartzo (Qz) recrystalizado por cisalhamento substituído por sericita (Ser) com plagioclásio (Pl) associado da amostra FV6-1/44. **B)** Fratura em fenocristal de quartzo (Qz) preenchida por clorita (Chl) e fluorita (Fl) em plagioclásio (Pl) na FV6-1/44. **C)** Veio rico em carbonatos (Cal/Dol) cortando quartzo (Qz) na amostra FV6-1/48. **D)** Amostras FV6-1/48 com diferentes granulações de quartzo e feldspato potássico alterado (Kfs).

Apesar da mineralogia e características texturais parecidas, as amostras sofreram diferentes tipos de alteração hidrotermal. Na amostra FV6-1/44, nas proximidades das fraturas preenchidas por clorita + fluorita + carbonatos + (quartzo), ocorrem típicas alterações propilíticas, passam de fissurais para pervasivas, substituindo principalmente grãos mais grossos de plagioclásio. Já na amostra FV6-1/48, a alteração é um pouco mais complexa, com alteração potássica inicial (feldspato potássico + biotita) associada ao cisalhamento. Posteriormente ocorreu alteração propilítica fissural, marcada pelas fraturas preenchidas por clorita e fluorita, por último ocorreu sericitização também de forma fissural, afetando principalmente as partes da amostra com granulação menor (Fig. 20D).

Em ambas as amostras foram identificados sulfetos nas fraturas preenchidas por minerais hidrotermais e disseminados pela matriz da rocha. Na amostra FV6-1/44, a mineralização ocorre associada ao carbonato e fluorita, identificada como calcopirita com hábito triangular/piramidal (Fig. 21 e 22).



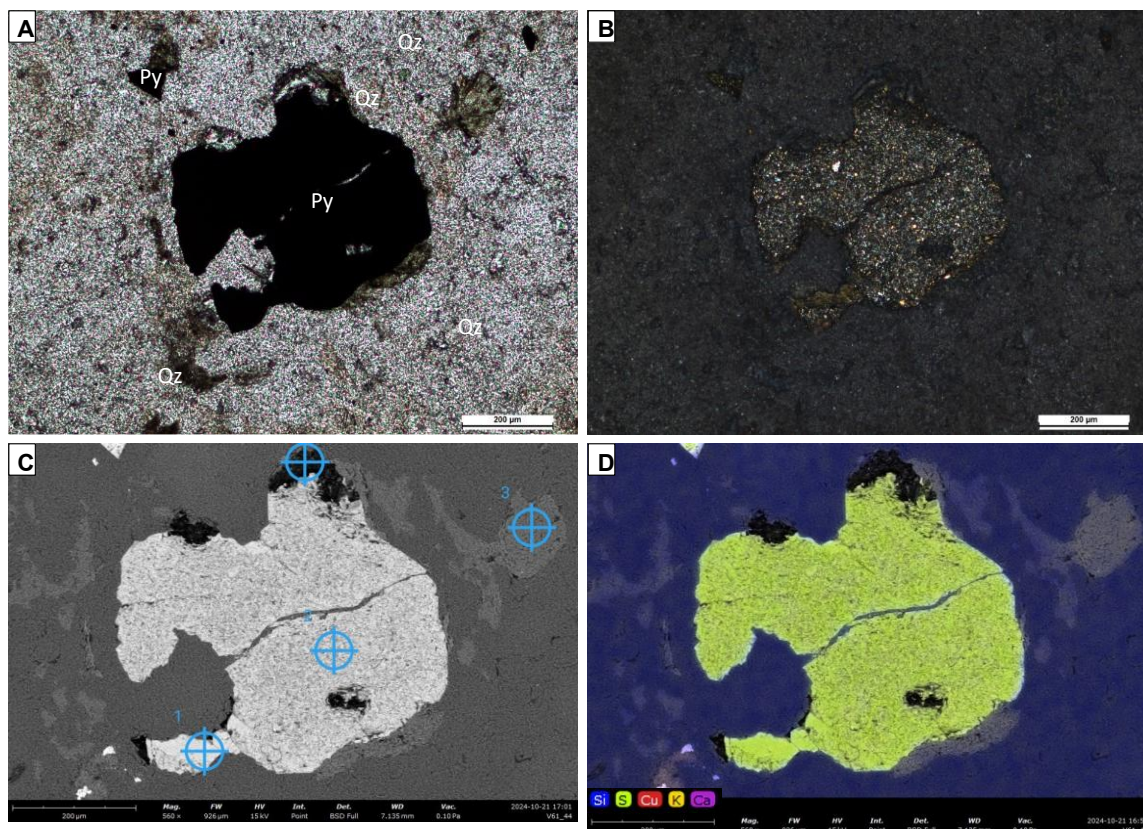
**Figura 21** – Microscopia eletrônica de varredura em vênulas hidrotermais da amostra FV6-1/44. **A)** Vênula com calcopirita (Ccp) associada à fluorita (Fl) e carbonatos em matriz quartzosa (Qz) sericitizada. **B)** Vênula com calcopirita em luz refletida. **C)** Spots do MEV para identificação dos sulfetos e outros minerais. **D)** Esquema de cores na amostra com base nos principais elementos químicos (Si+Ca+S+Cu+K+F).



**Figura 22** – Microscopia eletrônica de varredura em vênulas hidrotermais da amostra FV6-1/44. **A)** Vênula com calcopirita (Ccp) associada à fluorita (Fl) e calcita (Cal) em matriz quartzosa (Qz) sericitizada. **B)** Vênula com

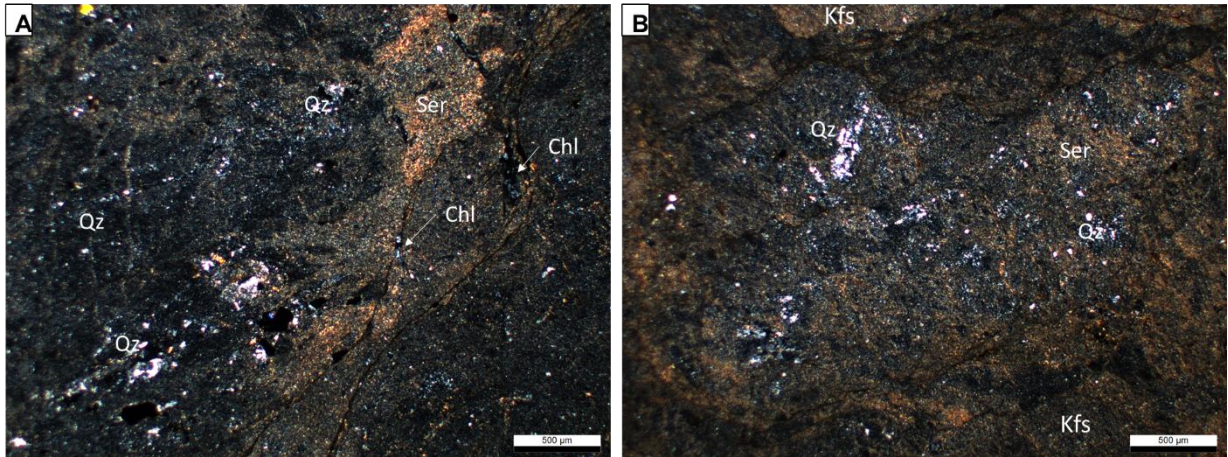
calcopirita em luz refletida. **C)** Spots do MEV para identificação dos sulfetos e outros minerais. **D)** Esquema de cores na amostra com base nos principais elementos químicos (Si+Ca+S+Cu+K+F).

Na amostra FV6-1/48 foi identificada pirita disseminada e nas proximidades de fraturas juntamente com alteração propilítica com carbonatos (Fig. 23).



**Figura 23** – Microscopia eletrônica de varredura em vênulas hidrotermais da amostra FV6-1/48. **A)** Pirita (Py) disseminada em matriz quartzosa (Qz). **B)** Pirita disseminada em luz refletida. **C)** Spots do MEV para identificação dos sulfetos e outros minerais. **D)** Esquema de cores na amostra com base nos principais elementos químicos (Si+S+Cu+K+Ca).

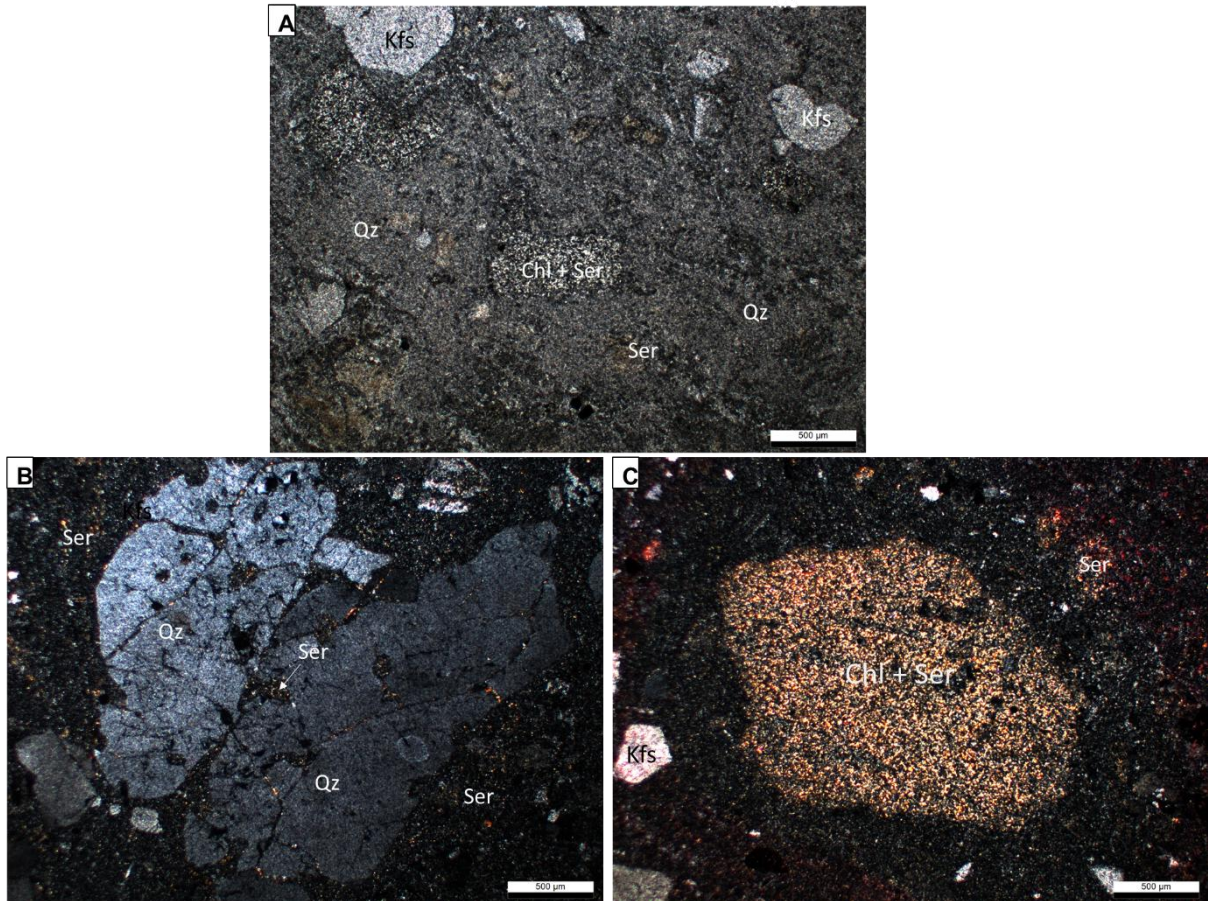
A amostra FV6-36A representa uma rocha vulcanoclástica, podendo ser correlacionada com a Formação Bom Jardim. A rocha apresenta uma matriz fina, textura afanítica e quartzosa cortada por uma vênula de brecha hidrotermal (Fig. 24A) e por vênulas de quartzo e clorita com minerais opacos anédricos (possivelmente sulfetos) que seguem a mesma direção do fluxo hidrotermal.



**Figura 24** – Fotomicrografia com polarizadores cruzados da amostra FV6–36A. **A)** Brecha hidrotermal rica em sericita (Ser) cortando veios preenchidos por clorita (Chl). **B)** Matriz vítrea cristalizada da rocha vulcanoclástica quase totalmente substituída por sericita (Ser) com restos de feldspatos potássico fraturado (Kfs).

Grande parte da matriz vítrea fina é substituída pela sericitização (Fig. 24B), que está associada à brecha hidrotermal, é orientada pelo fluxo e corta os veios formados pela alteração propilítica. Posteriormente houve recristalização leve, gerada por um cisalhamento no final da sericitização.

A amostra FV6–1/28 apresenta textura porfirítica, com fenocristais de quartzo, ortoclásio e plagioclásio em matriz fina quartzo-feldspática. Observar-se ao menos três gerações de quartzo, a primeira formada por fenocristais euédricos com feições de corrosão magmática e arredondamentos causados pelo fluxo ígneo (Fig. 25A). A segunda é constituída por quartzo fino associado ao ortoclásio na matriz. E a última é relacionada à sericitização na amostra, preenchendo algumas fraturas em fenocristais e espaços na matriz (Fig. 25B). O ortoclásio também apresenta gerações diferentes associadas aos fenocristais e a matriz.



**Figura 25** – Fotomicrografia da amostra FV6–1/28. **A)** Matriz fina com alteração sericítica pervasiva intensa, fenocristais de feldspatos fraturados. **B)** Fenocristal de quartzo (Qz) com fraturas preenchidas por sericita. **C)** Fenocristal de plagioclásio completamente substituído por clorita (Chl) e posteriormente por sericita (Ser).

A alteração hidrotermal mais intensa é mais evidente no plagioclásio, pois os fenocristais foram substituídos quase completamente por clorita proveniente da alteração propilítica e, posteriormente, por sericita (Fig. 25C), que também afetou intensamente a matriz da rocha, substituindo grande parte dos minerais de granulação mais fina. Biotita ígnea ocorre apenas como relíquias devido à substituição quase completa por clorita.

A Figura 26 é um quadro paragenético feito com base nas análises petrográficas das rochas e trabalhos prévios da região do depósito:

Minerais	Estágio Magmático	Alteração Potássica	Alteração Propilítica	Alteração Sericítica	Alteração Argílica
Quartzo	I		II	III	
Feldspato alcalino	I	II			
Plagioclásio	I		II		
Biotita	I	II			
Anfibólio	I				
Clorita			I		
Carbonato			I		
Sericita			I		
Adulária			I		
Pirita			I		
Calcopirita			I		
Molibdenita				I	
Caulinita					I

**Figura 26** – Quadro paragenético das rochas ígneas e das alterações hidrotermais associadas às mineralizações do Depósito V6.

## 6. DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

### 6.1. Dados Aerogeofísicos e Sensoriamento Remoto

No geral, as duas regiões apresentam contextos geológicos próximos, com a análise dos modelos digitais de elevação, foram identificadas diversas estruturas vulcânicas, possíveis caldeiras e falhas que seguem na maioria das vezes a direção NW-SE e NNW-SSE. Interessante ressaltar a identificação de estruturas típicas de intrusões de pórfiros nas áreas próximas ao alvo principal dos depósitos. Na região do Depósito Coringa, existem feições relacionadas a Suíte Intrusiva Maloquinha, que foi originada em evento anarogênico e, portanto, não possui interesse exploratório. O Depósito V6 apresenta uma cobertura sedimentar extensa, sendo possível identificar suas estruturas principalmente na porção próxima ao Rio Tapajós. Ambos os depósitos têm afloramento do embasamento granítico na parte leste, reduzindo o interesse de exploração mineral nessas áreas.

Nos mapas de composição ternária, é possível identificar anomalias diversas em ambos os depósitos. No centro do depósito Coringa, uma coloração branca é predominante devido à alta concentração dos três elementos (K, U e Th), podendo ser relacionadas às atividades hidrotermais de um sistema epitermal-pórfiro, que remobilizam e geram minerais potássicos, (i.e., sericita e illita), enquanto as concentrações de tório e urânio podem indicar magmas mais tardios e evoluídos do sistema orogênico. Ainda no depósito Coringa, estruturas circulares identificadas ao leste podem representar alterações hidrotermais em pórfiros intrusivos, que não ocorrem em outras intrusões ao norte, sendo um indicativo para geração de mineralizações do tipo pórfiro. No depósito V6, existem anomalias de potássio + tório, e concentração dos três elementos na parte central do depósito, podendo-se interpretar como alterações hidrotermais geradas pelo sistema epitermal-pórfiro e com chance maior de continuidade de mineralizações. Ao Sul, as concentrações não apresentam anomalias, indicando uma baixa alteração hidrotermal e, portanto, baixa potencialidade mineral.

As anomalias magnéticas do depósito Coringa sugerem que os corpos intrusivos da região são magnéticos, causados por um estado de oxidação do magma mais elevado, o que é compatível com a geração de mineralizações epitermais *intermediate-* e *high-sulfidation* e de pórfiros de cobre (Einaudi et al., 2003, Sillitoe, 2010). No depósito V6, as intrusões podem ser mais empobrecidas em minerais magnéticos, o que parece refletir uma zona com alterações hidrotermais mais intensas, onde os minerais magnéticos são destruídos no sistema epitermal, características típicas de mineralizações *low-sulfidation* (Sillitoe, 2010)). As rochas basálticas e andesíticas basais da sequência vulcânica descrita por Corrêa-Silva (2002), que compõe as rochas da fase pré-caldeira, são indicadas apenas nas partes mais distais do sistema epitermal.

## 6.2. Petrografia e Alteração Hidrotermal do Depósito Coringa

Comparando-se a petrografia com os estudos prévios (Tokashiki, 2015; Tokashiki et al., 2015; Guimarães et al., 2020, 2021), confirmou-se que a alteração propilítica predomina nas partes distais do halo de alteração e é uma fase posterior à alteração potássica e prévia à alteração sericítica, nestes casos, sempre em intensidade fraca.

A alteração sericítica é a alteração do halo interno das mineralizações no Depósito do Coringa, afetando intensamente as rochas vulcanoclásticas, riolíticas e dacíticas, que são as rochas hospedeiras dos veios e zonas de *stockworks*. Esse tipo de alteração substitui principalmente os feldspatos, porém na matriz fina das rochas vulcanoclásticas, a alteração foi mais intensa, devido a facilidade da sericita na substituição do vidro e cristais finos e muito finos. Sua paragênese principal é formada por sericita-pirita-quartzo (QSP), podendo conter adulária e calcopirita.

A associação com adulária caracteriza a alteração como epitermal *low-sulfidation* (Hedenquist et al., 2000; Sillitoe e Hedenquist, 2003), mas a presença comum de sulfetos de metais de base e carbonatos, em especial de calcita manganesífera (Tokashiki, 2015; Tokashiki et al., 2015) indica predominância do tipo *intermediate-sulfidation* (Le et al., 2019). A possível presença de pirofilita é indicativa de oscilações dos fluidos para sistemas mais oxidados e ácidos, resultando em alteração argílica avançada e sistemas do tipo *high-sulfidation* (Hedenquist et al., 2000; Hedenquist, 2003; Sillitoe, 2010).

Silicificação também é muito comum no depósito, com vênulas e cavidades preenchidas por quartzo microcristalino em todas as amostras, além do quartzo microcristalino, outros minerais se cristalizaram com a percolação dos fluidos hidrotermais, como os sulfetos, clorita, sericita, etc. Esses veios e vênulas constituem os minérios de ouro do Depósito do Coringa.

A alteração argílica tardia observada em uma das amostras deve corresponder aos reequilíbrios do sistema hidrotermal com a queda da temperatura e/ou a intemperismo. A formação de argilas pode estar relacionada a uma maior mistura dos fluidos derivados da consolidação de magmas com fluidos meteóricos (Sillitoe, 2010).

A cristalização de feldspato e biotita hidrotermais, ou somente a biotitização é prévia às alterações descritas acima. Estes tipos de alteração hidrotermal são tipicamente relacionados aos pórfiros, assim como as alterações sericito-cloríticas descritas nas amostras CO-01e e J-39 (Sillitoe, 2010). Estas alterações ocorrem nas proximidades de intrusões de pórfiros (Tokashiki, 2015; Tokashiki et al., 2015; Guimarães et al., 2020; 2021) e podem representar potencialidade para ocorrência de mineralizações do tipo pórfiro em níveis crustais mais profundos que os atualmente expostos no Depósito do Coringa. As alterações *intermediate-sulfidation*, predominantes no depósito do Coringa, podem ter sua origem associadas ao estado de oxidação do magma ou na neutralização primária (Einaudi et al.,

2003 Sillitoe, 2010), o que é muito comum no sistema mineral epitermal-pórfiro. Assim, caso se trate de alterações devidas à neutralização primária, as mineralizações do tipo pórfiro não devem estar sob o sistema epitermal e o Depósito do Coringa poderia estar no halo distal do pórfiro de cobre ainda não aflorante.

As alterações *intermediate-sulfidation* decorrentes da neutralização primária são formadas por fluidos derivados de magmas relativamente oxidados e as possíveis oscilações do sistema para alterações *high-sulfidation* indicam potencial para pórfiros com cobre neste sistema mineral (Einaudi et al., 2003, Sillitoe, 2010).

### **6.3. Petrografia e Alteração Hidrotermal do Depósito V6**

De acordo com as lâminas analisadas e comparações com os estudos prévios do depósito (Corrêa-Silva, 2002; Aguja-Bocanegra, 2013), as alterações hidrotermais identificadas no Depósito V6 variam de temperaturas mais altas como metassomatismo sódico até alterações de menor temperatura, como a alteração argílica. O metassomatismo sódico ocorre nas unidades mais profundas, principalmente nos monzogranitos e pórfiros da região, apresentando estilo fissural como alteração principal e levemente pervasivo em algumas regiões (Aguja-Bocanegra, 2013). Durante a análise petrográfica, não foi identificada a sua paragênese principal da alteração sódica, caracterizada pela albita na borda de feldspatos. Isso ocorreu porque foram selecionadas unidades com mineralizações que estão associadas às alterações de temperaturas menores.

A alteração potássica afeta de forma intensa os monzogranitos, pórfiros e riolitos porfíricos do depósito, em estilo pervasivo e fissural. O feldspato potássico normalmente de segunda geração e a biotita hidrotermal foram identificados nas amostras graníticas da sequência inferior do Grupo Iriri, mesmo que muitas vezes afetados pela sobreposição de alterações de menor temperatura e substituição quase completa da biotita (ígnea e hidrotermal), durante as alterações propiliticas e sericíticas posteriores. Em unidades da sequência superior, como as rochas vulcanoclásticas associadas com as Formações Aruri e Buiuçu (Corrêa-Silva, 2002), o metassomatismo potássico ocorre raramente, sempre de forma leve.

A propilitização é a alteração hidrotermal mais comum nas amostras analisadas do depósito V6, ocorre em basicamente todas as unidades de forma fissural e pervasiva, as alterações mais intensas ocorrem em monzogranitos, pórfiros e andesitos (Aguja-Bocanegra, 2013). A mineralogia característica da alteração é de clorita + calcita + epidoto, associados fortemente aos sulfetos como pirita e calcopirita, principalmente em fraturas preenchidas, veios, vênulas e regiões próximas, assim como confirmado com MEV nas amostras graníticas. Em amostras de andesito e rochas vulcanoclásticas da sequência superior, a alteração é

sobreposta fortemente por sericitização, dificultando a classificação de texturas e mineralogia inicial.

A alteração sericítica ocorre em todos os litotipos e é caracterizada pela associação QPS (Sericita + Quartzo + Pirita + Calcopirita). Em unidades mais profundas, como monzogranitos e andesitos, a alteração é seletivamente pervasiva, substituindo feldspatos, com preenchimento fissural de fraturas, formando microvênulas (Aguja-Bocanegra, 2013), já nas vulcanoclásticas e porfíricas na sequência superior, a alteração é principalmente pervasiva, substituindo matriz vítrea e regiões com granulometria mais fina, raramente ocorrendo no estilo fissural, somente se associadas às brechas hidrotermais. Segundo Aguja-Bocanegra (2013), as mineralizações ocorrem de forma notável em estilo fissural em vênulas e fraturas preenchidas por sericita-quartzo-pirita-calcopirita nos pórfiros. A alteração argílica é a menos registrada nas amostras, ocorrendo somente em tufos e riolitos porfíricos da sequência superior, por ser uma alteração de baixa temperatura e ter interações com o fluido meteórico. A argilitização ocorre em estilo fissural e pervasivo na matriz das rochas, sendo caracterizada pela presença de caulinita.

## **7. CONCLUSÃO**

Os sistemas epitermais dos tipos *low a high-sulfidation* identificados na porção sul do Cráton Amazônico apresentam alterações hidrotermais e evidências geofísicas que sugerem a continuidade da mineralização de metais básicos em níveis crustais mais profundos, associados a sistemas pórfiros. As rochas vulcânicas e vulcanoclásticas que hospedam as mineralizações observadas nos dois depósitos foram geradas em um evento magmático de aproximadamente 1,97 Ga (Evento Magma Uatumã s.l.), associadas à Formação Vila Riozinho no Depósito Coringa e ao Grupo Iriri no Depósito V6.

Com a análise dos dados aerogeofísicos e de sensoriamento remoto, foram identificadas estruturas como caldeiras vulcânicas, estruturas tectônicas com direção preferencial NW-SE, intrusões de pórfiros, falhas que hospedam mineralizações epitermais, rochas sedimentares, estruturas de granitos anorogênicos, anomalias químicas e magnéticas ligadas às intrusões. Todos esses dados ajudam na compreensão do sistema magmático-hidrotermal e auxiliam na comparação com depósitos de gênese conhecida. No geral, esses dados podem ajudar a vetorização da exploração mineral da região, colaborando com a definição de novos alvos e possíveis mineralizações.

No Depósito V6, as alterações hidrotermais alcançaram temperaturas mais elevadas em comparação às do Depósito Coringa, alteração potássica junto ao depósito e com propilitização distal e superposta às alterações de mais alta temperatura. Os sulfetos analisados em MEV podem indicar ainda mais a potencialidade da região para pórfiros de

cobre, principalmente pela presença de pirita e calcopirita associada à calcita e fluorita em brechas e fraturas da alteração propilítica.

O Depósito Coringa apresenta predominância de alteração sericítica, sendo a principal associação para as mineralizações de ouro em fase de pesquisa da região. A possibilidade de associação com um sistema pórfiro em nível crustal mais profundo não é descartada, porém a associação paragenética do depósito e suas indicações geofísicas sugerem que as mineralizações epitermais podem estar em um halo distal de um pórfiro de cobre não aflorante, não estando diretamente sob os alvos principais do Coringa.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguja Bocanegra, M.A., 2013. Mineralizações Epitermal Low-Sulfidation e do tipo Pórfiro Superpostas associadas os Magmatismo Félsico de 1,88 GA na Parte Norte da Província Mineral do Tapajós (PA). Mémoire de Maîtrise, Instituto de Geociências, Université de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/D.44.2013.tde-11022014-143428.
- Bard, J.P., 1986, Microtextures of igneous and metamorphic rocks. D. Reidel Publishing company, Dordrecht.
- Bettencourt, J.S., Juliani, C., Xavier, R.P., Monteiro, L.V.S., Bastos Neto, A.C., Klein, E.L., Assis, R.R. de, Leite Júnior, W.B., Moreto, C.P.N., Fernandes, C.M.D., Pereira, V.P., 2016, Metallogenic systems associated with granitoid magmatism in the Amazonian Craton: An overview of the present level of understanding and exploration significance. *Journal of South American Earth Sciences*, 68, 22–49. doi.org/10.1016/j.jsames.2015.11.014.
- Cassini, L.V., Moyén, J.-F., Juliani, C., 2020, Orosirian magmatism in the Tapajós Mineral Province (Amazonian Craton): The missing link to understand the onset of Paleoproterozoic tectonics. *Lithos*, 356–357: 105350.
- Cassini, L.V., Moyén, J.-F., Cellier, G., Freitas, B. de, Juliani, C. Laurent, O., 2022, Towards the fertility trend: Unraveling the economic potential of igneous suites through whole-rock and zircon geochemistry (example from the Tapajós mineral Province, Northern Brazil). *Ore Geology Reviews*, 142: 104643.
- Cassini, L.V., 2016, Alteração Hidrotermal e Gênese da Mineralização Aurífera do Patrocínio, Província Mineral do Tapajós (PA). Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 151 p.
- Cordani, U.G.; Juliani, C., 2019, Potencial mineral da Amazônia: problemas e desafios. Ediciones Universidad de Salamanca - CC BY-NC-ND, *Revista de Estudios Brasileños*, 6(11): 91-108. ISSN: 2386-4540, <https://doi.org/10.14201/reb201961191108>
- Correa, R.T.; Vidotti, R.M.; Fontes, S.L.; Scandolara, J.E., 2024, A multi-disciplinary geophysical approach reveals a Paleoproterozoic cryptic suture in the Amazon Craton – Implications for Proterozoic Supercontinent reconstructions. *Precambrian Research*, 400: 107249
- Corrêa-Lima, R.G.; Klein, E.L., 2020, Hydrothermal alteration, mineralization and fluid inclusions in the Pista and Fofão prospects: implications for the genetic model of the Coringa polymetallic deposit, SE Tapajós Mineral Province, Amazonian Craton, Brazil. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, 3(1): 33-59.
- Corrêa-Silva, R.H., Juliani, C., Nunes, C.D.M., 2000, Hydrothermal alteration gold mineralizations in rapakivi-like granite from Garimpo do Batalha, Tapajós Province, Amazon Craton, Brazil. 31st Int. Geol. Congr. IUGS, CPRM, Rio de Janeiro, Brazil, Abstr. [CD-ROM].
- Corrêa Silva, R.H., Juliani, C., Freitas, F.C., 2002, Mineralogia de um sistema epitermal low-sulfidation (adulária-sericita) paleoproterozóico na província aurífera do Tapajós, PA. In: *Anais. João Pessoa: SBG-NO*, p. 440-441
- Costi, H.T., Dall’Agnol, R., Moura, C.A.V., 2000, Geology and Pb-Pb Geochronology of Paleoproterozoic Volcanic and Granitic Rocks of Pitanga Province, Amazonian Craton Northern Brazil. *International Geology Review*, 42, 832–849. doi.org/10.1080/00206810009465114.
- Coutinho, M.G.N. da, Robert, F., Santos, R.A., 1997, A first approach in understanding the gold mineralization of the Tapajós Mineral Province, Amazonian area, Brazil. In: *X International Gold Symposium - Au’97, 1997, Rio de Janeiro, RJ*.

- Coutinho, M.G.; Liverton, T.; Souza, E.C., 1998, Granitic magmatism and related gold mineralization in the Tapajós Mineral Province, Amazonian Area, Brazil. In: International Symposium on Granites and Associated Mineralizations, 2., Salvador, 1997. Extended Abstract and Program.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1967, Rock forming Minerals. Longman, London.
- Dreher, A.M.; Vlach, S.R.F.; Martini, S.L., 1998, Adularia associated with epithermal gold veins in the Tapajós Mineral Province, Pará State, northern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v 28, n. 3, 397-404p
- Echeverri-Misas, C.M., 2010, Evolução Magmática, Alteração Hidrotermal e Gênese da Mineralização de Ouro e Cobre do Palito, Província Aurífera do Tapajós (PA). Master's Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.
- Echeverri-Misas, C.M. and Juliani, C. 2015. Geologia e alteração hidrotermal nas rochas vulcânicas e plutônicas paleoproterozóicas na porção sul da Província Mineral do Tapajós (PA). *Instituto de Geociências*, Ph.D., 273.
- Einaudi, T., Hedenquis, J., Inan, E., 2003, Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. Volcanic, geothermal and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes within the Earth, Special Publication, 10, Society of Economic Geologists.
- Fisher, R.V. e Schmincke, H.U., 1984, Pyroclastic Rocks. Berlin: Springer-Verlag, 472 p.
- Florinsky, I.V., 2016, Lineaments and Faults, in Elsevier eBooks, p. 353–376, doi:10.1016/b978-0-12-804632-6.00014-6.
- Gómez-Gutiérrez, D.F., 2018, Petrogênese e metalogenia do magmatismo Paleoproterozoico na porção sul da Província Mineral do Tapajós, Cráton Amazônico. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 187 p.
- Guimarães, S.B. and Klein, E.L., 2020, Geochemical and isotopic constraints on the host rocks of the magmatic-hydrothermal Coringa gold-silver (Cu–Pb–Zn) deposit of the Tapajós mineral province, amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 103, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102726>.
- Guimarães, S.B., Klein, E.L., Harris, C. and Costa, I.S.L., 2021, Metallogenesis of the orosirian epithermal Coringa gold-silver (Cu-Pb-Zn) deposit, southeastern Tapajós mineral Province, Amazonian craton, Brazil. *Ore Geology Reviews*, 128, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103908>.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A., Urien-Gonzalez, E., 2000, Exploration for epithermal gold deposits. In: Hagemann, S.G. e Brown, P.E. (Eds.) *Gold in 2000*. Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology*, p. 245-277.
- Jacobi, P., 1999, The discovery of epithermal Au-Cu-Mo Proterozoic deposits in the Tapajós province, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 29: 277–279. doi.org/10.25249/0375-7536.199929277279.
- Juliani, C., Nunes, C.M.D., Bettencourt, J.S., Corrêa-Silva, R.H., Monteiro, L.V.S., Neumann, R., Alcover Neto, A., Rye, R.O., 2000, Early Proterozoic volcanic-hosted quartz-alunite epithermal deposits in the Tapajós Gold Province, Amazonian Craton, Brazil. In: GSA Annual Meeting, Reno, Abstracts with programs.
- Juliani, C.; Carneiro, C. de C.; Carneiro-Araújo, S.A.; Fernandes, C.M.D.; Monteiro, L.V.S.; Crósta, A.P., 2013, Estruturação dos arcos magmáticos paleoproterozoicos na porção sul do Cráton Amazônico: Implicações geotectônicas e metalogenéticas. In: *Anais do Simpósio de Geologia da Amazônia*, 13, Belém, Pará, SBG-NN. [CD-ROM]
- Juliani, C.; Assis, R.R. de; Monteiro, L.V.S.; Fernandes, C.M.D.; Martins, J.E.Z. da S.; Costa, J.R. C., 2021, Gold in Paleoproterozoic (2.1 to 1.77 Ga) continental magmatic arcs at

- the Tapajós and Juruena mineral provinces (Amazonian Craton, Brazil): A new frontier for the exploration of epithermal-porphyry and related deposits. *Minerals*, 11, 1–43, <https://doi.org/10.3390/min11070714>.
- Juliani, C.; Rye, R.O.; Nunes, C.M.D.; Snee, L.W.; Correa Silva, R.H.; Monteiro, L.V.S.; Bettencourt, J.S.; Neumann, R.; Neto, A.A., 2005, Paleoproterozoic High-Sulfidation mineralization in the Tapajós Gold Province, Amazonian Craton, Brazil: geology, mineralogy, alunite argon age, and stable-isotope constraints. *Chemical Geology* 215: 95-125.
- Le, W., Ke-Zhang, Q., Guo-Xue, S., Guang-Ming, L., 2019, A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews*, v. 107, p. 434-456
- Martins, J.E.Z. da S., 2024, Towards an Integrated Understanding of Paleoproterozoic (ca 2.1 to 1.70 Ga) Magmatism of the Southern Amazon Craton: Tracking Crustal Evolution and Magmatic Fertility at Columbia Margin. *Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia. Instituto de Geociências da USP.*
- MacKenzie, W.S.; Adams, A.E., 1994, A color atlas of rocks and minerals in thin section. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Mackenzie, W.; Guilford, C., 1982, Atlas of igneous rocks and their textures: Halsted. 148 p.
- Mcphie, J., Allen, R., Doyle, M., 1993, Volcanic textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Hobart: Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, University of Tasmania, 198 p.
- Melgarejo, J.C., 1997, Atlas de asociaciones minerales en lâmina delgada. Edicions de La Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Minty, B., 2000, Automatic merging of gridded airborne gamma-ray spectrometric surveys: *Exploration Geophysics*, v. 31, p. 47–51, doi:10.1071/EG00047.
- Nunes, C.M.D., Juliani, C., Corrêa-Silva, R.H., Bettencourt, J.S., Jacobi, P., 2000, Paleoproterozoic quartz-alunite epithermal gold mineralization from Tapajós (Brazil), In: *International Geological Congress, 31. Abstracts...*, Rio de Janeiro, Brazil. [CD-ROM]
- Pilkington, M., Tschirhart, V., 2017, Practical considerations in the use of edge detectors for geologic mapping using magnetic data: *Geophysics*, v. 82, p. J1–J8, doi:10.1190/geo2016-0364.1.
- Ribeiro, V.B., Mantovani, M., Louro, V.H.A., 2014, Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico: *Terrae Didactica*, v. 10, p. 29–51, doi:10.20396/td.v10i1.8637386.
- Santos, J.O.S.; Hartmann, L.A.; Gaudette, H.E.; Groves, D.I.; McNaughton, N.J.; Fletcher, I.R., 2000, A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3: 453-488.
- Sillitoe, R.H., 2010, Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105, 3–41.
- Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W., 2003, Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. In: Simmons, S.F. e Graham, I. (Eds.), *Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes Within the Earth*, Society of Economic Geologists, Special Publication, p. 315-343.
- Tassinari, C.C.G., Macambira, M.J.B., 1999, Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22, 174-182.
- Trevisan, V.G.; Hagemann, S.G.; Loucks, R.R.; Xavier, R.P.; Motta, J.G.; Parra-Avila, L.A.;

- Petersson, A.; Gao, J-F.; Kemp, A.I.S.; Assis, R.R. de, 2021, Tectonic switches recorded in a Paleoproterozoic accretionary orogen in the Alta Floresta Mineral Province, southern Amazonian Craton. *Precambrian Research*, 364, <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106324>.
- Tröger, W.E., 1979, Optical determination of rock-forming minerals. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Tokashiki, C.C., 2015, Mineralizações low-sulfidation e intermediate-sulfidation de ouro e de metais de base em domos de riolito paleoproterozoicos na porção sul da Província Mineral de Tapajós. Teses de Doutorado – IGc USP.
- Tokashiki, C. do C., Juliani, C., Monteiro, L.V.S., Echeverri-Misas, C.M., Aguja, M.A., Arrais, L.B., 2015, Eventos vulcânicos de 1,97 Ga com mineralizações de ouro epitermais low- e intermediate-sulfidation na porção sul da Província Mineral do Tapajós (PA). In: Gorayeb, P.S. de S.; Lima, A.M.M. de (Org.). *Contribuições à Geologia da Amazônia*, Belém. Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Norte, v. 9, p. 119–138.
- Usero, G.; Juliani, C.; Bello, R.D.S.; Echeverri-Misas, C.M.; Tommasini, D.; Monteiro, L.V.S., 2011, Estudo das inclusões fluidas da mineralização paleoproterozoica de Au–(Cu) do tipo pórfiro do Palito, Província Aurífera do Tapajós (PA). In *Contribuições à Metalogenia do Brasil*; Frantz, J.C., Marques, J.C., Jost, H., Eds.; UFRGS/Instituto de Geociências: Porto Alegre, Brazil, 2011; Volume 1, pp. 111–128.
- Wilford, J.R., Bierwirth, P.N., Craig, M.A., 1997, Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2):201-216.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185–187, <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>.