

**Instituto de Geociências
Universidade de São Paulo**

RICARDO MARCELO TICHAUER

**CONTEXTO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL E GÊNESE DAS OCORRÊNCIAS AURÍFERAS
DO GARIMPO DO PATINHO, REGIÃO DE CAETITÉ (BA)**

TF 50/22

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani, IGc-USP
Coorientador: Ivan Pereira Marques, CPRM

**São Paulo
2022**

Agradeço aos meus pais, Elisabeth Jean Tichauer e Renato Michael Tichauer, por terem sempre me inspirado e motivado a seguir o caminho do conhecimento.

Agradeço a todos os professores, monitores, colegas e funcionários do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo pela contribuição à minha formação.

Agradeço especialmente aos meus orientadores, Prof. Dr. Caetano Juliani e Ivan Pereira Marques, e ao meu orientador inicial, Prof. Dr. Gustavo Corrêa de Abreu, pelo apoio na elaboração deste Trabalho de Formatura.

RESUMO

O Garimpo do Patinho é operado pelos superficiários da localidade há várias décadas. Em 2018, foi realizado um trabalho de reconhecimento geológico cujos resultados despertaram interesse na continuidade dos estudos da geologia local e do potencial do depósito de ouro. Este trabalho visa o aprofundamento da compreensão do contexto lito-estrutural do garimpo e a sugestão de uma hipótese para a gênese do depósito. A análise realizada é resultado do estudo da bibliografia sobre a geologia regional, semi-regional e local, da revisão da literatura sobre métodos geofísicos, da interpretação de levantamentos aerogeofísicos disponibilizados pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) e da descrição petrográfica de lâminas elaboradas com amostras coletadas no garimpo em 2018. Este estudo levou a conclusão de que a gênese do depósito é hidrotermal do tipo orogênico.

Palavras-chave: Exploração mineral; Garimpo do Patinho; gênese; ouro.

ABSTRACT

The *Garimpo do Patinho* has been operated by local dwellers for several decades. In 2018, geological reconnaissance work was carried out and the results aroused interest in continuing the studies of the local geology and the potential of the gold deposit. This work aims to deepen the understanding of the litho-structural context of the *garimpo* and to suggest a hypothesis for the genesis of the deposit. The analysis performed is the result of studying the literature on regional, semi-regional and local geology, literature review on geophysical methods, interpreting airborne geophysical surveys made available by Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) and petrographic description of slides prepared with samples collected in the garimpo in 2018. This study led to the conclusion that the genesis of the deposit is hydrothermal of the orogenic type.

Keywords: Mineral exploration; Garimpo do Patinho; genesis; gold.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS.....	4
	LISTA DE TABELAS.....	5
	LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS.....	5
1	INTRODUÇÃO	8
2	METAS E OBJETIVOS	9
3	MATERIAIS E MÉTODOS	10
4	CONTEXTO GEOLÓGICO	11
4.1	GEOLOGIA REGIONAL	13
4.2	GEOLOGIA SEMI-REGIONAL	15
4.3	GEOLOGIA LOCAL	16
4.4	GARIMPO DO PATINHO	17
5	GEOFÍSICA SEMI-REGIONAL	22
5.1	GEOFÍSICA NA EXPLORAÇÃO MINERAL	22
5.2	AEROGAMAESPECTOMETRIA	25
5.3	AEROMAGNETOMETRIA	27
5.4	INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA	28
6	PETROGRAFIA.....	33
7	DISCUSSÃO	34
8	CONCLUSÃO.....	36
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICS.....	37
	ANEXO – PETROGRAFIA MICROSCÓPICA.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo com a localização do Garimpo do Patinho (imagens do Google Maps e <https://www.infoescola.com/mapas/mapa-rodoviario-da-bahia/>).

Figura 2: Distrito Ferro-Manganesífero Urandi-Caetité-Licínio de Almeida e a localização da área que inclui o Garimpo do Patinho (Tichauer et al., 2021, modificado de Borges et al., 2015).

Figura 3: A Serra do Espinhaço em pontilhado e o Supergrupo Espinhaço com seus domínios principais, o Espinhaço Meridional (1), a Serra do Cabral (1A), o Espinhaço Central (2), o Espinhaço Setentrional (3) e a Chapada Diamantina (4). A localização da área de estudo é indicada pelo polígono vermelho (Modificado de Chaves, 1997).

Figura 4: Geologia da área do relatório Aberto 12 – Distrito Manganesífero de Urandi–Licínio de Almeida feito pela CBPM (Rocha et al., 1998).

Figura 5: Mapa geológico da área, destacando-se o polígono do requerimento para pesquisa mineral vinculado com o Garimpo do Patinho (Tichauer et al., 2021; modificado de Abreu, 2018).

Figura 6: (a) Poço para lavra do veio mineralizado com um guincho elétrico. (b) Minério da zona oxidada (intemperizada) lavrado e depositado junto ao moinho de martelos para processamento.

Figura 7: (a) Minério moído, pronto para concentração gravítica em calha de concentração. (b) Calha de concentração dos minerais pesados para posterior concentração por bateamento.

Figura 8: (a) Concentração dos minerais pesados e do ouro livre por bateamento. (b) Detalhe da amálgama de ouro e mercúrio, utilizada para separação do ouro no concentrado da bateia.

Figura 9: (a) Quartzo de veio sulfetado e oxidado mineralizado em ouro. Notar a oxidação dos sulfetos resultando óxidos hidratados de ferro e porções com tons esverdeados formados por malaquita, indicando a presença de sulfetos de cobre no minério de ouro. (b) Detalhe dos blocos anteriores, com volumes significativos de hidróxidos de ferro em alguns fragmentos, evidenciando amostras mais enriquecidas em sulfetos, e um bloco com malaquita na parte superior ao centro, com cores verdes.

Figura 10: Detalhe de um quartzo de veio menos intemperizado com pirita e calcopirita e ouro livre (indistinguível na foto). Notar estrutura fragmental e uma leve foliação devida às deformações tectônicas por falhas. Alguns pontos esbranquiçados são de feldspato potássico caolinizado (provavelmente adularia).

Figura 11: Mapa com a localização dos afloramentos descritos amostrados, disponíveis para este estudo (Tichauer et al., 2021).

Figura 12: Mapa–índice dos levantamentos aerogeofísicos do estado da Bahia (CBPM, 2022). O polígono vermelho indica os dados cedidos do levantamento 29 (Campo Alegre de Lourdes–Mortugaba) pela CBPM para estes estudos.

Figura 13: (a) Modelo digital de terreno e (b) de declividade da área de estudo, onde as linhas tracejadas sugerem a presença de falhas tardias NE-SW, que cortam as estruturas principais N-S.

Figura 14: (a) Modelo de elevação da área e (b) possíveis falhas NE-SW indicadas em amarelo.

Figura 15: (a) Mapa ternário (K–Th–U) destacando em cores escuras as unidades metassedimentares que hospedam as mineralizações de ouro do Garimpo do Patinho e, em áreas esbranquiçadas, possíveis rochas intrusivas félsicas, e (b) mapa de razão K/Th, em que as áreas em vermelho indicam rochas relativamente enriquecidas em potássio e possíveis regiões de alteração hidrotermal.

Figura 16: Campo magnético total reduzido ao polo sombreado, na qual se destacam as unidades de xistos, filitos e unidades félsicas mais magnéticas com texturas indicativas de estruturas tectônicas, algumas sugerindo estruturas sigmoidais nas zonas de cisalhamento N–S.

Figura 17: Interpretação das estruturas magnéticas, geradas com estruturas tectônicas, litologias e/ou alterações hidrotermais.

Figura 18: Mármore calcítico do poço do Garimpo do Patinho.

Figura 19: Metachert magnético do poço do Garimpo do Patinho.

Figura 20: Rocha calciossilicática magnética do poço do Garimpo do Patinho.

Figura 21: Quartzo sulfetado do poço do Garimpo do Patinho.

Figura 22: Quartzo de veio com sulfetos do poço do Garimpo do Patinho.

Figura 23: Quartzo de veio com sulfetos, principalmente pirita parcialmente limonitizada, do poço do Garimpo do Patinho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Associação entre a concentração média dos radioelementos em rochas e solos na Austrália e os tipos de rocha (Ribeiro et al., 2014).

LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1A: Mármore calcítico (Cc = calcita) em arranjo granoblástico com tremolita (Tr) subordinada orientada na foliação metamórfica, além de alguns poucos cristais de clorita (Chl) magnesianas, flogopita (Phl) e de minerais opacos (Op). Notar a recristalização causada pela deformação em alguns grãos, bem como a migração de bordas de grão induzida pela deformação (fotomicrografia com polarizadores cruzados).

Fotomicrografia 1B: Mármore calcítico (Cc = calcita) em arranjo granoblástico com tremolita (Tr) subordinada orientada na foliação metamórfica, além de alguns poucos minerais opacos (Op). Notar a recristalização causada pela deformação em alguns grãos, bem como a migração de bordas de grão induzida pela deformação (fotomicrografia com polarizadores cruzados).

Fotomicrografia 1C: Matrix calcítica (Cc = calcita) com leve bandamento dado pela granulação da calcita (Cc) paralela à orientação dos cristais de finos de tremolita (Tr) e orientados na foliação metamórfica. Notar uma orientação secundária quase ortogonal à foliação, dada pela recristalização da calcita.

Fotomicrografia 1D: Matrix calcítica (Cc = calcita) com tremolita (Tr) orientada na foliação metamórfica.

Fotomicrografia 2A: Metachert com predominância de quartzo granoblástico e alongado na foliação metamórfica (Qz) e hidróxidos de ferro (Ox) e minerais opacos (Op). A concentração dos minerais opacos confere à rocha estrutura bandada a laminada. (fotomicrografia com polarizadores cruzados).

Fotomicrografia 2B: Metachert magnético evidenciando e estrutura laminada e foliada da rocha (fotomicrografia com polarizadores cruzados).

Fotomicrografia 2C: Metachert com cristais de magnetita (Mt) deformados e orientados conforme a foliação da matriz da rocha (fotomicrografia com luz refletida).

Fotomicrografia 2D: Metachert com cristais de magnetita (Mt) deformados e orientados conforme a foliação da matriz da rocha (fotomicrografia com luz refletida).

Fotomicrografia 3A: Rocha calciossilicática com textura granoblástica a porfiroblástica, rica em minerais carbonáticos (Cb) e com presença significativa de tremolita (Tr) e minerais opacos (Op) (fotomicrografia com polarizadores cruzados).

Fotomicrografia 3B: Rocha calciossilicática com porção rica em tremolita (Tr) (fotomicrografia com polarizadores descruzados).

Fotomicrografia 3C: Rocha calciossilicática com magnetita (Mt), por vezes fraturados, disseminadas na matriz quartzo-carbonática da ganga (fotomicrografia com luz refletida).

Fotomicrografia 3D: Detalhe de magnetita (Mt), em tons de cinza mais escuros, na região mais central do cristal, parcialmente substituída por hematita (Hm), em tons de cinza mais claros, nas porções mais periféricas, resultante de intensa martitização (transformação de Mt em Hm) hidrotermal ou intempérica (fotomicrografia com luz refletida).

Fotomicrografia 4A1: Quartzo de veio recristalizado com quartzo (Qz) com textura granoblástica poligonal englobando pirita (Py) ou seus produtos oxidados (fotomicrografia com polarizadores descruzados).

Fotomicrografia 4A2: Detalhe de cristais de piritas (Py) fraturadas, em parte oxidadas formando texturas boxwork (Bx), em contato com ganga silicática (Si) (fotomicrografia em luz refletida).

Fotomicrografia 4A3: Detalhe de cristais de pirita (Py) com inclusões de calcopirita (Ccp) e bordas oxidadas em textura tipo boxwork (Bx) em meio à ganga silicática (Si) (fotomicrografia com luz refletida).

Fotomicrografia 4A4: Inclusões de calcopirita (Ccp) na pirita (Py) e finos grãos da matriz silicática (fotomicrografia com luz refletida).

Fotomicrografia 4B1: Quartzo de veio recristalizado com quartzo (Qz) em textura granoblástica poligonal, englobando pirita (Py) ou seus produtos oxidados (fotomicrografia com polarizadores descruzados).

Fotomicrografia 4B2: Detalhe de cristais de pirita (Py) subédricas fraturadas, em parte oxidadas formando texturas tipo boxwork (Bx), em contato com ganga silicática (fotomicrografia em luz refletida).

Fotomicrografia 4B3: Pirita (Py) subédricas fraturadas, em parte oxidadas formando texturas tipo boxwork (Bx), em contato com ganga silicática em quartzo de veio (fotomicrografia em luz refletida).

Fotomicrografia 4B4: Detalhe de cristal de pirita (Py) com inclusão de calcopirita (Ccp) em quartzo de veio recristalizado (fotomicrografia em luz refletida).

Fotomicrografia 4C1: Quartzo de veio onde nota-se o quartzo (Qz) em textura granoblástica poligonal, envolvendo pirita (Py) (fotomicrografia com polarizadores paralelos).

Fotomicrografia 4C2: Detalhe da pirita intemperizadas resultando em hidróxidos de ferro em texturas tipo boxwork (Bx) e quartzo (Qz) granoblástico (fotomicrografia com polarizadores cruzados).

Fotomicrografia 4C3: Quartzo de veio recristalizado (Qz) em textura granoblástica, com cummingtonita (Cum) e minerais opacos (Op) (fotomicrografia com polarizadores cruzados).

Fotomicrografia 4C4: Detalhe de cristais de pirita (Py) com fraturas parcialmente substituída por hidróxidos de ferro (Ox) e em meio a grão de quartzo (Qz) (fotomicrografia com luz refletida).

Fotomicrografia 4C5: Grão de ouro (Au) com cerca de 10 µm na borda de pirita incluso em quartzo de veio indicando a presença de ouro livre na mineralização além do ouro liberado pelo intemperismo dos sulfetos (fotomicrografia com luz refletida).

Fotomicrografia 4C6: Grão de ouro (Au) com cerca de 25 μm incluso hidróxidos de ferro (Ox) derivados do intemperismo de sulfetos em quartzo de veio caracterizando a presença de ouro nas fases sulfetadas da mineralização do Patinho (fotomicrografia em luz refletida).

Fotomicrografia 4C7: Grão de ouro (Au) com cerca de 30 μm incluso em hidróxidos de ferro (Ox) originados pelo intemperismo de sulfetos (fotomicrografia com luz refletida).

Fotomicrografia 4C8: Grão de ouro (Au) com cerca de 30 μm incluso em hidróxidos de ferro (Ox) originados pelo intemperismo de sulfetos (fotomicrografia com luz refletida).

1. INTRODUÇÃO

No início de 2018 foi realizado um trabalho de reconhecimento geológico no Garimpo do Patinho, no município de Caetité, estado da Bahia. Nesse estudo foram coletadas 123 amostras do garimpo e de seus arredores. A verificação das amostras resultou em um novo mapa da geologia local, e a análise delas apresentou resultados interessantes para ouro. Dessas amostras, 47 apresentaram resultado positivo, acima de 0,10 ppm. Uma delas chegou a apresentar 77,7 ppm de ouro (Abreu, 2018).

O município de Caetité está 645 km a sudoeste de Salvador (Fig. 1a). O Garimpo do Patinho se encontra 35 km ao sul do centro urbano da cidade (Fig. 1b), sendo os 24 km do centro urbano até Brejinho das Ametistas asfaltados e os 11 km até o garimpo em terra.

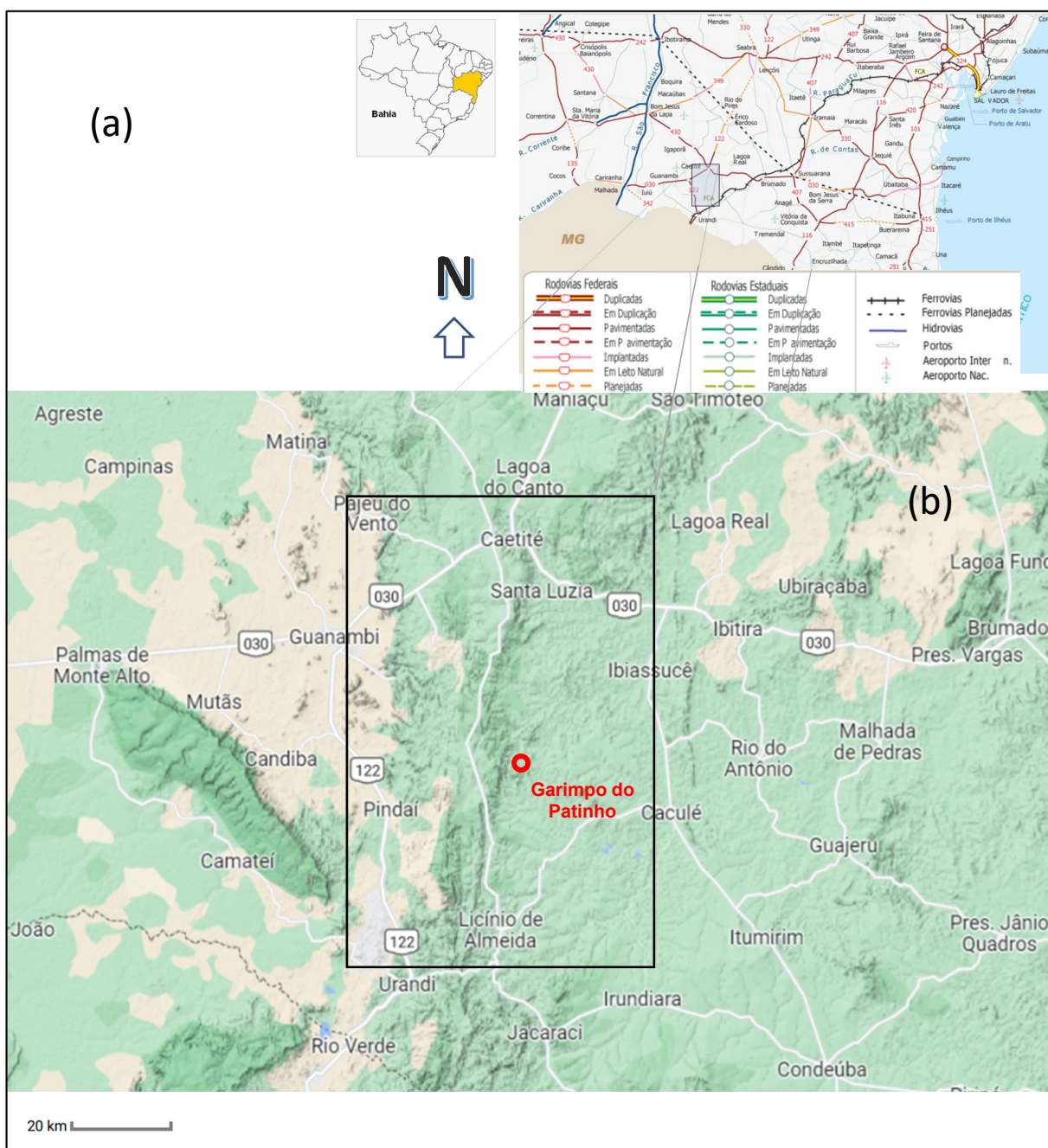


Figura 1: Área de estudo, com a localização do Garimpo do Patinho (imagens do Google Maps e <https://www.infoescola.com/mapas/mapa-rodoviario-da-bahia/>, 2022).

O Garimpo do Patinho encontra-se inserido no Distrito Ferro–manganesífero de Urandi–Caetité–Licínio de Almeida, na região do Espinhaço Central. Este distrito é geologicamente conhecido pelas mineralizações de manganês e de ferro (Borges, 2015) hospedadas na Sequência Metavulcanossedimentar Caetité–Licínio de Almeida, de idade paleoproterozoica (Alkmin & Martines-Neto, 2007).

A lavra de ouro do Patinho é feita de forma rudimentar por meio de poços e galerias escavados pelos superficiários da localidade há algumas décadas. Em função das dificuldades para se abrir poços e galerias em meio a corpos de rochas muito competentes, como gnaisses e quartzitos, as operações do garimpo nunca produziram mais do que o suficiente para a subsistência da família de moradores locais. No entanto, um trabalho de reconhecimento geológico realizado em 2018 (Abreu, 2018) apresentou teores que suscitaram interesse na continuidade dos estudos da geologia local e do potencial do depósito para mineração de ouro.

Em 02 de janeiro de 2018, primeiro dia de operação do mercado do ano, o preço do ouro fechou em US\$1,318.30/oz. Desde então, a cotação do ouro chegou a um pico de US\$2,078.0/oz em 7 de agosto de 2020. Em 16 de dezembro de 2022, o preço do ouro fechou a US\$1,800.20/oz (Investing.com, 2022). Apesar da significativa elevação do preço do ouro nos últimos cinco anos, há dois fatores que podem contribuir para uma apreciação ainda maior no futuro. O primeiro é a crescente incerteza econômica, em que o crescimento da China tem sido o menor em muitos anos e a inflação em muitos países desenvolvidos tem sido a mais alta em décadas. O segundo é a escalada de guerras na Ásia e na Europa. Além da guerra atualmente em curso entre a Rússia e a Ucrânia, analistas tem apresentado crescente preocupação com uma possível invasão da China em Taiwan e com os exercícios militares da Coreia do Norte. Como o ouro é considerado um ativo seguro em tempos incertos, essas incertezas relacionadas à economia global e à geopolítica internacional aumentam a demanda pelo ouro e resultam no aumento de sua cotação no mercado. (Leandro, 2022). A valorização do ouro nos últimos anos e a perspectiva de uma maior apreciação do seu preço nos próximos anos tem provocado um maior interesse por depósitos de ouro, justificando-se portanto a continuidade dos estudos sobre a mineralização de ouro do Garimpo do Patinho.

2. METAS E OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi compreender o contexto geológico–estrutural das mineralizações auríferas do Garimpo do Patinho e caracterizar preliminarmente o tipo genético do depósito.

Desta forma, este trabalho de formatura visou dar continuidade aos trabalhos de exploração mineral na localidade, por meio de estudos bibliográficos, análise de

levantamentos aerogeofísicos, estudos geológicos e descrição petrográfica de lâminas de amostras coletadas de rochas e veio mineralizados no garimpo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar-se este objetivo foram desenvolvidas as seguintes atividades:

1. Estudo da bibliografia abordando a geologia regional, semi-regional e local e revisão da literatura sobre métodos geofísicos. Para tanto foram utilizados os acervos e bancos de dados da Biblioteca do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, bem como relatórios de empresas.

2. Processamento e interpretação de dados de levantamentos aerogamaespectrométricos e aeromagnetométricos disponibilizados pela CBPM. “O Levantamento Aerogeofísico da faixa Campo Alegre de Lourdes – Mortugaba (CBPM, 2022), realizado em 2005 e 2006, recobriu uma área de 71.513,10 km², perfazendo um total de 157.340 quilômetros lineares de levantamento, utilizando como plataforma aerogeofísica uma aeronave de asa fixa, contendo um multisistema aerogeofísico configurado para os métodos magnetométrico (sensor de vapor de césio com resolução de 0,001 nT) e gamaespectrométrico (256 canais espectrais/cristal 2048 pol cúbicas). Os parâmetros utilizados para execução do aerolevante foram: espaçamento entre as linhas de produção de 500 metros; espaçamento entre as linhas de controle de 5.000 metros; direção de voo das linhas de produção E-W e direção das linhas de controle N-S; intervalo de 0.1 segundo entre medições geofísicas do magnetômetro e de 1,0 segundo do gamaespectrômetro; altura de voo de 100 metros; e sistema de navegação GPS Astech CA-12 canais.” No processamento dos dados do levantamento aerogeofísico, foi empregado o software Oasis Montaj Versão 5.1. A visualização e a montagem dos mapas interpretados foram feitas através do programa *ArcGis Desktop* 10.8.1. A extração e processamento de modelos digitais de elevação para gerar imagens do relevo sombreado e de declividade foi realizada com um *script* do *Google Earth Engine*. Os dados do modelo digital de elevação são disponibilizados na plataforma e provenientes da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

3. Petrografia de luz transmitida e refletida de amostras do veio mineralizado e das rochas encaixantes. Foram confeccionadas lâminas delgadas e delgadas polidas. As fotomicrografias foram obtidas com microscópio óptico *Carl Zeiss Axio Imager* com câmera acoplada no Laboratório de Microscopia Petrográfica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO

A região da mineralização de ouro no Garimpo do Patinho é regionalmente conhecida como Distrito Ferro–manganesífero Urandi–Caetité–Licínio de Almeida (Cunha et al., 2012; Borges *et al.*, 2015) (Fig. 2). Este distrito é geologicamente formado por itabiritos, mármore calcíferos, dolomíticos e ricos em manganês (rodocrosíticos), rochas calciossilicáticas, metapelitos com carbonatos, metapelitos com granada, quartzitos, metabasaltos e grunerita-cummingtonita xistos (Cunha *et al.* 2012; Borges, 2012; Borges *et al.*, 2015; Barbosa *et al.*, 2021).

No distrito são conhecidas 35 minas de manganês, todas atualmente inativas e a maioria exaurida, lavradas pela empresa VALE S/A nos anos 1960 e 1970, e uma mina de minério de ferro em exploração pela BAMIN S/A. Todas se encontram hospedadas na Sequência Metavulcanossedimentar Caetité–Licínio de Almeida, que foi deformada pelo desenvolvimento do Cinturão de Dobramentos e Cavalgamentos da Serra do Espinhaço Setentrional, na porção norte do Orógeno Araçuaí (Alkmin & Martines-Neto, 2007; Cunha *et al.*, 2012; Borges *et al.*, 2015).

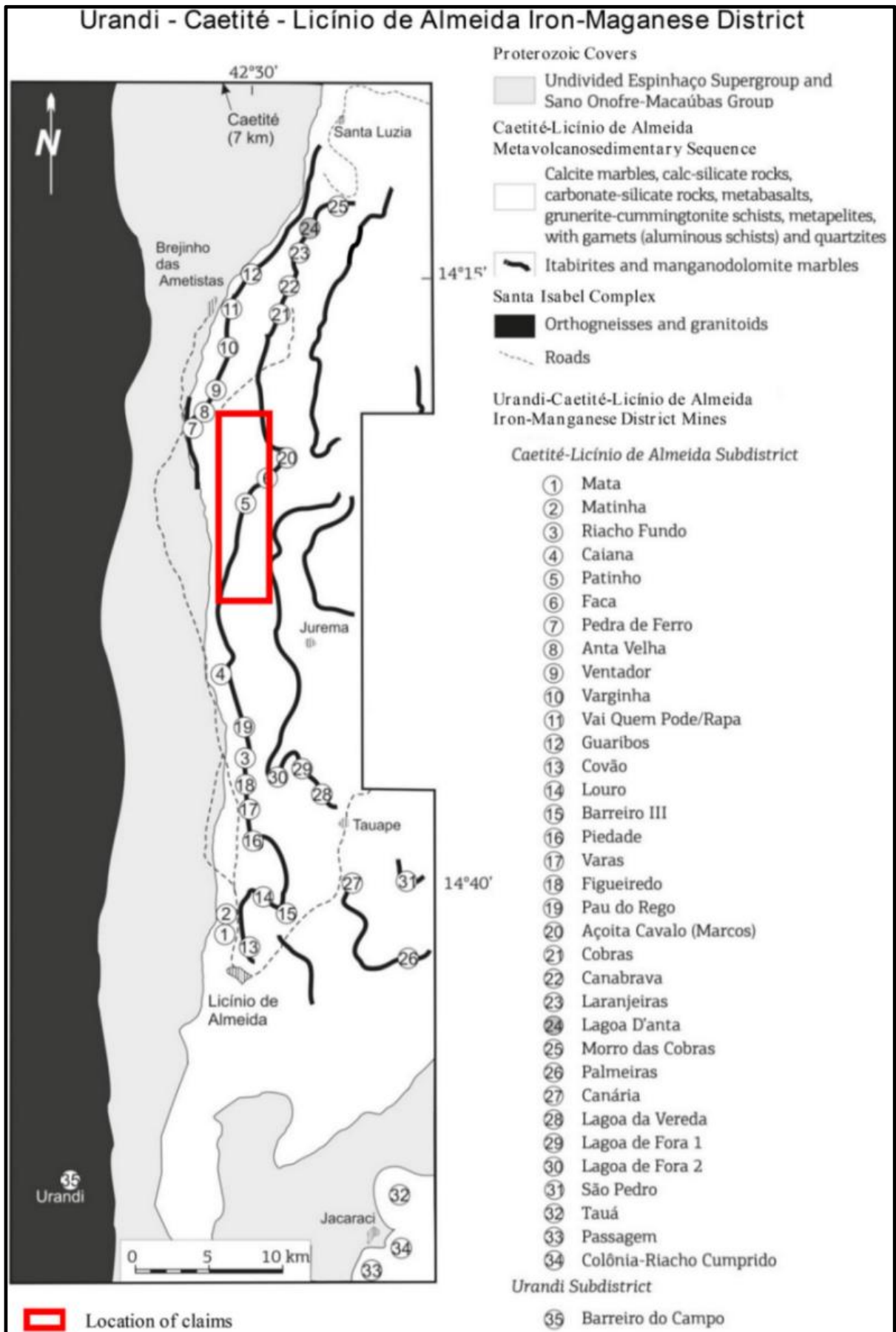


Figura 2: Distrito Ferro-Manganesífero Urandi-Caetité-Licínio de Almeida e a localização da área que inclui o Garimpo do Patinho (Tichauer et al., 2021, modificado de Borges et al., 2015).

4.1. Geologia Regional

Geomorfologicamente o Garimpo do Patinho encontra-se entre as porções central e norte da Serra do Espinhaço, que constitui uma estrutura linear de 1.200 km de comprimento orientada segundo a direção N–S e que ocorre desde o sul de Minas Gerais até o norte da Bahia. A Serra do Espinhaço é dividida geograficamente nos setores regionais sul, central, norte e Chapada Diamantina (Moreira *et al.*, 2020). As unidades litológicas desta serra constituem o Supergrupo Espinhaço (Schöll & Fogaça, 1979; Almeida Abreu, 1995), que deve ter se desenvolvido a partir do desenvolvimento de bacias do tipo rifte no Estateriano (Brito Neves *et al.*, 1995; Dussin & Dussin, 1995).

De acordo com Dussin & Dussin (1995), a deposição das sequências basais do Supergrupo Espinhaço é constituída por sedimentos terrígenos formados em ambientes fluviais de rios entrelaçados e sistemas deltaicos e marinhos pouco profundos, originando, pelo metamorfismo, quartzitos com intercalações de metassiltitos, filitos e metaconglomerados. Posteriormente, esses sedimentos foram, segundo os autores supracitados, recobertos por arenitos característicos de ambientes eólicos e marinho raso, dando origem à Formação Galho do Miguel, formada por metarenitos e quartzitos. Rochas vulcânicas estariam associadas a diques máficos e félsicos verticais de direção N–S e E–W comumente metamorfisados (Abreu, 1995; Uhlein & Quemeneur, 2001).

Ainda segundo Dussin & Dussin (1995), a deposição de sedimentos siliciclásticos na fase pós-rifte ocorreu em um período em que a bacia se tornava gradativamente mais rasa, gerando, pelo metamorfismo, quartzitos e metassiltitos alternados com filitos, sem a ocorrência de vulcanismos sinsedimentar.

O Garimpo do Patinho se encontra nesse ambiente geológico, no contexto tectônico entre o Cráton São Francisco e os cinturões brasileiros (Fig. 3), onde prevalecem unidades deformadas pelo Cinturão de Dobramentos e Cavalgamentos Serra do Espinhaço setentrional, na porção norte do Orógeno Araçuaí (Borges *et al.*, 2015).

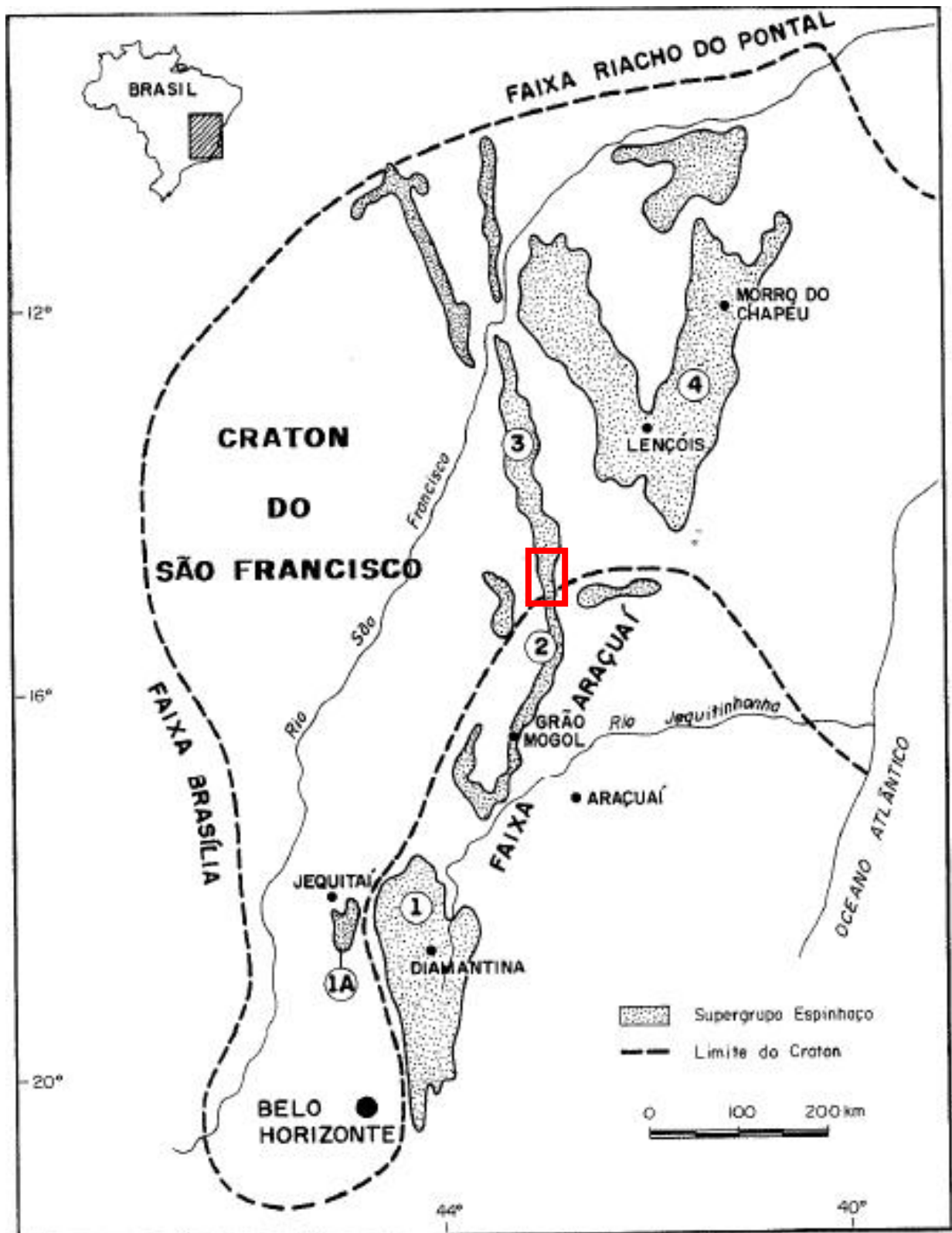


Figura 3: A Serra do Espinhaço em pontilhado e o Supergrupo Espinhaço com seus domínios principais, o Espinhaço Meridional (1), a Serra do Cabral (1A), o Espinhaço Central (2), o Espinhaço Setentrional (3) e a Chapada Diamantina (4). A localização da área de estudo é indicada pelo polígono vermelho (Modificado de Chaves, 1997).

4.2. Geologia Semi-regional

Os primeiros mapeamentos geológicos mais detalhados do Distrito Ferromanganesífero de Urandi-Caetité-Licínio de Almeida, onde ocorre a mineralização de ouro do Garimpo do Patinho, foram feitos pela CBPM (Rocha *et al.*, 1998).

A Figura 4 apresenta o mapa geológico regional com unidades arqueanas formadas por gnaisses, migmatitos e charnockitos, incluindo típicos terrenos TTGs (Tonalitos, Trondjemitos e Granodioritos) e *Greenstone Belts*, tais como as unidades Riacho Santana, Brumado, Guajeru, Urandi, Ibitira-Ubiracaba, Umburanas, além das principais formações ferríferas e manganésíferas, consideradas como do Paleoproterozoico, as unidades dos supergrupos Espinhaço (Mesoproterozoico) e São Francisco (Neoproterozoico).

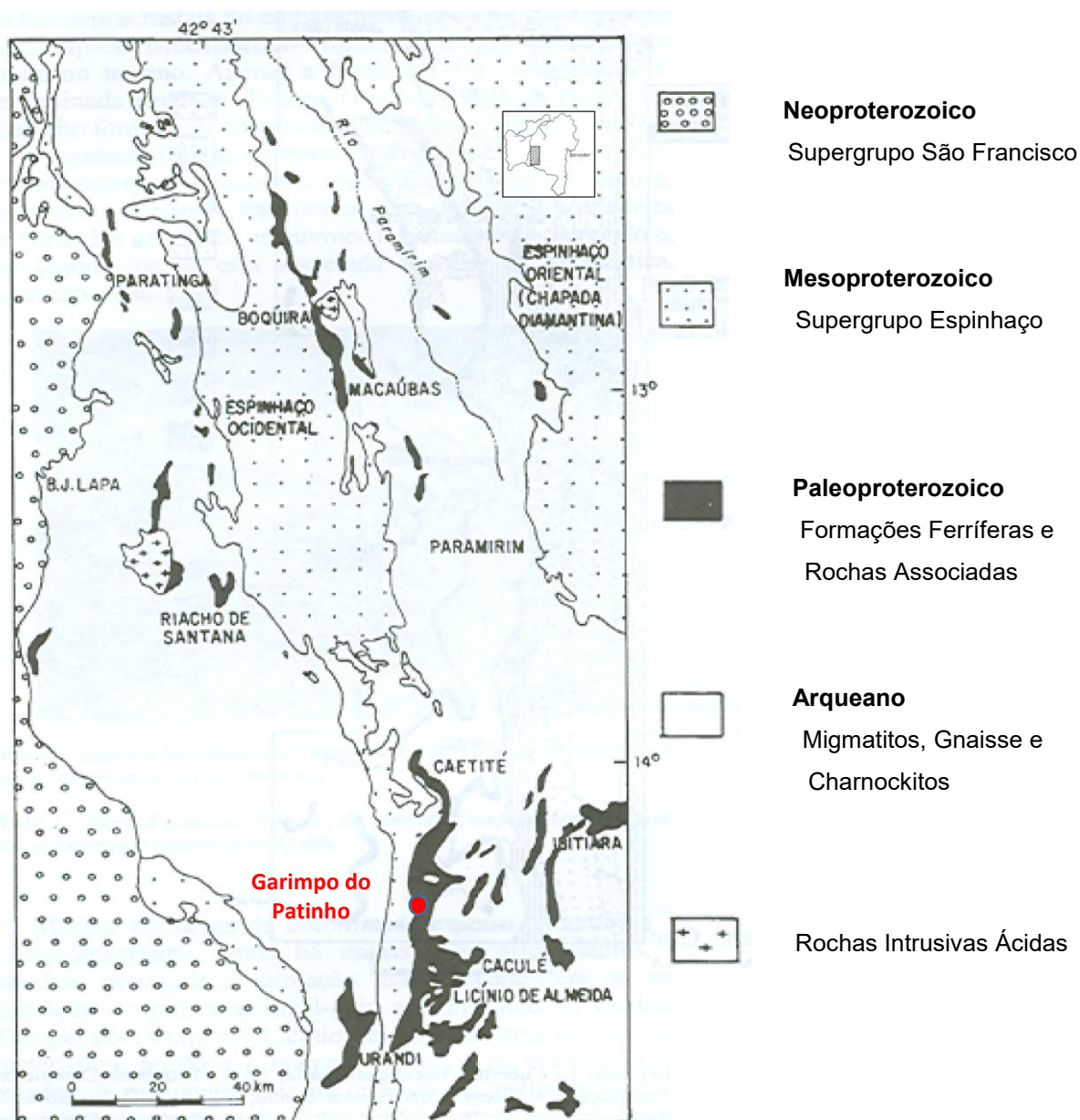


Figura 4: Geologia da área do relatório Aberto 12 – Distrito Manganésífero de Urandi-Licínio de Almeida feito pela CBPM (Rocha *et al.*, 1998).

4.3. Geologia Local

Abreu (2018, inédito) realizou reconhecimento geológico no Garimpo do Patinho e nas suas proximidades, cujo mapa geológico é apresentado na Figura 5. Segundo esse levantamento e dados geológicos publicados, a estratigrafia local, da base para o topo da área, é constituída de:

a) Terrenos TTGs (Tonalito–Trondhjemito–Granodiorito) que compõem o embasamento das unidades metassedimentares, metavulcanossedimentares e do Supergrupo Espinhaço. Estas unidades afloram a leste do Garimpo do Patinho, predominando rochas com estruturas gnáissicas e migmatíticas.

b) Unidades gnáissicas e graníticas de idades variadas aflorantes a oeste da Serra do Espinhaço.

d) Supergrupo Espinhaço, cuja unidade sustenta a Serra do Espinhaço na parte central da área, orientada na direção N–S, com predomínio de mergulhos forte para leste, indicativas dos esforços compressivos e vergência para oeste. Dobras assimétricas fechadas em escalas variadas, de afloramento a imagens de satélite não são incomuns, assim como truncamentos por falhas e zonas de cisalhamento N–S e zonas de empurrões, também indicativas de vergência para oeste. Estão presentes, mas não foram separadas no mapa geológico, as formações Sopa–Brumadinho, composta predominantemente por filitos e quartzitos variados, e Galho do Miguel, representada por quartzitos com megaestratificações cruzadas. Predominam rochas de baixo grau metamórfico, nas zonas da biotita e da granada, com o grau metamórfico amentando sequencialmente de E para W, até alcançar o grau médio, na zona da estauroлита (Abreu, 2018; Tichauer *et al.*, 2021).

Na área em estudo, as principais mineralizações de interesse econômico são as formações manganésíferas (BMFs) e as formações ferríferas típicas (BIFs) associadas, além de *metacherts* ricos em magnetita do Complexo Licínio de Almeida. A mineralização mais importante da região é uma BIF tipo Lago Superior, rico em hematita, representado pelo polígono vermelho na Figura 9. Este depósito de minério de ferro, em fase inicial de exploração, pertence à BAMIN S/A. Esta formação ferrífera foi tectonicamente deformada e empurrada sobre o Supergrupo Espinhaço, às vezes invertendo a a posição estratigráfica dos quartzitos (Abreu, 2018; Tichauer *et al.*, 2021).

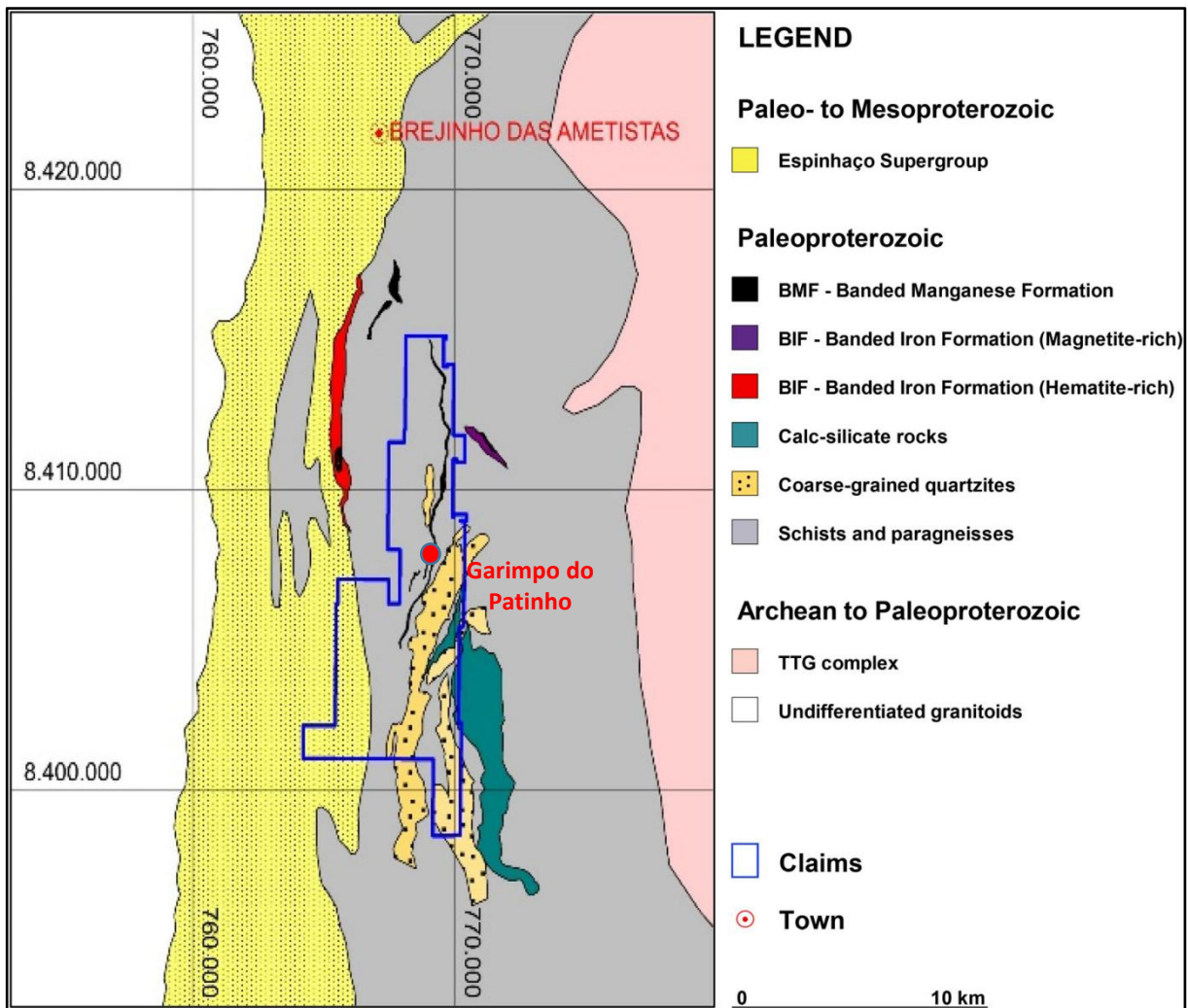


Figura 5: Mapa geológico da área, destacando-se o polígono do requerimento para pesquisa mineral vinculado com o Garimpo do Patinho (Tichauer *et al.*, 2021; modificado de Abreu, 2018).

4.4. Garimpo do Patinho

Durante os reconhecimentos geológicos realizados em 2018 (Abreu, 2018; Tichauer *et al.*, 2021), o garimpo se encontrava em atividade, com a lavra de ouro executada por meio de poços e galerias na zona intemperizada.

A lavra e o processamento do veio mineralizado era feita de modo precário, como é característico da atividade garimpeira. Na Figura 6a observa-se a um poço para extração do minério e na Figura 6b o material lavrado junto ao moinho, onde pode-se notar o grau de intemperismo das rochas.



Figura 6: (a) Poço para lavra do veio mineralizado com um guincho elétrico. (b) Minério da zona oxidada (intemperizada) lavrado e depositado junto ao moinho de martelos para processamento.

O veio de quartzo lavrado era fragmentado para moagem e o material moído (Figura 7a) era concentrado em calhas com pequenos *rifles* e uma tela de plástico (Figura 7b).



Figura 7: (a) Minério moído, pronto para concentração gravítica em calha de concentração. (b) Calha de concentração dos minerais pesados para posterior concentração por bateamento.

O concentrado de minerais pesados (densos) obtidos pela concentração na calha era apurado em bateia (Figura 8a) com mercúrio metálico, e o ouro era extraído na amálgama (Figura 8b).

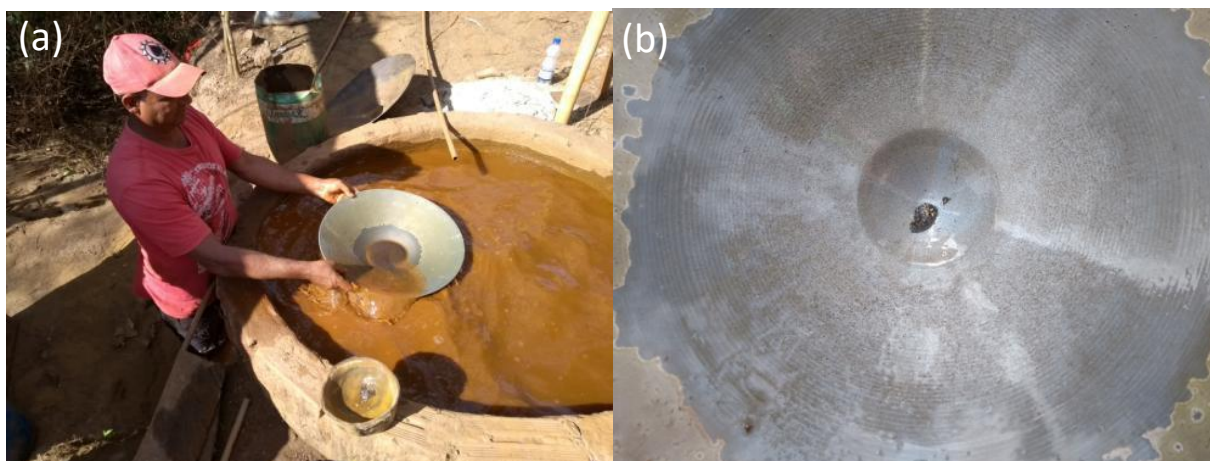


Figura 8: (a) Concentração dos minerais pesados e do ouro livre por bateamento. (b) Detalhe da amálgama de ouro e mercúrio, utilizada para separação do ouro no concentrado da bateia.

O minério de ouro do Garimpo do Patinho é composto por um veio de quartzo sulfetado em teores variados, oxidado pelo intemperismo (Figuras 9a e 9b), o que possibilita a extração do ouro por meio dos métodos simples em uso pelos garimpeiros.



Figura 9: (a) Quartzo de veio sulfetado e oxidado mineralizado em ouro. Notar a oxidação dos sulfetos resultando óxidos hidratados de ferro e porções com tons esverdeados formados por malaquita, indicando a presença de sulfetos de cobre no minério de ouro. (b) Detalhe dos blocos, apresentando volumes significativos de hidróxidos de ferro em alguns fragmentos, evidenciando amostras mais enriquecidas em sulfetos, e um bloco com malaquita na parte superior ao centro, com cores verdes.

Os sulfetos presentes nos veios mineralizados são principalmente a pirita, com calcopirita e covelita substituindo a calcopirita (Figura 10). Sericita hidrotermal e feldspatos muito intemperizados, provavelmente feldspato potássico (provavelmente adulária), estão presentes em pequenos volumes em algumas das amostras.



Figura 10: Detalhe de um quartzo de veio menos intemperizado, com pirita e calcopirita e ouro livre (indistinguível na foto). Notar estrutura fragmental e uma leve foliação devida às deformações tectônicas por falhas. Alguns pontos esbranquiçados são de feldspato potássico caulinizado (provavelmente adularia).

Os dados em campo obtidos em 2018, disponíveis para este estudo, são apresentados na Figura 11 (Tichauer *et al.*, 2021). Nestas etapas de campo foram coletadas e analisadas para ouro 123 amostras no Garimpo do Patinho e arredores, das quais 76 apresentaram resultado negativo e 47 apresentaram resultado positivo.

Das 41 amostras que apresentaram anomalia (0,01 a 0,20 ppm de Au), 13 são de quartzo de veios, 26 de rochas encaixantes dos veios, em especial xistos e formações manganesíferas com silicatos, óxidos e carbonatos, e duas de fragmentos de quartzo rolado. As duas amostras com teores anômalos mais significativos (0,20 a 1,00 ppm de Au) são provenientes de materiais ferruginosos (limonitas resultantes do intemperismo de sulfetos e outros minerais) com quartzo, com borras ocre provavelmente derivadas do intemperismo de carbonatos, coletadas em galerias. Das quatro amostras com teores elevados, três eram rolados de gossan com calcopirita, com 5,57, 12,95 e 27,8 ppm de Au. A amostra que apresentou o teor mais elevado, de 77,7 ppm de Au, foi coletada em veio de quartzo com sulfetos e estruturas de *boxwork* geradas pelo intemperismo de sulfetos.

Sob o ponto de vista da geologia econômica e da exploração mineral, os significativos conteúdos de ouro em diversas das amostras justificam a continuidade das pesquisas, em especial para delimitação das extensões dos veios e definição do potencial econômico. Complementarmente, estes teores e o modo da ocorrência despertaram interesse pelo estudo da gênese da mineralização, com aprofundamento da compreensão do contexto lito-estrutural, por meio da interpretação de dados aerogeofísicos, da análise das estruturas tectônicas que hospedam os veios, de sua cronologia relativa aos eventos geotectônicos e às estruturas regionais, em especial às falhas de segunda ordem associadas às grandes falhas com orientação geral N–S, e do regime deformacional, aparentemente apenas rúptil. Amostragens adicionais para análises petrográficas e geoquímicas e estudos de isótopos estáveis de enxofre em sulfetos e de oxigênio e hidrogênio em silicatos hidrotermais hidratados, além da caracterização das inclusões fluidas, seriam ainda essenciais para a definição da gênese da mineralização de ouro do Garimpo do Patinho.

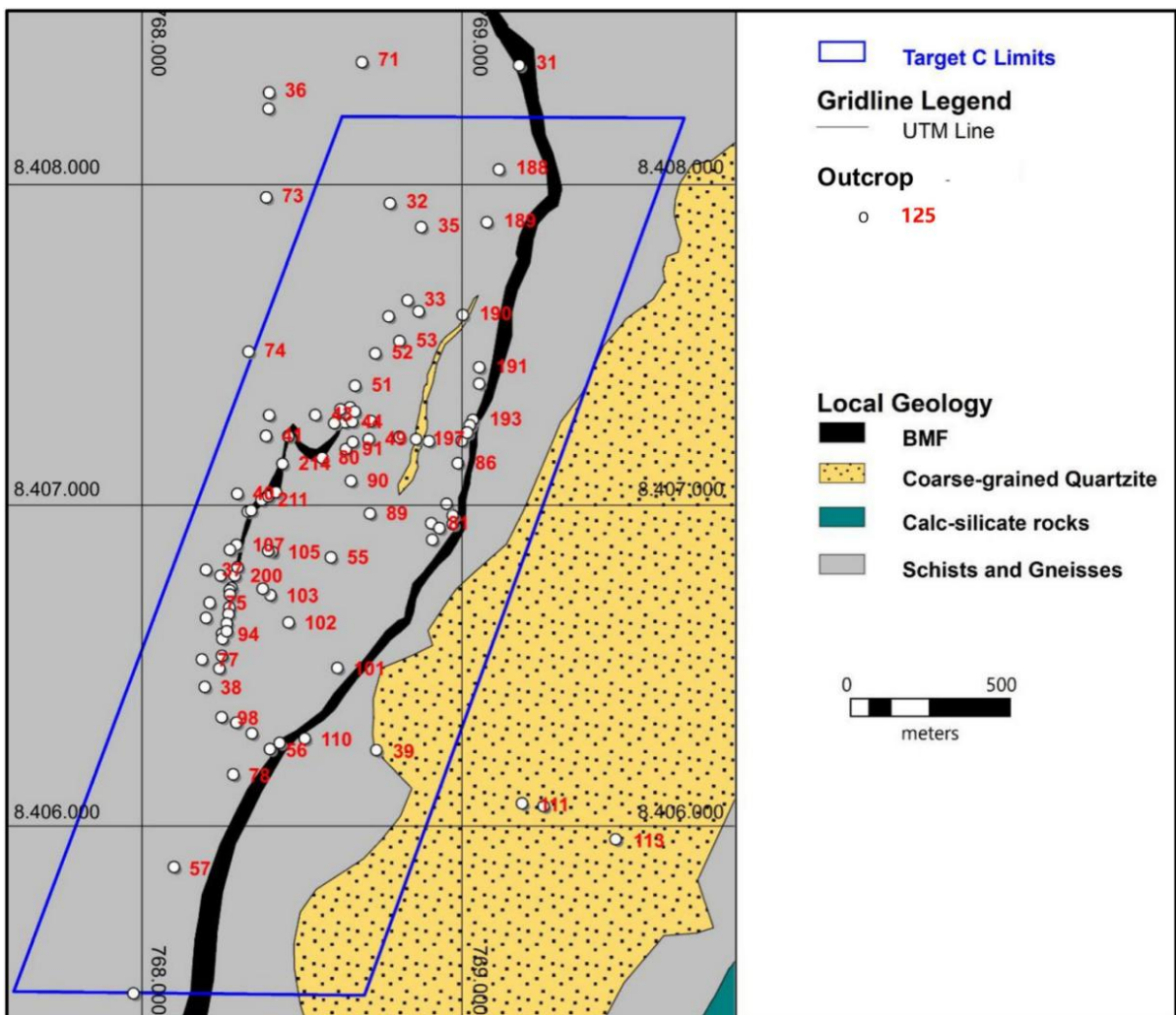


Figura 11: Mapa com a localização dos afloramentos descritos amostrados, disponíveis para este estudo (Tichauer et al., 2021).

5. GEOFÍSICA SEMI-REGIONAL

5.1. Geofísica na Exploração Mineral

A alta demanda global por *commodities* minerais levou à crescente aplicação de tecnologia geofísica para uma ampla variedade de depósitos minerais. Os métodos geofísicos respondem a diferenças de propriedades físicas das rochas que são utilizadas para inferir a geologia da área de pesquisa. Informações sobre a geologia podem ser obtidas em escalas que vão desde a província geológica até a de uma sondagem, ou até mesmo em amostras de mão. A geofísica é parte integrante da maioria dos programas de exploração mineral. É amplamente utilizada porque pode mapear grandes áreas de forma rápida e econômica e delinear variações físicas na geologia que podem indicar ocorrências de uma grande variedade de depósitos minerais (Isles & Rankin, 2013).

O levantamento geofísico envolve uma série de medições sobre uma área de interesse, com parâmetros de levantamento apropriados à escala das feições geológicas que estão sendo investigadas (Zhdanov, 2021). Em geral, os levantamentos aerogeofísicos regionais devido ao seu alto custo, são feitos e disponibilizados pelo Estado como nos levantamentos básicos que subsidiam a exploração mineral e o desenvolvimento de minas, da economia e da sociedade. Os levantamentos aerogeofísicos são utilizados na definição de anomalias ou das características das unidades geológicas de interesse as quais podem posteriormente serem avaliadas em levantamentos geofísicos terrestres, usualmente feitos por empresas de pesquisa e de mineração. As principais vantagens do levantamento aéreo em relação ao levantamento terrestre são a maior velocidade de aquisição de dados e a abrangência da cobertura do levantamento (Isles & Rankin, 2013).

De acordo com Anderson (2015), existem cinco classes principais de métodos geofísicos, distinguidos de acordo com as propriedades físicas das unidades geológicas. Os métodos gravimétricos e magnetométricos detectam diferenças de densidade e magnetismo, medindo, respectivamente, as variações na aceleração da gravidade da Terra e campos magnéticos gerados pelos minerais que compõem as rochas. O método radiométrico identifica variações nos tipos e nas intensidades da radioatividade natural, das quais o conteúdo de elementos radioativos U, Th e K das rochas pode ser estimado. Os métodos sísmicos revelam variações nas propriedades elásticas das rochas, que se manifestam como variações no comportamento das ondas sísmicas que passam por elas. Os levantamentos sísmicos são altamente eficazes para investigar a estratigrafia de camadas de rochas e estruturas tectônicas e, por isso, são o esteio da indústria do petróleo. Este método é mais raramente utilizado na exploração mineral para bens metálicos e preciosos.

Os métodos elétricos, baseados nas propriedades elétricas de rochas e minerais, são os mais comuns na geofísica terrestre e têm sido cada vez mais utilizados em levantamentos aéreos, com aplicação de diversos e eficientes métodos de inversão. A condutividade elétrica, ou sua resistividade recíproca, pode ser obtida medindo-se as

diferenças de potenciais nas rochas. Quando os potenciais surgem de processos naturais, a técnica é conhecida como método do potencial espontâneo. Quando eles estão associados a correntes elétricas geradas artificialmente passando pelas rochas, a técnica é conhecida como método de resistividade. Uma extensão desse método é a polarização induzida, que mede a capacidade das rochas para armazenar carga elétrica. As propriedades elétricas também podem ser investigadas através de métodos eletromagnéticos, quando correntes elétricas são criadas e medidas por indução eletromagnética. Aplicações de métodos geofísicos na exploração mineral podem ser vistos em Ford *et al.* (2007) e Airo (2015).

Ainda, segundo Anderson (2015), os métodos mais utilizados para mapeamento de unidades geológicas, em geral, são os magnetométricos, os radiométricos e os gravimétricos aerotransportados. Esses métodos apresentam as melhores relações entre o custo do levantamento, a qualidade e importância analítica dos dados. A magnetometria é o método de mais baixo custo, uma vez que nem sempre são necessários voos baixos, como no caso da gamaespectrometria. Os métodos radiométricos são aplicados quando a natureza dos materiais da superfície é especialmente importante.

Nesse estudo foram utilizados levantamentos aerogamaespectrométricos e aeromagnéticos levantados pela CBPM na faixa Campo Alegre de Lourdes–Mortugaba, como pode ser observado no mapa–índice da Figura 12.

LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS DO ESTADO DA BAHIA

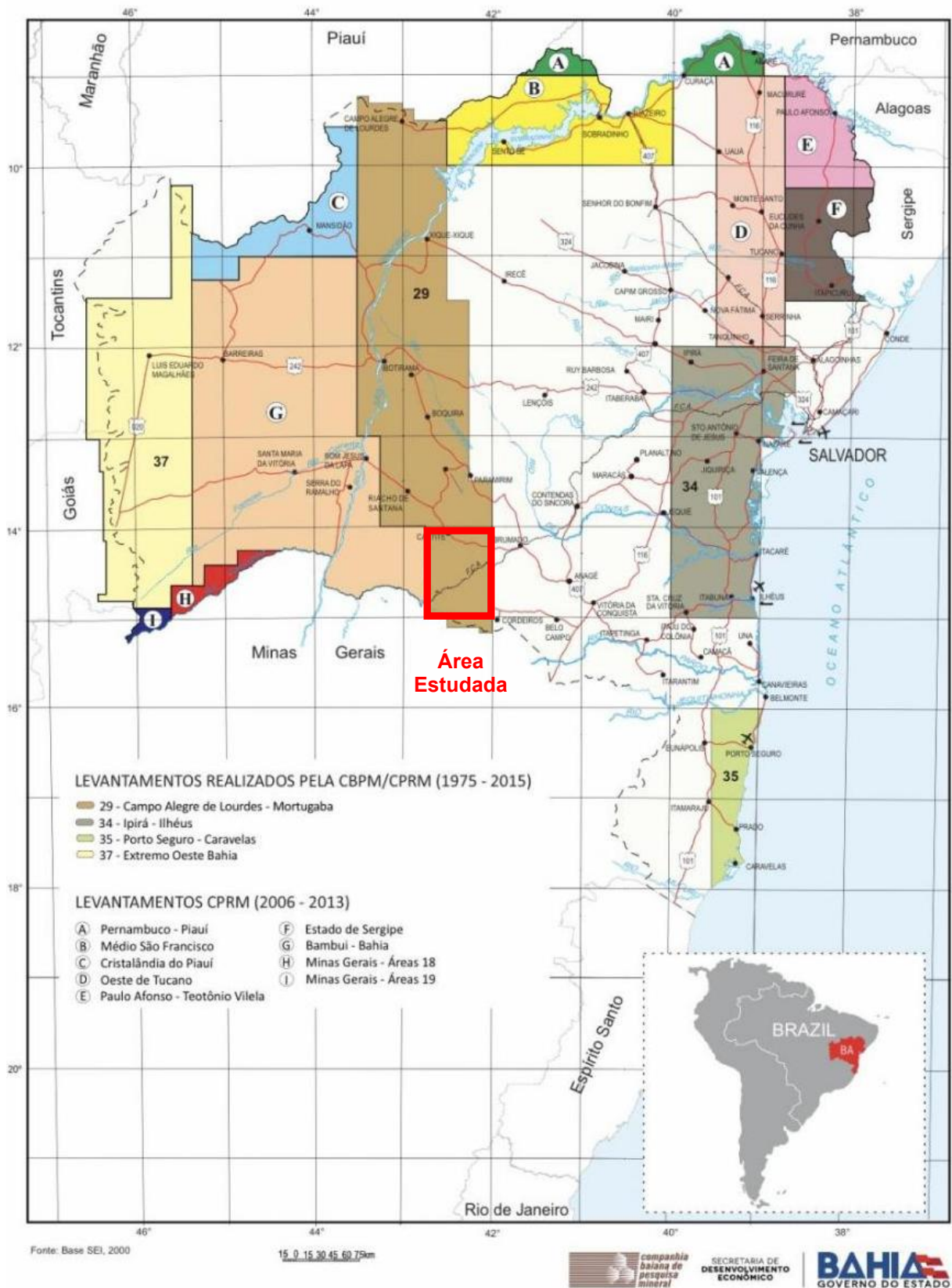


Figura 12: Mapa-índice dos levantamentos aerogeofísicos do estado da Bahia (CBPM, 2022). O polígono vermelho indica os dados cedidos do levantamento 29 (Campo Alegre de Lourdes-Mortugaba) pela CBPM para estes estudos.

5.2. Gamaespectrometria

A interpretação de dados gamaespectrométricos permite caracterizar regiões com unidades litológicas indivisas, detectar a presença de intrusões ígneas aflorantes, elementos hidrográficos, alteração hidrotermal e/ou intensos processos erosivos, contribuindo significativamente para o entendimento de uma região (Ribeiro *et al.*, 2014).

Apesar de existirem mais de 50 isótopos radioativos diferentes na natureza, a maioria deles é muito rara ou fracamente radioativa. As principais fontes de radiação gama detectadas na superfície terrestre provêm da desintegração natural do potássio e dos elementos das séries do urânio e do tório, presentes na composição da maioria das rochas (Dickin, 1995; Faure, 1997). A contagem total de radiação é obtida por um espectrômetro, que mede todos raios gama dentro da janela energética de 0,41 a 2,81 MeV. Os raios gama emitidos pelo potássio se concentram no pico de energia de 1,46 MeV. O urânio não emite radiação gama, mas o bismuto, produto decorrente de seu decaimento radioativo, emite raios gama com energia centradas em 1,76 MeV. Da mesma forma, o tório não emite radiação gama, mas o tálio, resultante de seu decaimento radioativo, emite raios gama com o pico de energia concentrado em 2,61 MeV (Kaplan, 1955). A radiação gama no solo é inversamente proporcional à densidade do meio que atravessa, sendo que qualquer matéria entre o emissor e o sensor pode afetar significativamente a detecção dos raios gama. Isto faz com que as medições radiométricas sejam essencialmente superficiais, tendo um alcance médio de 30 a 40 cm de profundidade (Minty, 1988).

Entre os principais fatores que influenciam as medidas, pode-se citar a cobertura de solo (35 cm de solo são capazes de atenuar cerca de 95% da emissão gama), vegetação densa (a vegetação é capaz de absorver esses elementos, atenuando as medidas de urânio e tório e diminuindo em até 15% as de potássio), a umidade do solo (a presença de água fresca não radioativa pode diminuir as medições para quase zero), variações de temperatura atmosférica (que influenciam a densidade do ar), a umidade relativa e presença de nuvens (fenômeno de inversão térmica, que pode impedir a dissipação do radônio livre na atmosfera gerando falseamento dos dados, grande variação topográfica, efeitos direcionais (quando a janela do detector não está paralela ao plano de medida). Além disso, os dados gamaespectrométricos são diretamente afetados pelas características do levantamento, como a distância entre o sensor e a superfície amostrada, o espaçamento entre as linhas de aquisição e entre os pontos de medida (Dickson *et al.*, 1979).

Como a gamaespectrometria tem pouco alcance em profundidade, as informações obtidas para interpretação limitam-se a contatos geológicos superficiais e/ou afloramentos de uma formação. A Tabela 1, de Ribeiro *et al.* (2014), apresenta as associações entre os teores de K, U e Th nas rochas e solos e tipos de rocha na Austrália.

Tabela 1: Associação entre a concentração média dos radioelementos em rochas e solos na Austrália e os tipos de rocha (Ribeiro et al., 2014).

Tipo de Rocha	Rocha			Solo		
	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
INTRUSIVAS						
granitóides	0,3-4,5	0,4-7,8	2,3-45	0,4-3,9	0,5-7,8	2,0/37
rochas gnaissicas	2,4-3,8	2,1-3,6	18-55	0,7-1,9	1,6-3,8	6,0-19,0
pegmatito	2,6-5,5	0,3-1	0,3-9,6	-	-	-
aplitos	0,6-4	1,0-8,0	3,0-20	-	-	-
quartzo-feldspatos porfiríticos	1,0-5,0	1,3-2,9	6,0-14,0	-	-	-
intrusvas intermediárias	0,7-5,6	0,1-1,2	0,8-6,1	0,7-3,4	1,5-2,6	2,9-8,4
intrusivas máficas	0,1-0,8	0,0-1,1	0,0-3,1	-	-	-
EXTRUSIVAS						
vulcânicas félsicas	2,0-4,4	1,4-13	13-28	1,8-3,2	1,3-2,4	10-18,0
vulcânicas intermediarias	1,8-4,1	0,9-5,6	1,5-15	1,0-2,7	1,2-3,6	4,0-17
andesitos com baixo-K	0,7-0,9	1,0-2,5	3,0-8,0	0,8-1,5	1,2-1,5	4,0-6,0
vulcânicas máficas	0,3-1,3	0,3-1,3	2,0-5,0	0,2-1,4	0,6-2,5	3,3-13
vulcânicas ultramáficas	0,2-0,9	0,3-0,9	0,0-4,0	-	-	-
SEDIMENTARES						
folhelhos arqueanos	0,4-1,6	0,3-1,3	1,0-5,0	-	-	-
outros tipos de folhelhos	0,1-4,0	1,6-3,8	10-55,0	0,7-3,0	1,2-5,0	6,0-19,0
arenitos	0,0-5,5	0,7-5,1	4,0-22,0	0,1-2,4	1,2-4,4	7,0-18,0
carbonatos	0,0-0,5	0,4-2,9	0,0-2,9	-	-	-

Segundo Rudnick & Gao (2004), o teor médio do potássio na crosta continental é aproximadamente 1,50%, sendo maior na crosta superior (2,32%) do que na inferior (0,51%). A principal ocorrência de potássio em associações minerais se dá nos feldspatos potássicos. Seus polimorfos mais abundantes nas rochas comuns são o ortoclásio e o microclínio, com teores ao redor de 15,5% a 16,0%, que podem chegar próximo a 4% em feldspato micropertítico. De acordo com Deer et al. (1992), o elemento ocorre também em micas, como na flogopita (~9,8%), na biotita (~8,0%) e na muscovita (~10,0%), e em alguns argilominerais formados durante a diagênese ou por alteração hidrotermal. As rochas que apresentam maior teor de potássio são as rochas ígneas félsicas, como granitóides, em especial em sienitos, assim como seus equivalentes vulcânicos, e rochas metamórficas micáceas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas, como filitos, xistos e gnaisses. O elemento é também constituinte importante de rochas sedimentares, como folhelhos e argilitos. Os teores de potássio nas demais rochas sedimentares, em rochas ígneas intermediárias e básicas (e seus equivalentes metamórficos, como os anfíbolitos), varia de baixo a moderado. Nas rochas ultrabásicas e seus equivalentes metamórficos, os teores de potássio são muito baixos. O potássio apresenta alta mobilidade durante o intemperismo, principalmente em ambientes de clima tropical a subtropical, e em ambientes de alteração hidrotermal (Wilford et al., 1997).

Na crosta continental, o urânio apresenta um valor médio de 1,3 ppm, sendo sua concentração maior na crosta superior (2,7 ppm) do que na inferior (0,2 ppm). O urânio pode acompanhar o potássio ao longo dos processos de alteração hidrotermal, mas, geralmente, é um elemento menos móvel do que o potássio. Uma vez retirado da sua rocha fonte pelo

intemperismo, o urânio é facilmente absorvido por argilominerais e precipitados com óxidos de ferro nos solos, tendendo assim a se concentrar nestes ambientes mais desenvolvidos do que os ambientes de concentração do potássio (Wilford et al., 1997). Devido à facilidade de lixiviação do urânio nos sedimentos arenosos, seu teor geralmente é menor que 1 ppm. Porém, quando os sedimentos são originados a partir da erosão de rochas ígneas com minerais resistentes ao intemperismo que contém urânio, podem ser formadas rochas com concentrações anômalas de urânio devido à concentração gravítica destes minerais mais densos, como em depósitos aluvionares ou litorâneos (Vasconcellos, 1994).

O tório, por sua vez, apresenta valor médio de 5,6 ppm na crosta continental, alcançando até 10,5 ppm na crosta superior e aproximadamente 1,2 ppm na inferior (Rudnick & Gao, 2004). O tório está geralmente presente na allanita, na monazita, na xenotima e no zircão em níveis superiores a 1.000 ppm, ou como traços em outros minerais formadores de rochas (Dickson & Scott, 1997). O tório apresenta a menor mobilidade geoquímica dentre os três elementos medidos na gamaespectrometria. A maioria dos minerais com alto teor de tório é estável durante o intemperismo e estes minerais podem se acumular em depósitos de areia, juntamente com outros minerais pesados. O tório livre, originado na quebra do mineral durante o intemperismo, pode ser retido nos óxidos-hidróxidos de ferro e titânio, ou até mesmo em argilitos (Dickson & Scott, 1997).

Segundo Dickson & Scott (1997), há uma tendência de aumento da quantidade de radioelementos em função do teor de sílica. Portanto, as rochas félsicas possuem um teor mais elevado de radioelementos relativamente às rochas básicas e ultrabásicas. Segundo estes autores, o tório geralmente apresenta um crescimento maior do número de contagens em função do teor de sílica comparativamente ao urânio, o que torna possível utilizar a razão entre esses elementos (Th/U) para investigar o grau de diferenciação magmática de suítes ígneas.

Apesar da pouca penetrabilidade, a gamaespectrometria é uma ferramenta muito útil para caracterização de diferentes tipos litológicos (como granitos indiferenciados), identificação de possíveis novos alvos exploratórios, ocorrência de hidrotermalismo e, principalmente, para indicar os contatos de unidades litológica com maior precisão (Dickson & Scott, 1997).

5.3. Magnetometria

Os dados aeromagnéticos indicam rochas com minerais magnéticos (como magnetita, titanomagnetita e pirrotita) por meio das variações observadas no campo magnético local (Silva, 2006). Essas variações podem ser geradas pela presença de materiais superficiais ou subsuperficiais, e refletem a resposta dos materiais na presença do campo magnético terrestre. Essa resposta permite classificar o material como diamagnético, paramagnético e ferromagnético. Dentre os minerais magnéticos comuns, a magnetita é o que responde mais fortemente ao campo magnético terrestre. O movimento de um elétron

gera um momento magnético que, na ausência de um campo magnético externo, é anulado pelo momento magnético de um elétron vizinho (Ribeiro & Mantovani, 2011).

Na presença de um campo externo, a velocidade dos momentos aumenta se o sentido do movimento do elétron for o mesmo do campo, ou diminui se estes forem opostos. Essa diferença de velocidades origina o diamagnetismo. Os materiais diamagnéticos estão geralmente associados à baixa susceptibilidade magnética, com sentido oposto ao campo externo aplicado. O paramagnetismo está associado ao efeito de desemparelhamento dos pares de elétrons, sendo sua intensidade maior do que no caso do diamagnetismo e tendo mesma direção do campo externo. Quando um material paramagnético apresenta alinhamento espontâneo dos momentos magnéticos, a intensidade aumenta consideravelmente, sendo o fenômeno denominado ferromagnetismo. As propriedades que podem ser obtidas pelo método magnético são densidade do fluxo magnético ou indução magnética (B), força do campo magnético, e a permeabilidade magnética do meio (Ribeiro & Mantovani, 2011). Este método é muito eficiente na identificação de formações ferríferas e de corpos de rochas básicas e ultrabásicas, para distinção de séries graníticas dos tipos I e M (Ishikara, 1977).

5.3. Interpretação Geofísica

O processamento dos dados aerogeofísicos cedidos pela CBPM foi feito na área delimitada na Figura 6, para que as características observadas na área da mineralização de ouro (Garimpo do Patinho) pudessem ser comparadas com as unidades geológicas regionais e locais. A Figura 13a apresenta o modelo digital de elevação e a Figura 13b, o modelo de declividade do terreno. Pode-se observar que as unidades geológicas que hospedam as mineralizações de manganês, de ferro e a de ouro do Garimpo do Patinho se posicionam no sopé da Serra do Espinhaço, onde afloram as sequências metassedimentares e metavulcanosedimentares que incluem as unidades de rochas carbonáticas e ferro–manganesíferas. Nota-se também um forte alinhamento de drenagem e de relevo orientado segundo a direção NE–SW (identificada pela linha tracejada cinza), que pode representar falhas mais tardias que podem ter servido como condutos para circulação de fluidos hidrotermais que podem, potencialmente, resultar em mineralizações de ouro, por constituírem estruturas de segunda ordem relativamente às estruturas N–S, como modelado por Groves *et al.* (2018).

A Figura 14a apresenta o mapa de elevação sombreado, com iluminação a 315°. A Figura 14b mostra lineamentos no relevo que podem indicar a existência de falhas tardias orientadas na direção NE–SW.

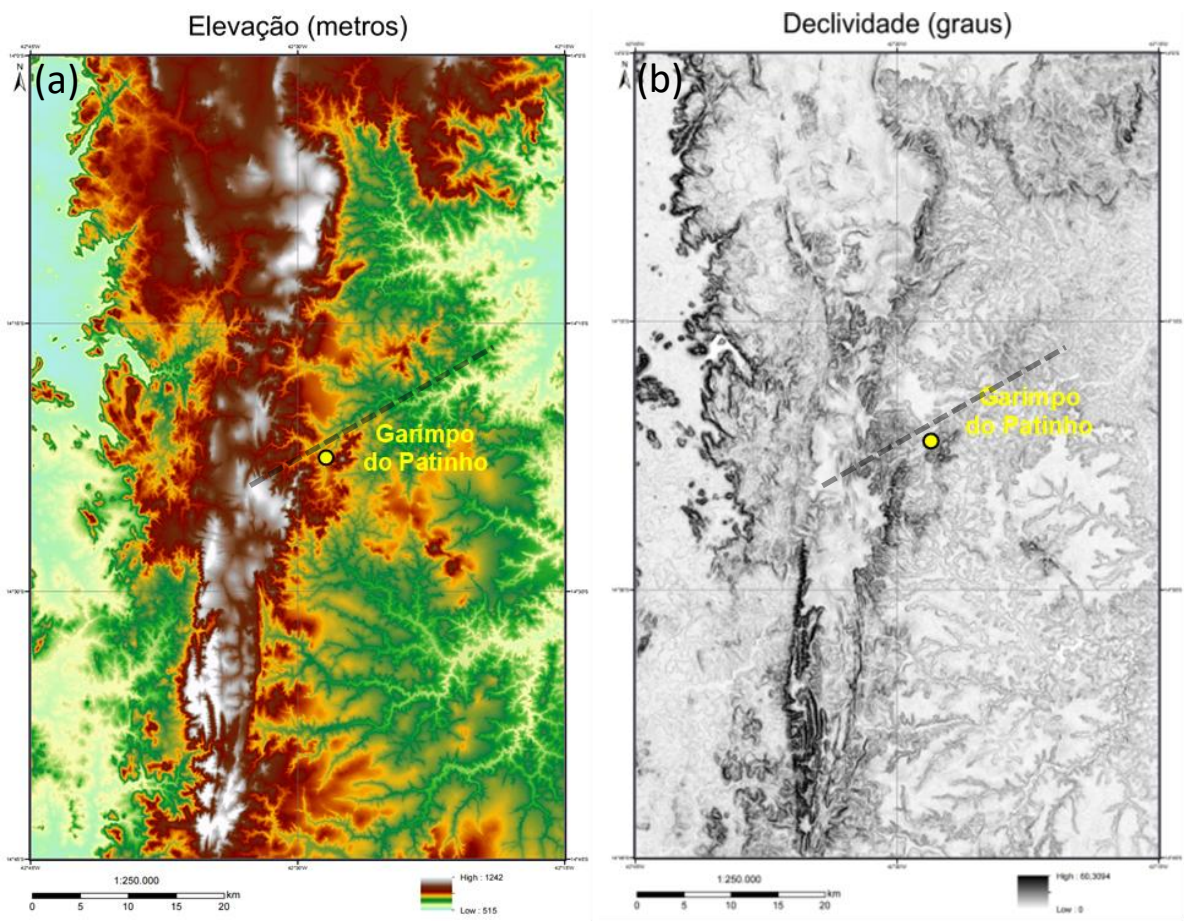


Figura 13: (a) Modelo digital de terreno e (b) de declividade da área de estudo, onde as linhas tracejadas sugerem a presença de falhas tardias NE-SW, que cortam as estruturas principais N-S.

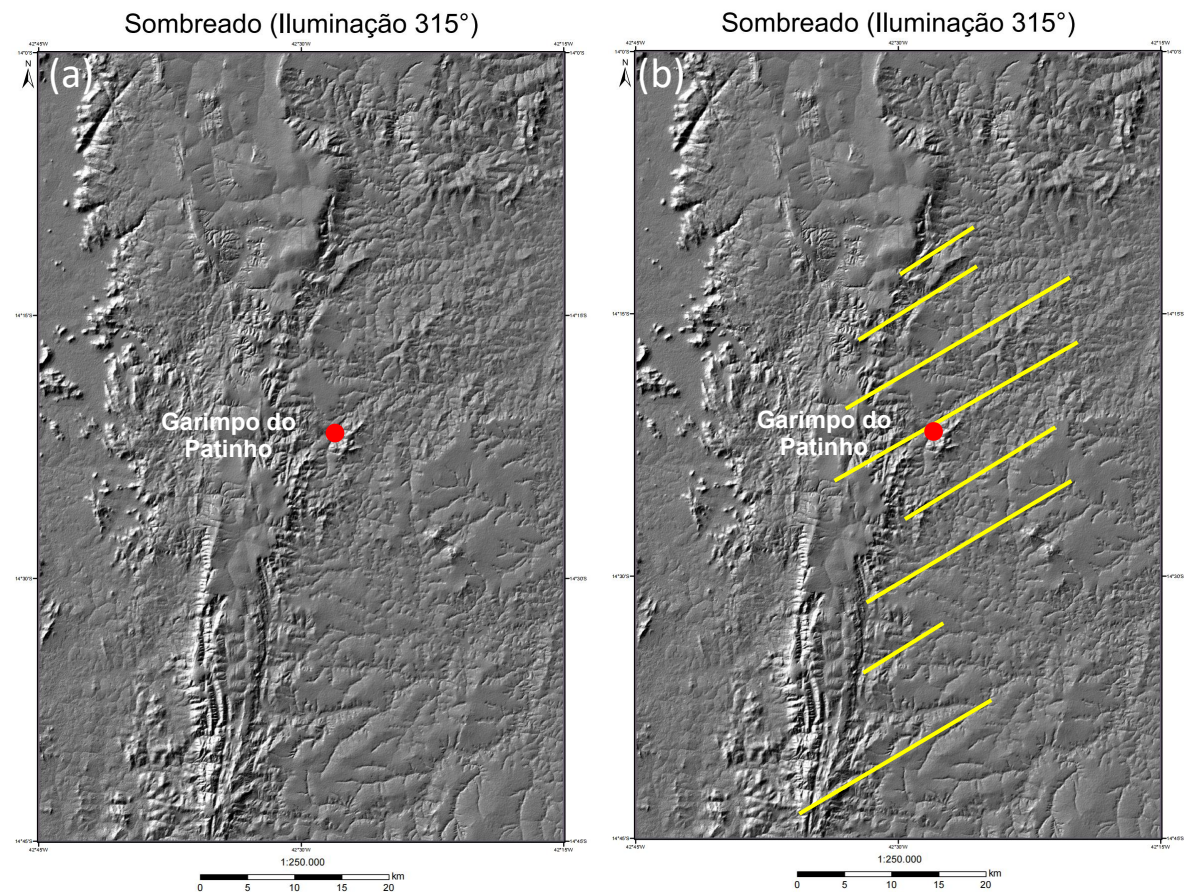


Figura 14: (a) Modelo de elevação da área e (b) possíveis falhas NE-SW indicadas em amarelo.

Os dados gamaespectrométricos foram processados para a elaboração de um mapa ternário (K–Th–U) (Fig. 15a) que indica que o Garimpo do Patinho ocorre em unidades de rochas com teores equivalentes de K e U e menores teores de Th (cores escuras), característicos de rochas metassedimentares. Percebe-se também pequenas zonas enriquecidas em K (em vermelho), as quais podem ser devidas a alterações hidrotermais que em sistemas de ouro orogênico são caracterizadas por concentrações de sericita (zona de alteração sericítica) ou de illita (zonas de alteração argílica), como exemplificado por El-Desoky et al. (2022). Nas proximidades do garimpo, a sul, afloram rochas com teores equivalentes de U–Th–K que, tipicamente representam rochas félsicas, como gnaisses e granitos mais petrologicamente evoluídos. Também foi produzido um mapa de razão K/Th (Fig. 15b). Esse mapa, apesar de não se correlacionar tão bem com os mapas de geologia semi-regional disponíveis quanto o mapa ternário (K–Th–U), também mostra unidades de rochas félsicas e possivelmente alterações hidrotermais (em vermelho) junto ao Garimpo do Patinho.

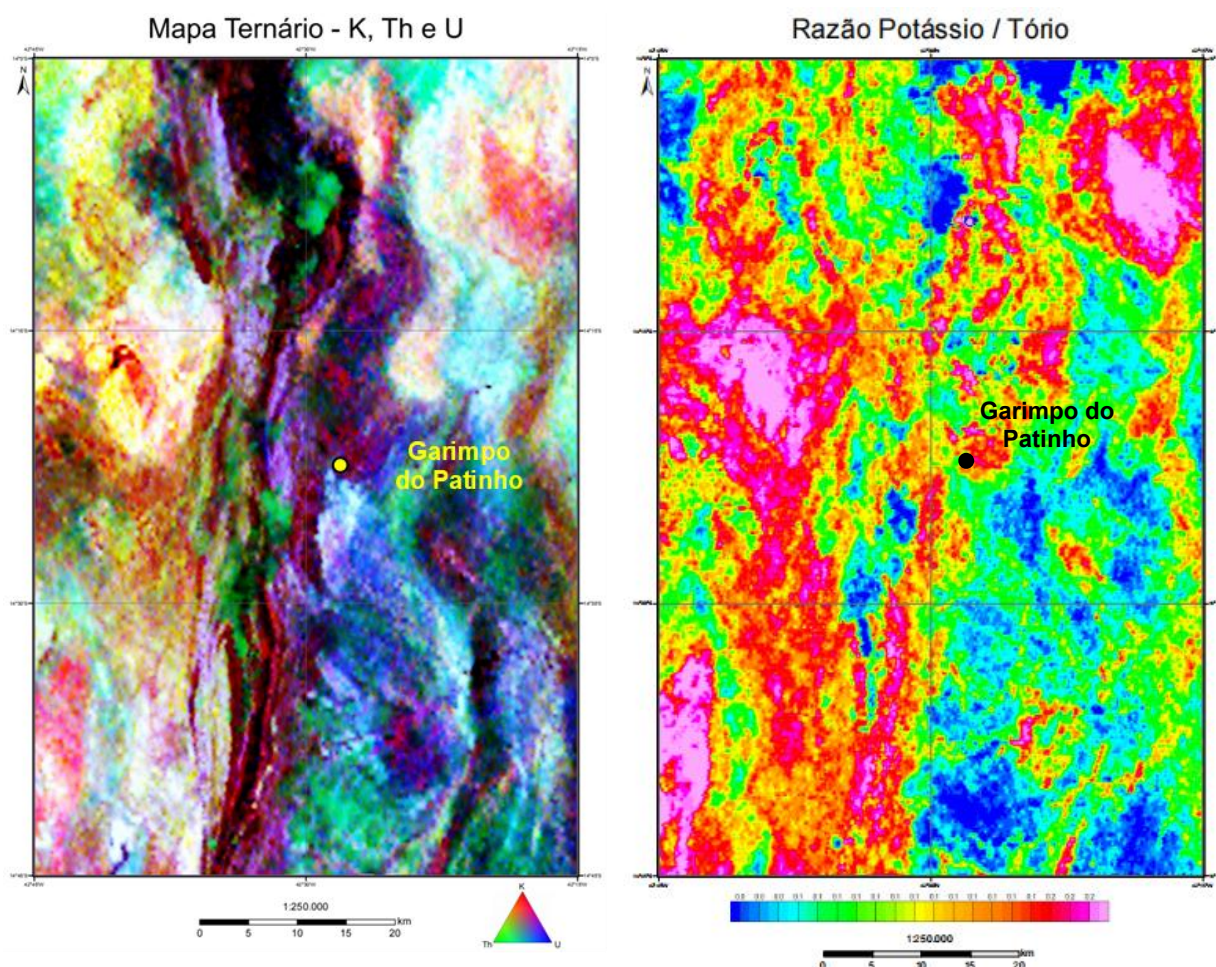


Figura 15: (a) Mapa ternário (K–Th–U) destacando em cores escuras as unidades metassedimentares que hospedam as mineralizações de ouro do Garimpo do Patinho e, em áreas esbranquiçadas, possíveis rochas intrusivas félsicas, e (b) mapa de razão K/Th, em que as áreas em vermelho indicam rochas relativamente enriquecidas em potássio e possíveis regiões de alteração hidrotermal.

A Figura 16 mostra os dados do campo magnético total reduzido ao polo e sombreado a 90°. Além das características distintas das diversas unidades geológicas, observa-se também áreas com intensidade magnética mais elevada em meio às unidades de filitos xistos e feições lineares mais intensas, as quais podem ser correlacionadas às formações ferríferas comuns na área, em especial nas proximidades do Garimpo do Patinho.

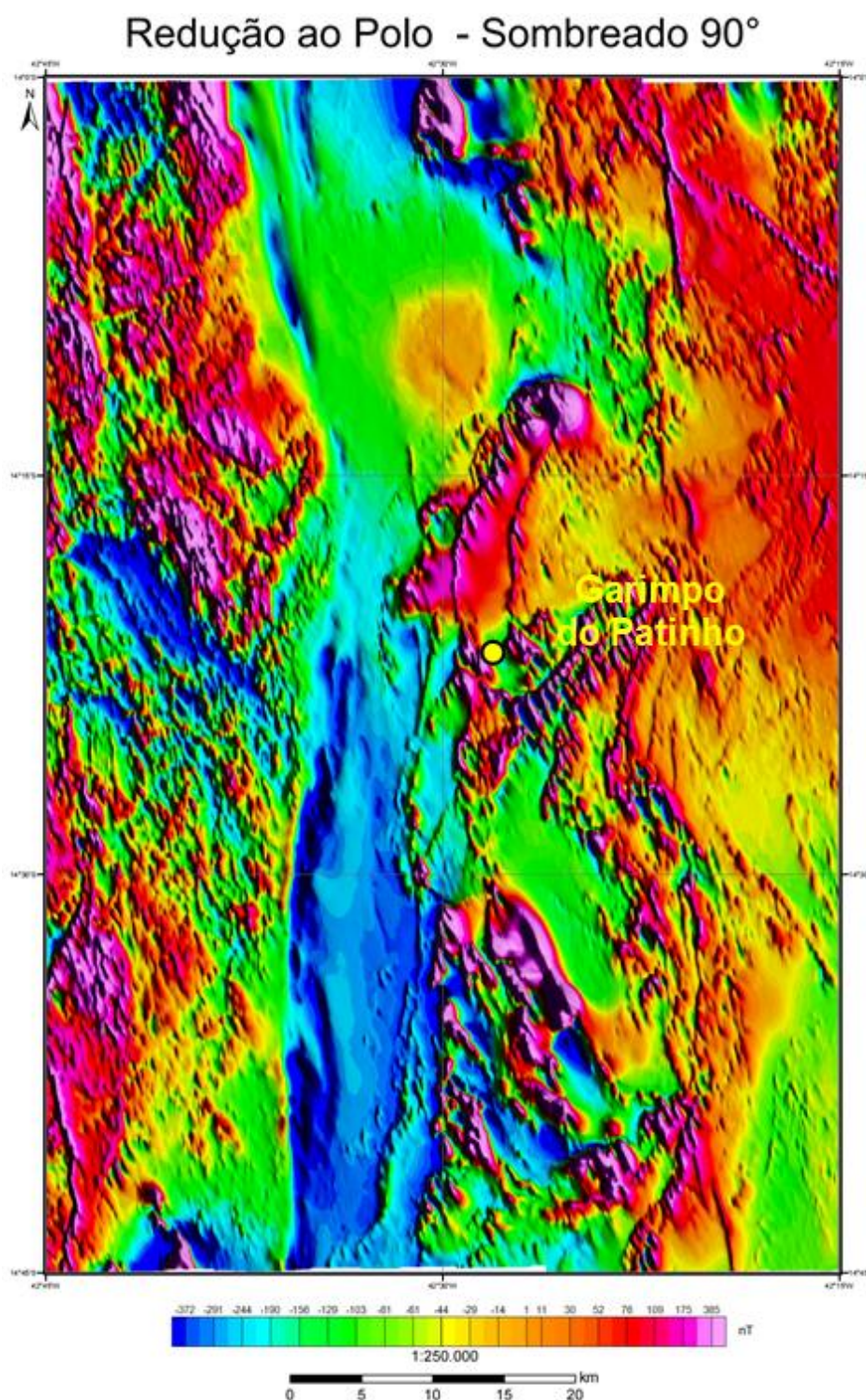


Figura 16: Campo magnético total reduzido ao polo sombreado, na qual se destacam as unidades de xistos, filitos e unidades félsicas mais magnéticas com texturas indicativas de estruturas tectônicas, algumas sugerindo estruturas sigmoidais nas zonas de cisalhamento N-S.

A Figura 17 apresenta as estruturas magnéticas interpretadas neste estudo, com as linhas vermelhas indicando rochas fortemente magnéticas, que podem ser correlacionadas às formações ferríferas, e as em amarelo representando zonas fracamente magnéticas.

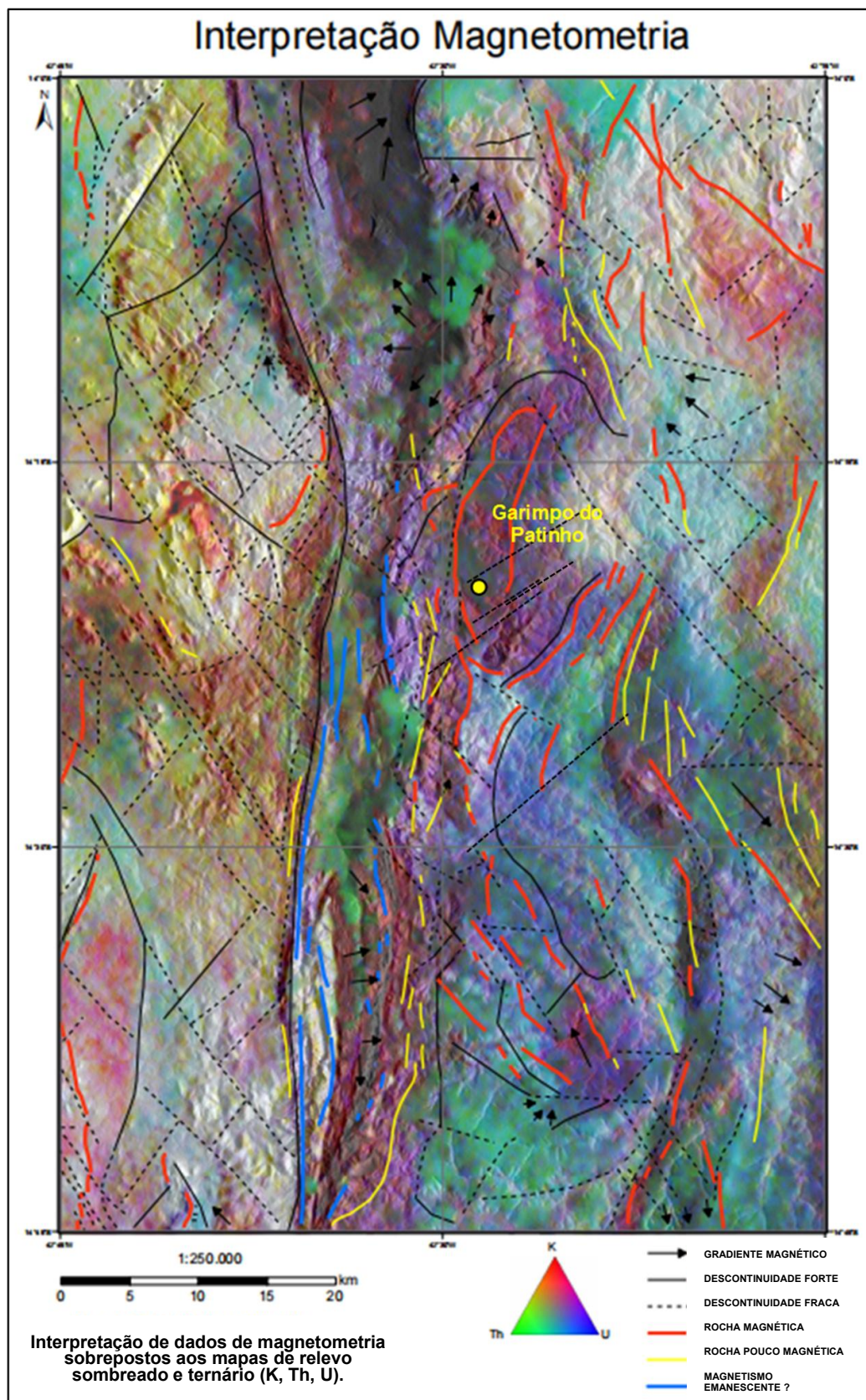


Figura 17: Interpretação das estruturas magnéticas, geradas com estruturas tectônicas, litologias e/ou alterações hidrotermais.

Descontinuidades magnéticas em algumas destas estruturas são sugestivas de alterações hidrotermais hidrolíticas em zonas de falhas, resultando em sericitização ou argilização, processo no qual os minerais magnéticos tendem a ser destruídos. As zonas mais magnéticas podem corresponder a zonas com rochas portadora de magnetita, por exemplo máficas ou Formações Ferríferas Bandadas. Podem também marcar zonas com pirrotita, sulfeto tipicamente associado a mineralizações orogênicas de ouro. As linhas azuis podem representar rochas com magnetismo remanescente, e as linhas cinza, descontinuidades evidentes (falhas) e menos evidentes (linhas tracejadas). As setas indicam os vetores do gradiente magnético.

6. PETROGRAFIA

Durante o reconhecimento geológico realizado em 2018, foram coletadas amostras de rochas da escavação de poços do Garimpo do Patinho. Algumas delas foram laminadas para análise petrográfica.

A amostra 1 (Figura 18) corresponde a um mármore homogêneo, de textura granomatoblástica e leve bandamento. Através da microscopia foi possível estimar a composição em 80% de calcita, 15% de tremolita e 5% de opacos, possivelmente magnetita.

A amostra 2 (Figura 19) é um *metachert* magnetítico de BIF fácies óxido. A textura é granoblástica poligonal, o que indica cristalização metamórfica. A estrutura é composta por bandas quartzosas e enriquecidas em minerais opacos intercaladas. A composição da rocha foi estimada em 60% de quartzo, 20% de óxidos e hidróxidos de ferro e 20% de opacos.

As rochas encaixantes da mineralização são representadas por rochas calciossilicáticas. A amostra 3 (Figura 20) é uma rocha calciossilicática magnetítica de BIF fácies silicática. A textura é, novamente, granoblástica poligonal, e a estrutura apresenta bandas quartzosas e enriquecidas em minerais opacos intercaladas. A análise microscópica indica composição estimada de 60% de tremolita, 20% de calcita (em parte interpretada como ankerita em função das propriedades óticas semelhantes às da calcita, mas com intemperismo resultando em hidróxidos de ferro) e 20% de minerais opacos. Dentre estes minerais, é possível estimar 60% de magnetita e 40% de hematita. Essas rochas não possuem quartzo. São observadas deformações e vênulas de carbonato microcristalino.

Três amostras de quartzo do veio de veio sulfetado foram laminadas. A amostra 4A está pouco intemperizada (Figura 21), a 4B está semi-intemperizada (Figura 22) e a 4C, muito intemperizada (Figura 23). Todas apresentam textura granoblástica poligonal, com poucas evidências de deformação, sugerindo que os veios são tardios ao principal evento deformacional, que resultou em falhas orientadas na direção N-S e compressão com vergência para W. Assim, deve ser considerada a possibilidade dos veios estarem

controlados em falhas orientadas na direção NE–SW, com lineamentos indicados no estudos dos dados aerogeofísicos.

As amostras apresentam pouca sericita e um volume um pouco maior de feldspatos argilizados. Em meio à limonita, notam-se restos de pirita e de calcopirita e pequenos grãos de ouro nativo na amostra mais intemperizada. As amostras menos intemperizadas apresentam pirita predominante e calcopirita abundante, usualmente substituída parcialmente por covelita, que pode ser de origem hidrotermal ou intempérica. Claramente o ouro livre é formado predominantemente pelo intemperismo da pirita e da calcopirita, mas alguns grãos muito finos estão inclusos em quartzo.

Fotos das amostras e fotomicrografias das lâminas se encontram no Anexo.

7. DISCUSSÃO

As unidades geológicas que hospedam as mineralizações de manganês e de ferro do Distrito Ferro–manganesífero de Urandi–Caetité–Licínio de Almeida e a de ouro do Garimpo do Patinho se localizam imediatamente a leste da Serra do Espinhaço, onde afloram sequências metassedimentares e metavulcanosedimentares. A deformação tectônica por cisalhamento nos veios, que estão encaixados em falha de segunda ordem (relativamente à falha N–S da Serra do Espinhaço), a presença de carbonatos e a possível presença de ankerita no veio de quartzo e nas rochas encaixantes sugerem que a mineralização no Garimpo do Patinho é do tipo orogênico. Some-se a isto as possíveis alterações potássicas nas falhas regionais, como indicadas pela aerogamaespetrometria.

Segundo a síntese e as modelagens termodinâmicas de Li *et al.* (2022), as mineralizações de ouro orogênicas podem ser subdivididas de acordo com a profundidade de formação na crosta em:

a) Mesozonais, formadas entre 6 e 12 km de profundidade, as quais apresentam paragêneses hidrotermais com quartzo, muscovita, albita, clorita, calcita, ankerita, siderita, magnesita, grafita, pirrotita e pirita, e

b) Epizonais, formadas em profundidades menores que 6 km, caracterizadas por alterações hidrotermais com carbonatos de ferro e magnésio, incluindo dolomita, ankerita, magnesita, siderita e grafita. A clorita constitui uma zona de alteração hidrotermal importante e maiores volumes de quartzo e muscovita/sericita são típicas neste nível crustal.

Neste contexto, observa-se que não pode ser identificada alteração hidrotermal clorítica no Garimpo do Patinho, em parte pela amostragem restrita e em parte pelo intemperismo das rochas encaixantes. Entretanto, rochas com clorita são comuns na região, como descrito por Cunha (2012) e Borges *et al.* (2015), por exemplo, além da gradação do metamorfismo da fácies xisto verde para anfíbolito, que representa o contexto crustal típico para formação de mineralizações orogênicas de ouro (Grooves *et al.*, 2020; 2022).

As mineralizações de ouro orogênico tipicamente têm pirrotita, comumente abundante, devido ao estado de oxidação mais reduzidos dos fluidos hidrotermais metamórficos. Este mineral não foi identificado macroscopicamente ou na petrografia e o veio mineralizado em ouro tem calcopirita relativamente abundante, o que é incomum em mineralizações orogênicas de ouro. A presença de calcopirita indica que o fluido hidrotermal mineralizante foi relativamente oxidado, o que pode sugerir contribuições de fluidos derivados da consolidação de magmas félsicos na gênese da mineralização aurífera, ou, alternativamente, que pode ter havido mistura de fluidos metamórficos profundos com fluidos de devolatilização metamórfica das unidades metassedimentares mais rasas da unidade Urandi–Caetité–Licínio de Almeida, claramente mais oxidada, dada a abundante presença de rochas manganíferas.

As amostras dos veios de quartzo menos intemperizadas apresentam calcopirita substituída parcialmente por covelita, que pode ter sido formada por intemperismo ou por fluidos hidrotermais, assim como a martitização da magnetita. Caso estes minerais sejam de origem hidrotermal, os fluidos seriam ainda mais oxidados nas fases finais da mineralização aurífera, o que pode ser indicativo de mistura com fluidos meteóricos, que é compatível com as falhas hospedeiras da mineralização formadas em regime rúptil. Estas características excluem uma origem orogênica clássica e sugerem um sistema mineralizante com fluidos de origem profunda, formados por devolatilização metamórfica em zonas de médio a alto grau, que se misturaram com fluidos derivados da consolidação de magmas e até mesmo com fluidos meteóricos nas fases mais tardias. As mineralizações de ouro orogênico se associam a quaisquer tipos de rochas, mas são mais comuns em sequências vulcano-sedimentares do tipo *greenstone belt* ou em sequências sedimentares terrígenas, como metaturbitos, em fácies xisto verde, junto à transição para rochas de fácies anfibolito (Groves *et al.*, 2020; 2022), características estas presentes na área estudada.

As unidades sedimentares da área, com abundantes formações manganíferas (BMFs) e ferríferas com magnetita (BIFs), *metacherts* ferruginosos magnetíticos, rochas carbonáticas e calciossilicáticas manganíferas e metapelitos são favoráveis a mineralizações de ouro vulcanogênicas/exalativas do tipo VMS, mas, pelas características dos minérios e das rochas encaixantes, esta origem não pode explicar a mineralização do Garimpo do Patinho (ver Shanks III & Thurston, 2012). Entretanto, os fluidos hidrotermais orogênicos podem ter remobilizado ouro destas sequências sedimentares e exalativas e terem se tornado mais oxidados.

Se por um lado a análise petrográfica deixa dúvidas importantes em relação à gênese do depósito de ouro do Garimpo do Patinho, pela não identificação de alterações hidrotermais e de alguns minerais típicos, a interpretação geofísica reforça as características indicativas de um depósito hidrotermal do tipo orogênico, dado que trechos fortemente magnéticos e fracamente magnéticos nas zonas de falhas sugerem alterações hidrotermais

hidrolíticas, resultando em sericitização ou argilização e consequente destruição dos minerais magnéticos. As zonas mais magnéticas podem corresponder a zonas com rochas máficas e/ou enriquecidas em pirrotita, sulfeto tipicamente associado a depósitos de ouro de origem orogênica.

Os mapas dos levantamentos aerogeofísicos também indicam a existência de um forte alinhamento de drenagem e de relevo orientado na direção NE–SW nas proximidades do Garimpo do Patinho, que pode representar falhas tardias rasas, ou falhas de segunda ordem em relação às falhas regionais principais que se alinham com a Serra do Espinhaço na direção N–S. Essas falhas podem ter servido como condutos para circulação de fluidos hidrotermais, nos quais os íons podem precipitar e resultar em mineralizações de ouro.

Observa-se também que, nas proximidades da Serra do Espinhaço há duas minas de ouro, a do Riacho dos Machados, no Espinhaço Meridional, e a Fazenda Brasileiro, no Espinhaço Setentrional. A literatura indica que ambos os depósitos, localizadas em ambiente tectônico comparável ao do Garimpo do Patinho, se caracterizam pela gênese hidrotermal em sistemas orogênicos (Hernandes, 1994; Teixeira *et al.*, 1990).

Assim, os estudos deste trabalho sugerem que sistemas análogos, epizonais, talvez com contribuição de fluidos derivados da consolidação de magmas e meteóricos, geraram a mineralização aurífera do Garimpo do Patinho.

8. CONCLUSÃO

O estudo do contexto geológico–estrutural do Garimpo do Patinho resultou em uma melhor compreensão da composição e das estruturas das rochas encaixantes e da mineralização de ouro no garimpo e nos seus arredores. A localização do garimpo, em meio a BIFs e BMFs, rochas calciossilicáticas e *metacherts* magnetíticos, pode indicar concentrações vulcanogênicas do tipo VMS. No entanto, a análise petrográfica das amostras de rocha e minério lavradas no poço do garimpo indica ser a gênese do depósito mais compatível com o modelo de ouro orogênico epizonal.

As amostras dos veios de quartzo menos intemperizadas apresentam calcopirita substituída parcialmente por covelita e abundância relativa de sulfetos de cobre, sugerindo a possibilidade de que os fluidos hidrotermais que originaram a mineralização tiveram contribuições de fluidos derivados da consolidação de magmas e meteóricos.

A interpretação geofísica sugere a presença de diques intrusivos félsicos na região e a existência de falhas tardias, por onde fluidos hidrotermais podem ter percolado e gerado depósitos de ouro. Além disso, o mapa ternário (K–Th–U) apresenta zonas enriquecidas em potássio (cores vermelhas) ao redor do garimpo, possivelmente devido a alterações hidrotermais. Portanto, conclui-se que a gênese do depósito de ouro do Garimpo do Patinho é hidrotermal e do tipo orogênico epizonal.

A continuidade dos trabalhos de exploração mineral, com um número maior de amostras e de análises petrográficas, pode resultar na confirmação ou na revisão dessa hipótese.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, G.C., 2018. Relatório de Reconhecimento Geológico. São Paulo, 124 p., inédito.
- Almeida Abreu, P.A., 1995. O Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional Minas Gerais: o rifte, a bacia e o orógeno. *Geonomos*, 3(1): 1-18.
- Airo, M.-L., 2015. Geophysical signatures of mineral deposit types in Finland. *Geological Survey of Finland, Special Paper 58*, 9-70.
- Alkmim, F.F., Martins-Neto, M.A., 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco Craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 33(1): 127-139.
- Anderson, E.D., 2015. Michael Dentith and Stephen T. Mudge: Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist.
- Dentith, M., Mudge, S.T., 2015. *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. Cambridge University Press, 454 p.
- Barbosa, J.S.F., Luciano, R.L., Cruz Filho, B.E. da, Santana, J. dos S., Moraes, A.M.V. de, Mascarenhas, J. de F., 2021. Nota Explicativa do Mapa Tectônico-Geocronológico do Estado da Bahia: implicações metalogenéticas - Escala 1:1.000.000. CPRM/CBPM, Série Publicações Especiais, 24). Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral 54 p.
- Borges, J.O., 2012. Geologia e evolução metalogenética do minério de manganês da mina Lagoa D'anta, subdistrito ferro-manganesífero de Caetité-Licínio de Almeida, Bahia. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 216 p.
- Borges, J.D.O., Cruz, S.C.P., Barbosa, J.S.F., Santos, E.D.S., 2015. Arcabouço estrutural das rochas da mina Lagoa D'Anta, distrito ferro-manganesífero Urandi-Caetité-Licínio de Almeida, Bahia, Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 45:173-192.
- Brito Neves, B.B. de, Sá, J.M., Nilson, A.A., Botelho, N.F., 1995. A tafrogênese estateriana nos blocos paleoproterozoicos da América do Sul e processos subsequentes. *Geonomos*, 3(2): 1-21.
- Chaves, M.L.S.C., 1997. Geologia e mineralogia do diamante da Serra do Espinhaço em Minas Gerais. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo. 309 p.
- Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM), 2022. Levantamentos Aerogeofísicos CBPM, Área Campo Alegre de Lourdes - Mortugaba. Disponível em: <<http://lagfba.cbpm.ba.gov.br/Home/IndiceMapa/29>>. Acesso em: 14 de agosto de 2022.
- Cunha, J.C., Barbosa, J.S.F., Mascarenhas, J.F., 2012. Os greenstone belts. In: Barbosa J.S.F., Mascarenhas J.F., Corrêa-Gomes L.C., Domingues J.M.L. *Geologia da Bahia*, v. 2. Pesquisa e atualização de dados. Salvador, CBPM, p. 203-326.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1992. *An introduction to the rock-forming minerals*. Longman Scientific & Technical, 3rd ed., 696 p.
- Dickin, A.D., 1995. *Radiogenic Isotope Geology*. Cambridge: Cambridge University. Press, 490 p.
- Dickson, B.L., Scott, K.M., 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. *AGSO J. Australia Geology & Geophysics*, 17(2): 187-200.
- Dickson, B.L., G. J. Clark, B. J. McGregor, 1979. Technique for correcting for over-burden effects in ground level radiometric surveys of uranium ore bodies. *Geophysics*, 44: 89-98.
- Dussin, I.A., Dussin, T.M., 1995. Supergrupo Espinhaço: modelo de evolução geodinâmica. *Geonomos*, 3(1): 19-26.
- El-Desoky, H.M., Tende, A.W., Abdel-Rahman, A.M., Ene, A., Awad, H.A., Fahmy, W., El-Awny, H., Zakaly, H.M.H., 2022. Hydrothermal Alteration Mapping Using Landsat 8 and ASTER Data and Geochemical Characteristics of Precambrian Rocks in the

- Egyptian Shield: A Case Study from Abu Ghalaga, Southeastern Desert, Egypt. *Remote Sens.*, 14: 3456.
- Faure, G., 1997. Principles and applications of geochemistry. New York:Prentice Hall. 589 p.
- Ford, K., Keating, P., Thomas, M.D., Goodfellow, W.D., 2007. Overview of geophysical signatures associated with Canadian ore deposits. *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication*, 5: 939-970.
- Groves, D.I., Santosh, M., Deng, J., Wang, Q.,; Yang, L., Zhang L., 2020. A holistic model for the origin of orogenic gold deposits and its implications for exploration. *Mineralium Deposita*, 55: 275–292.
- Groves, D.I., Santosh, M., Goldfarb R.J., Zhang, L., 2018. Structural geometry of orogenic gold deposits: Implications for exploration of world-class and giant deposits. *Geoscience Frontiers*, 9: 1163-1177.
- Groves, D.I., Santosh, M., Müller, D., Zhang, L., Deng, J., Yang L.-Q., Wang, Q.-F., 2022. Mineral systems: Their advantages in terms of developing holistic genetic models and for target generation in global mineral exploration. *Geosystems and Geoenvironment*, 1: 100001.
- Hernandes, G.L.S., 1994. Processamento digital de imagens LANDSAT/TM e GEOSCAN/AMSS na caracterização lito-estrutural e delimitação de alteração hidrotermal na area do deposito aurifero de Riacho dos Machados (MG). Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociencias, Campinas, SP. 145p.
- Infoescola. Mapa Rodoviário da Bahia, 2022. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/mapas/mapa-rodoviario-da-bahia/>>. Acesso em 8 de julho de 2022.
- Investing.com. Ouro Futuros Histórico de Preços, 2022. Disponível em <<https://br.investing.com/commodities/gold-historical-data>>. Acesso em 16 de dezembro de 2022.
- Isles, D.J., Rankin, L.R., 2013. Geological interpretation of aeromagnetic data. Society of Exploration Geophysicists and Australian Society of Exploration Geophysicists, Perth Australia, 357 p.
- Kaplan, I., 1955. Nuclear Physics. Addison-Wesley Publ. Co., Londres, 609 p.
- Li, H., Wang, Q., Yang, L., Dong, C., Weng, W., Deng, J., 2022. Alteration and mineralization patterns in orogenic gold deposits: Constraints from deposit observation and thermodynamic modeling. *Chemical Geology*, 607: 121012.
- Leandro, Marcos. Após desvalorização de 16%, ainda vale a pena ter ouro na carteira? *Investidor*. 2022. Disponível em: <<https://investidor.estadao.com.br/mercado/investir-ouro-2022/>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2022.
- Minty, B.R.S., 1988. A review of airborne gamma-ray spectrometric data-processing techniques. Canberra: Australian Gov. Publ. Service, 48 p.
- Moreira, H.F., Danderfer, A., Costa, A.F.O., Bersan, S.M., Lana, C.C., Queiroga, G.N., 2020. Record of Early Tonian mafic magmatism in the central Espinhaço (Brazil): New insights for break-up of the Neoproterozoic landmass ancestor of São Francisco–Congo paleocontinent. *Geoscience Frontiers*, 11(6): 2323-2337. doi.org/10.1016/j.gsf.2020.02.007.
- Ribeiro, V.B., Mantovani, M., 2011. Modelagem geofísica do complexo alcalino de Tapira–MG. MSc in Geophysics, Universidade de São Paulo, SP.
- Ribeiro, V.B., Mantovani, M., Louro, V.H.A., 2014. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. *Terræ Didática*, 10(1): 29-51.
- Rocha, G.M.F., Souza, S.L., Garrido, I.A.A., 1998. Distrito Manganesífero de Urandi–Licínio de Almeida, Bahia: Geologia e Potencialidade Econômica, CBPM.
- Rudnick, R., Gao, S., 2004. Composition of the continental crust. In: Holland H.D., Turekian N.N. (Eds.) *Treatise on geochemistry*. Oxford: Elsevier Pergamon, 3: 1-64.

- Schöll, L.L., Fogaça, A.C.C, 1979. Estratigrafia da Serra do Espinhaço na região de Diamantina. Anais do Simp. Geol. de Minas Gerais, SBG, Núcleo MG, Bol 1: 55-73, Belo Horizonte, MG.
- Shanks III, W.C.P., Thurston, R., 2012. Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–C, 345 p.
- Silva, L.G. 2006. Metodologia geofísica para discriminação de corpos intrusivos na Província Alcalina do Alto Parnaíba, MG. Brasília: Diss. Mestr. Inst. Geoc., UnB, 78 p..
- Teixeira, J.B.G., Kishida, A., Marimon, M.P.C., Xavier, R.P., McReath, I., 1990. The Fazenda Brasileiro gold deposit, Bahia; geology, hydrothermal alteration, and fluid inclusion studies. *Economic Geology*, 85(5): 990-1009.
- Tichauer, R., Abreu, G.C. de, De Tomi, G., 2021. Method of comparable values: A new approach for efficient exploration target selection in small-scale mining. *Natural Resources Research*, 30(3): 2029-2046.
- Uhlein, A., Quemeneur, J.J.G., 2001. Estrutura e deformação brasileira nos diques máficos da Serra do Espinhaço Meridional. *Geonomos*, 8(2): 19-25.
- Vasconcellos, R.M., 1994. Geofísica em levantamentos geológicos no Brasil. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, CPRM, Rio de Janeiro, 165 p.
- Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95: 185–187.
- Wilford, J.R., Bierwirth P.N., Craig M.A., 1997. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. *Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2): 201-216.
- Zhdanov, M.S., 2021. Editorial for Special Issue Geophysics for Mineral Exploration. *Minerals*, 11(7): 692.

ANEXO – PETROGRAFIA MICROSCÓPICA

1. Amostra 1 – Mármore calcítico



Figura 18: Mármore calcítico do poço do Garimpo do Patinho.

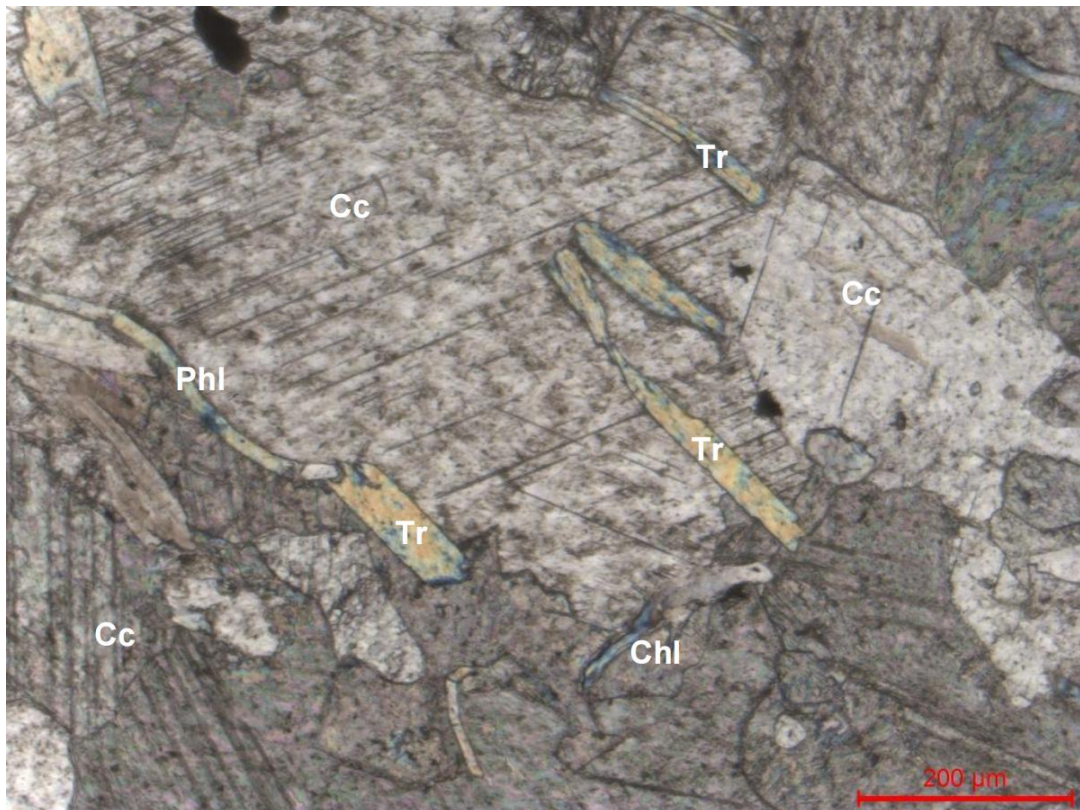
Rocha: Mármore calcítico

Textura: Grano-nematoblástica

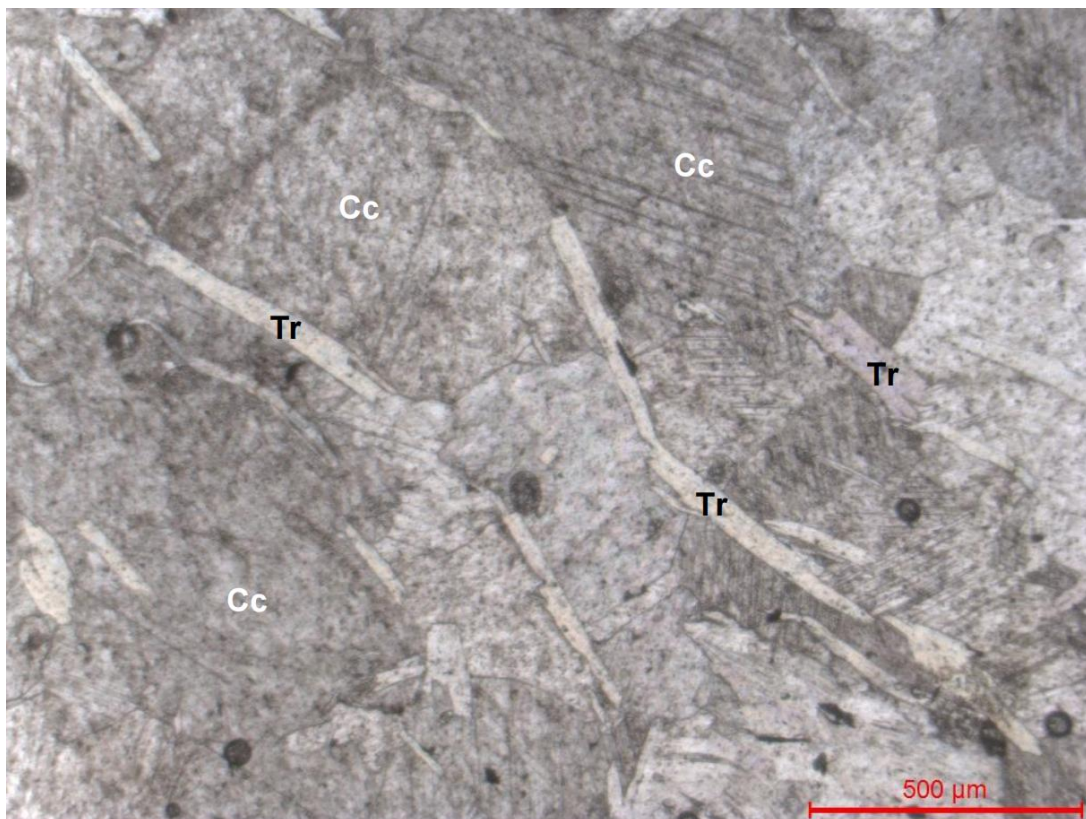
Estrutura: Bandamento leve

Microscopia:

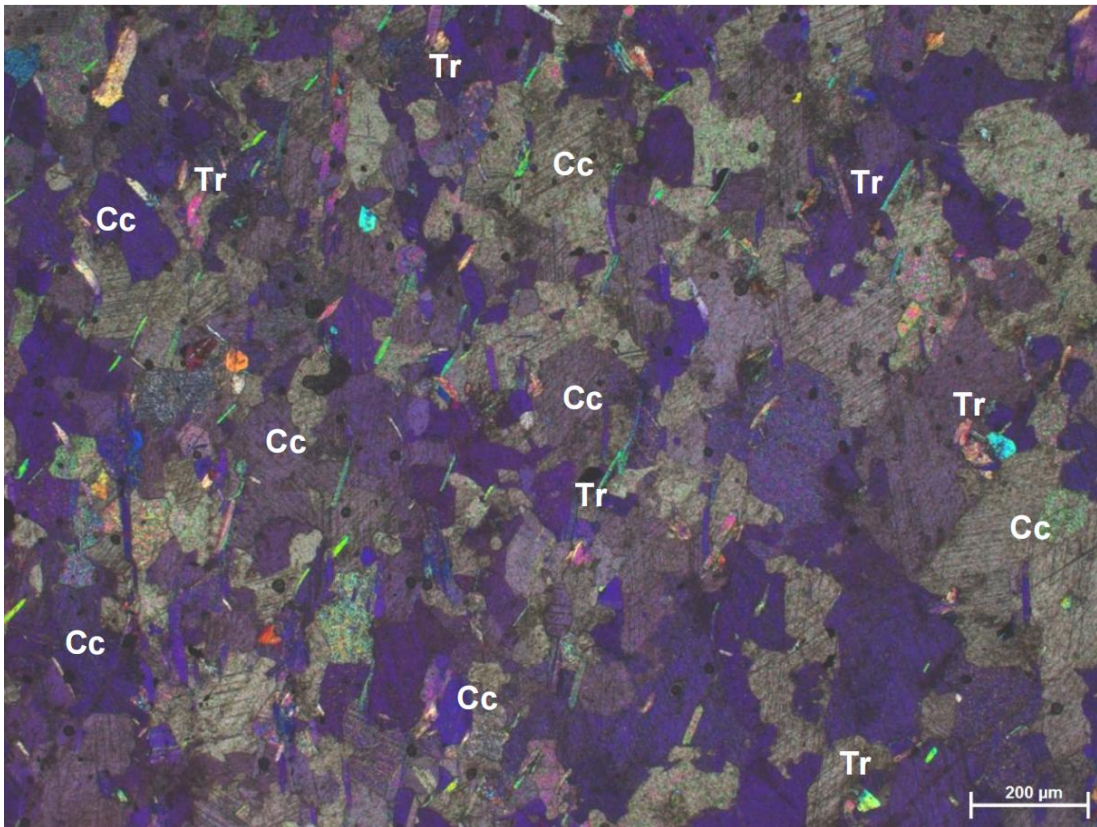
Calcita:	80%
Tremolita:	13%
Flogopita:	2%
Clorita:	2%
Minerais Opacos:	3%



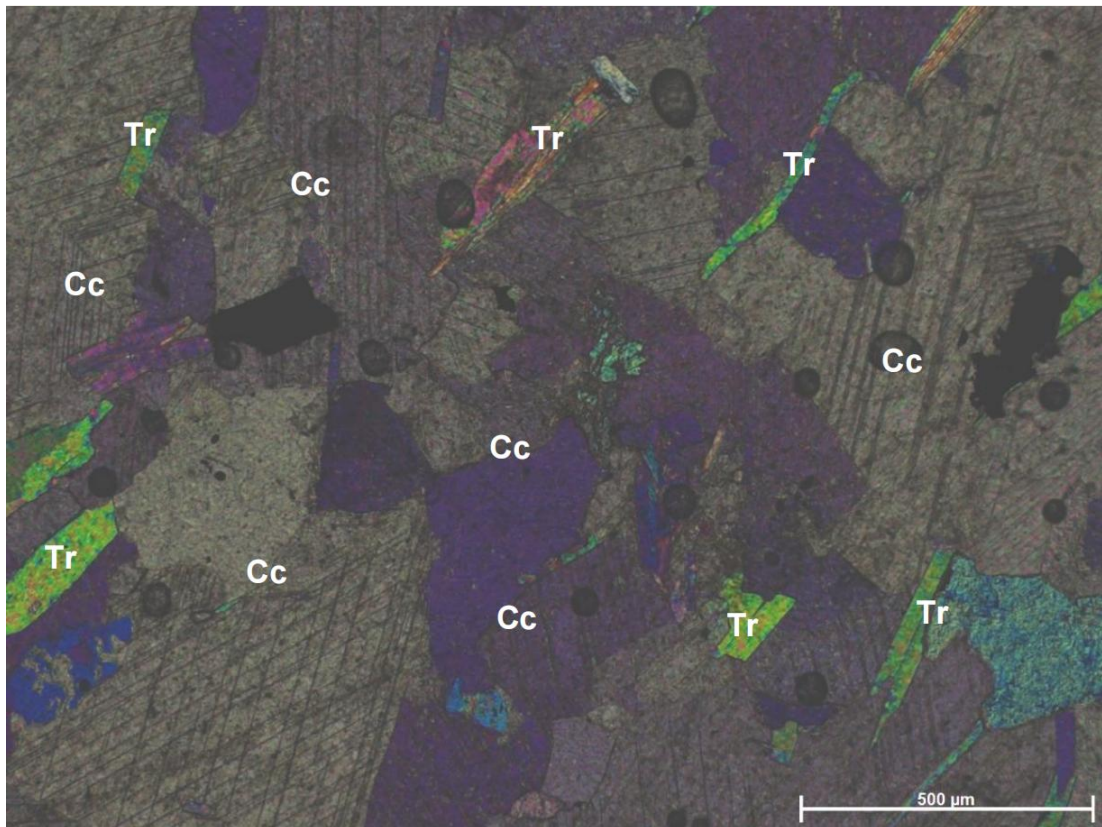
Fotomicrografia 1A: Mármore calcítico (Cc = calcita) em arranjo granoblástico com tremolita (Tr) subordinada orientada na foliação metamórfica, além de alguns poucos cristais de clorita (Chl) magnésiana, flogopita (Phl) e de minerais opacos (Op). Notar a recristalização causada pela deformação em alguns grãos, bem como a migração de bordas de grão induzida pela deformação (fotomicrografia com polarizadores cruzados).



Fotomicrografia 1B: Mármore calcítico (Cc = calcita) em arranjo granoblástico com tremolita (Tr) subordinada orientada na foliação metamórfica, além de alguns poucos minerais opacos (Op). Notar a recristalização causada pela deformação em alguns grãos, bem como a migração de bordas de grão induzida pela deformação (fotomicrografia com polarizadores cruzados).



Fotomicrografia 1C: Matrix calcítica (Cc = calcita) com leve bandamento dado pela granulação da calcita (Cc) paralela à orientação dos cristais de finos de tremolita (Tr) e orientados na foliação metamórfica. Notar uma orientação secundária quase ortogonal à foliação, dada pela recristalização da calcita.



Fotomicrografia 1D: Matrix calcítica (Cc = calcita) com tremolita (Tr) orientada na foliação metamórfica.

2. Amostra 2 – *Metachert* magnetítico (BIF fácies óxido)



Figura 19: Metachert magnetítico do poço do Garimpo do Patinho.

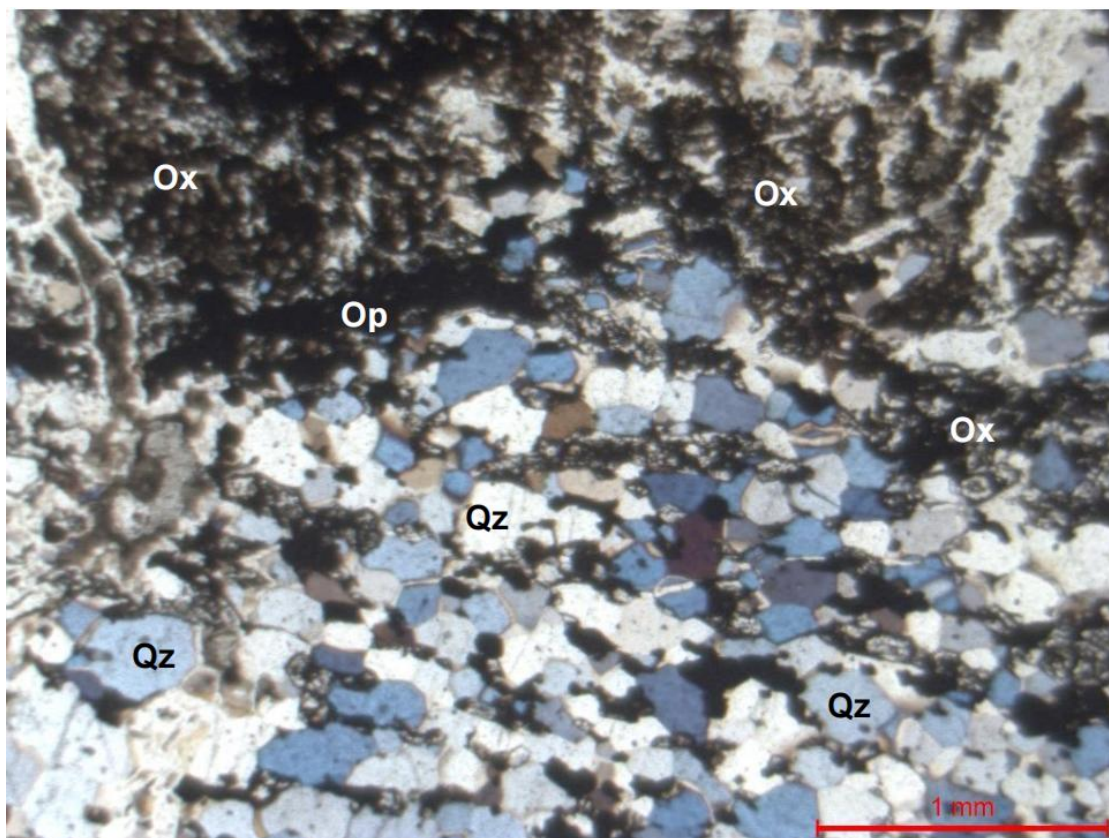
Rocha: *Metachert* magnetítico (BIF fácies óxido)

Textura: Granoblástica poligonal

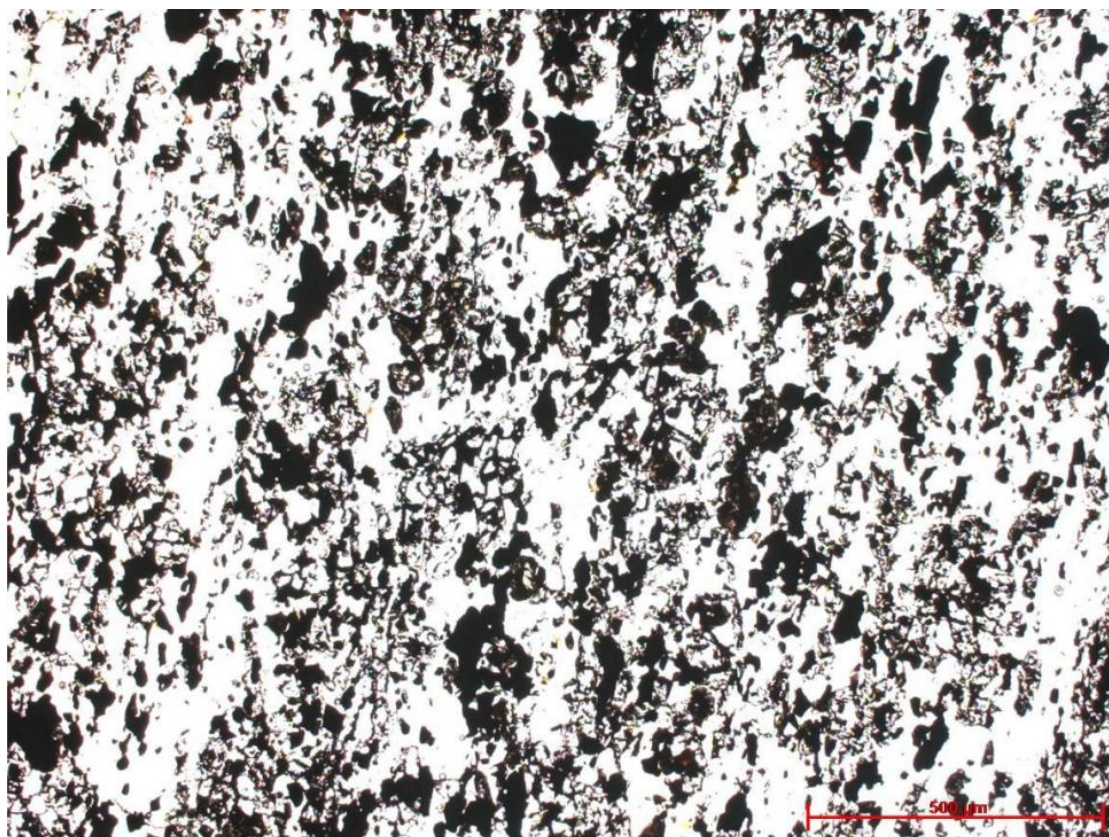
Estrutura: Bandas ora ricas em quartzo ora ricas em minerais opacos

Microscopia:

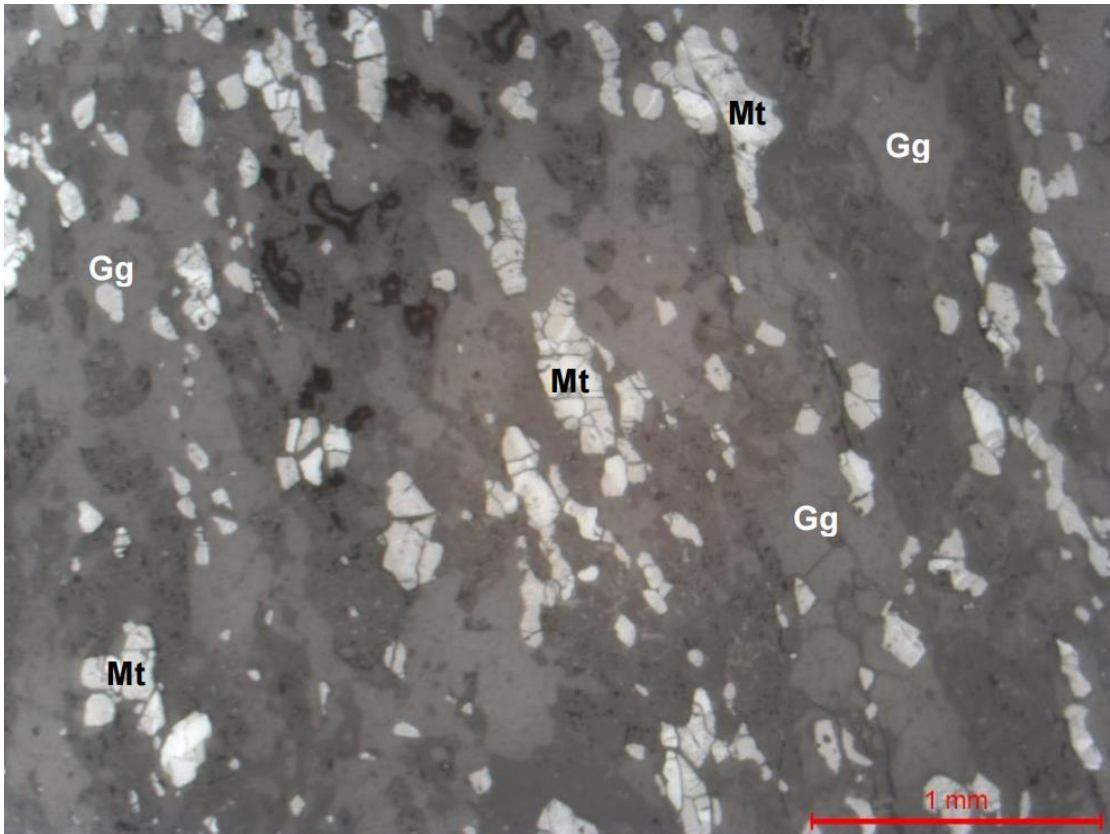
Quartzo:	60%
Óxidos e hidróxidos de ferro:	20%
Minerais opacos:	20%



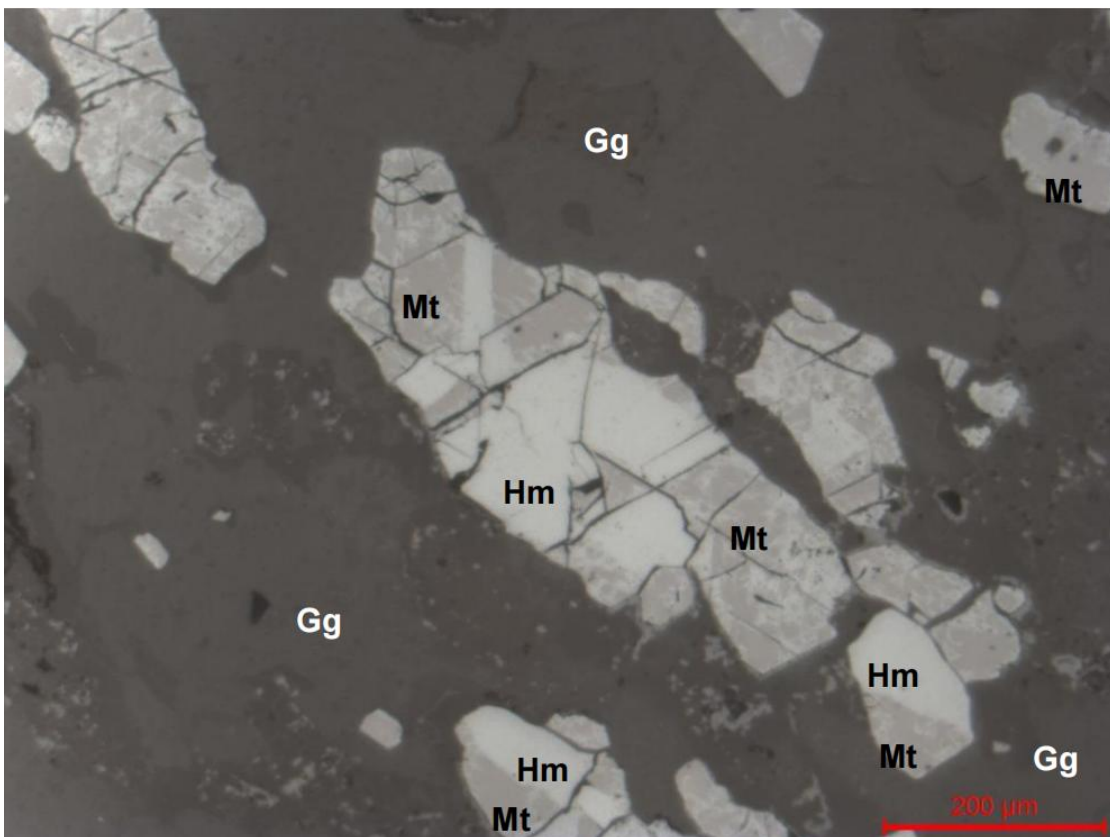
Fotomicrografia 2A: Metachert com predominância de quartzo granoblástico e alongado na foliação metamórfica (Qz) e hidróxidos de ferro (Ox) e minerais opacos (Op). A concentração dos minerais opacos confere à rocha estrutura bandada a laminada. (fotomicrografia com polarizadores cruzados).



Fotomicrografia 2B: Metachert magnético evidenciando e estrutura laminada e foliada da rocha (fotomicrografia com polarizadores cruzados).



Fotomicrografia 2C: Metachert com cristais de magnetita (Mt) deformados e orientados conforme a foliação da matriz da rocha (fotomicrografia com luz refletida).



Fotomicrografia 2D: Metachert com cristais de magnetita (Mt) deformados e orientados conforme a foliação da matriz da rocha (fotomicrografia com luz refletida).

3. Amostra 3 – Rocha calciossilicática magnética (BIF fácies silicática)



Figura 20: Rocha calciossilicática magnética do poço do Garimpo do Patinho.

Rocha: calciossilicática magnética (BIF fácies silicática)

Textura: Granoblástica poligonal

Estrutura: Bandas ora ricas em quartzo ora ricas em opacos

Microscopia:

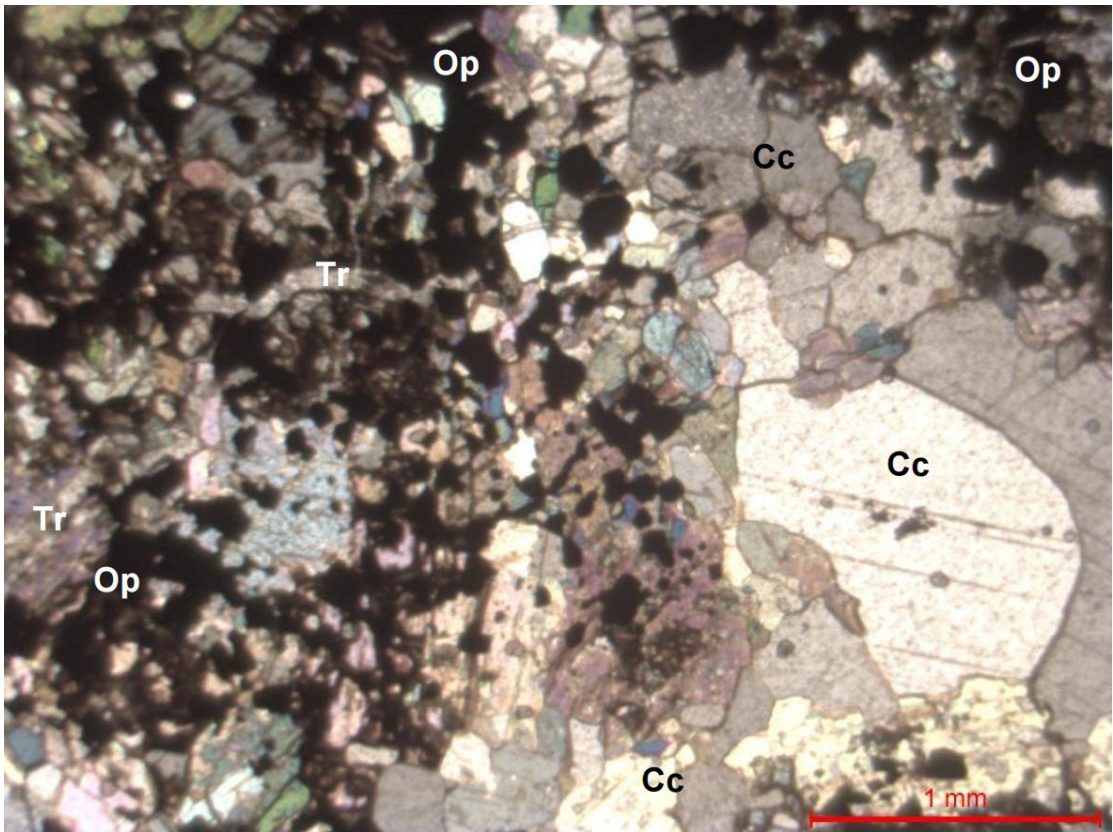
Tremolita: 60%

Calcita: 20%

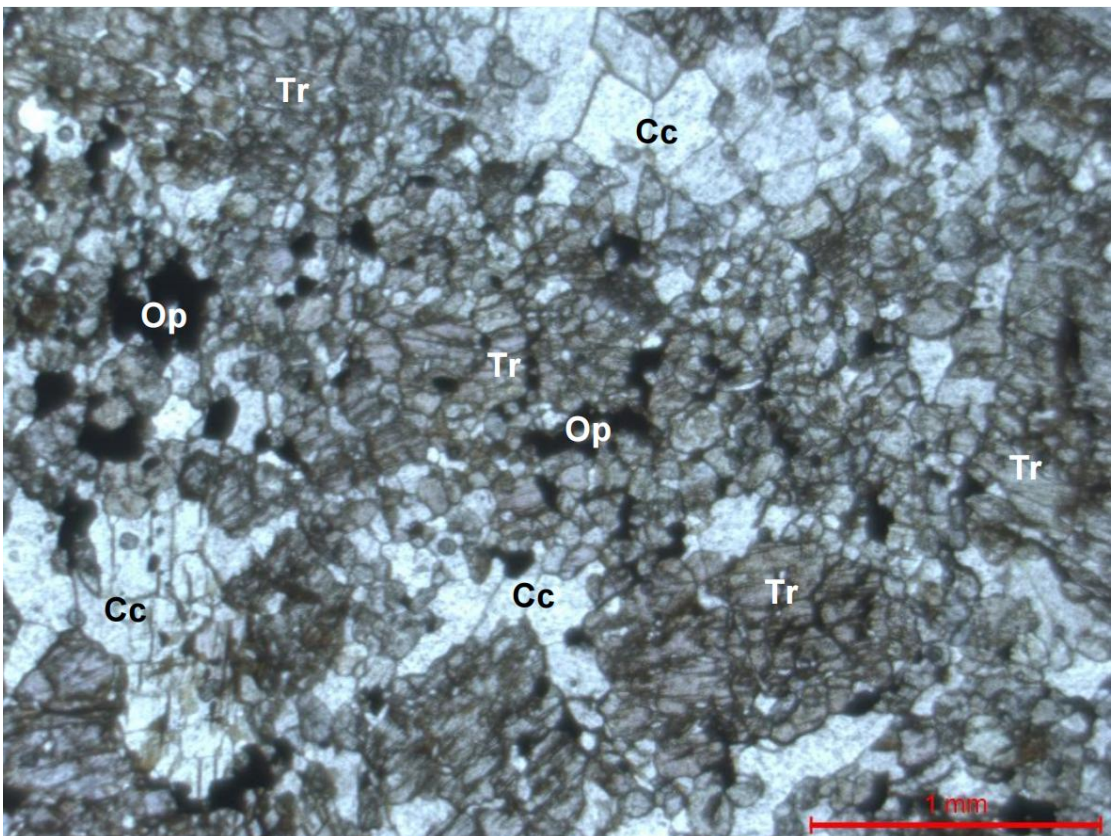
Minerais opacos: 20%

- Magnetita: 60%

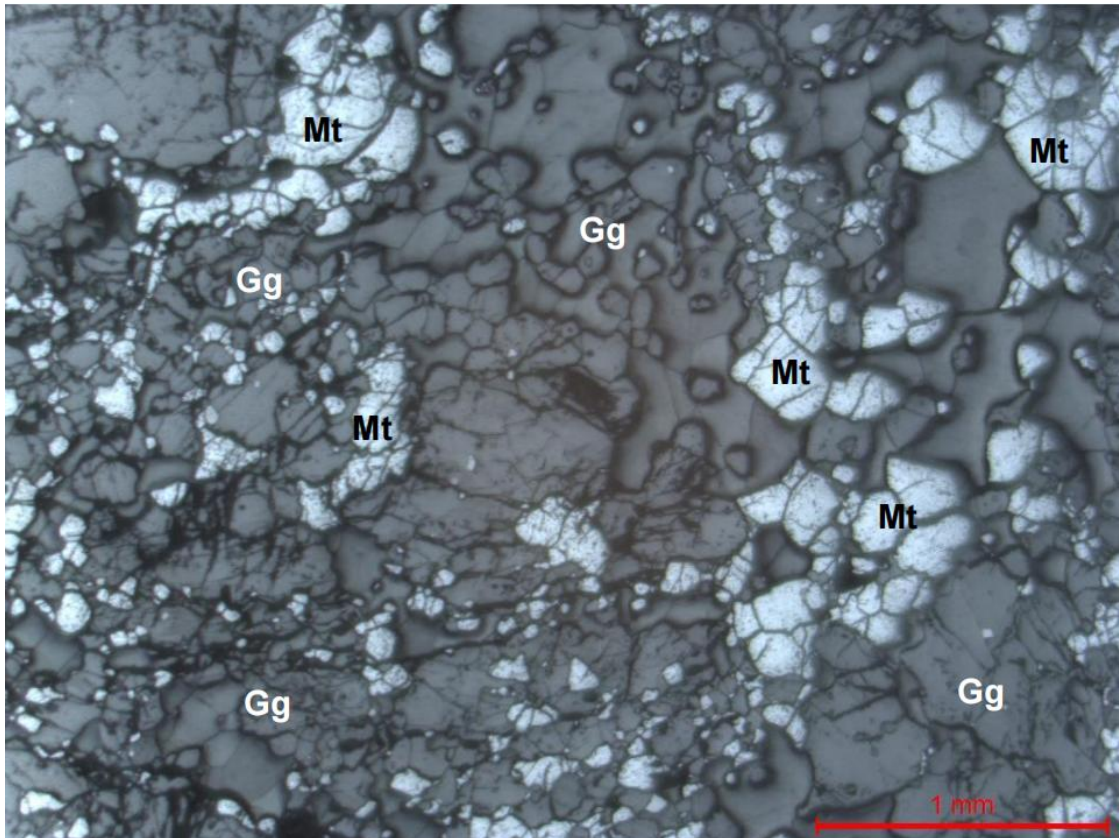
- Hematita: 40%



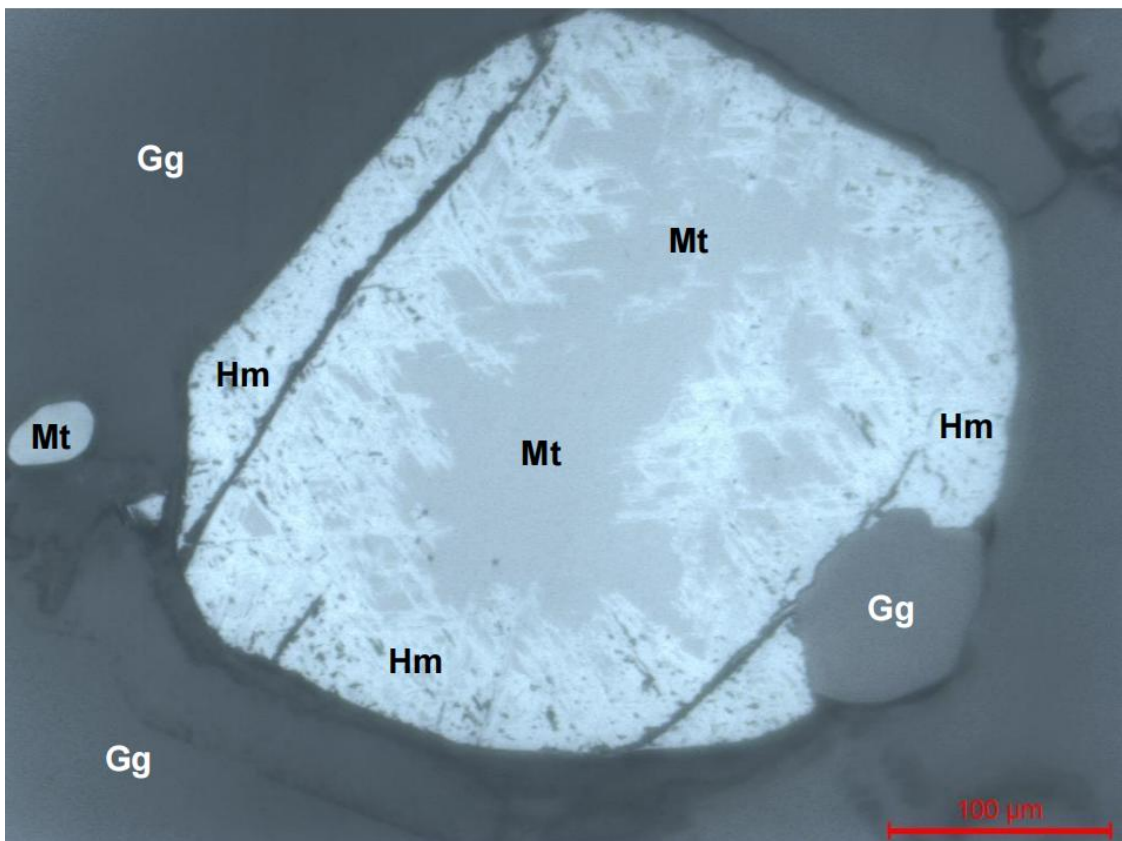
Fotomicrografia 3A: Rocha calciossilicática com textura granoblástica a porfiroblástica, rica em minerais carbonáticos (Cb) e com presença significativa de tremolita (Tr) e minerais opacos (Op) (fotomicrografia com polarizadores cruzados).



Fotomicrografia 3B: Rocha calciossilicática com porção rica em tremolita (Tr) (fotomicrografia com polarizadores descruzados).



Fotomicrografia 3C: Rocha calciossilicática com magnetita (Mt), por vezes fraturados, disseminadas na matriz quartzo-carbonática da ganga (fotomicrografia com luz refletida).



Fotomicrografia 3D: Detalhe de magnetita (Mt), em tons de cinza mais escuros, na região mais central do cristal, parcialmente substituída por hematita (Hm), em tons de cinza mais claros, nas porções mais periféricas, resultante de intensa martitização (transformação de Mt em Hm) hidrotermal ou intempérica (fotomicrografia com luz refletida).

4. Amostra 4A - Quartzo de veio sulfetado



Figura 21: Quartzo sulfetado do poço do Garimpo do Patinho.

Rocha: Quartzo de veio com sulfetos

Textura: Granoblástica poligonal

Estrutura: Quartzo de veio com agregados de sulfetos com porções oxidadas

Microscopia:

Quartzo: 65%

Minerais opacos: 35%

- Pirita:

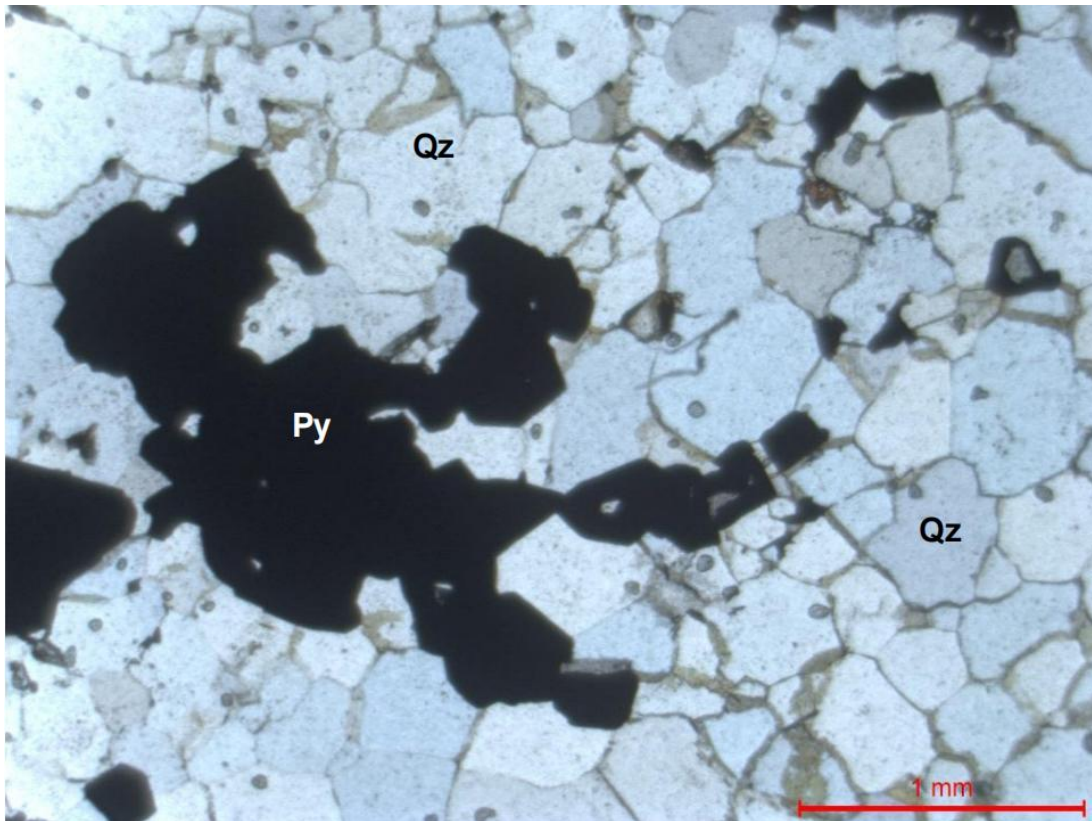
54%

- Óxidos e hidróxidos de ferro:

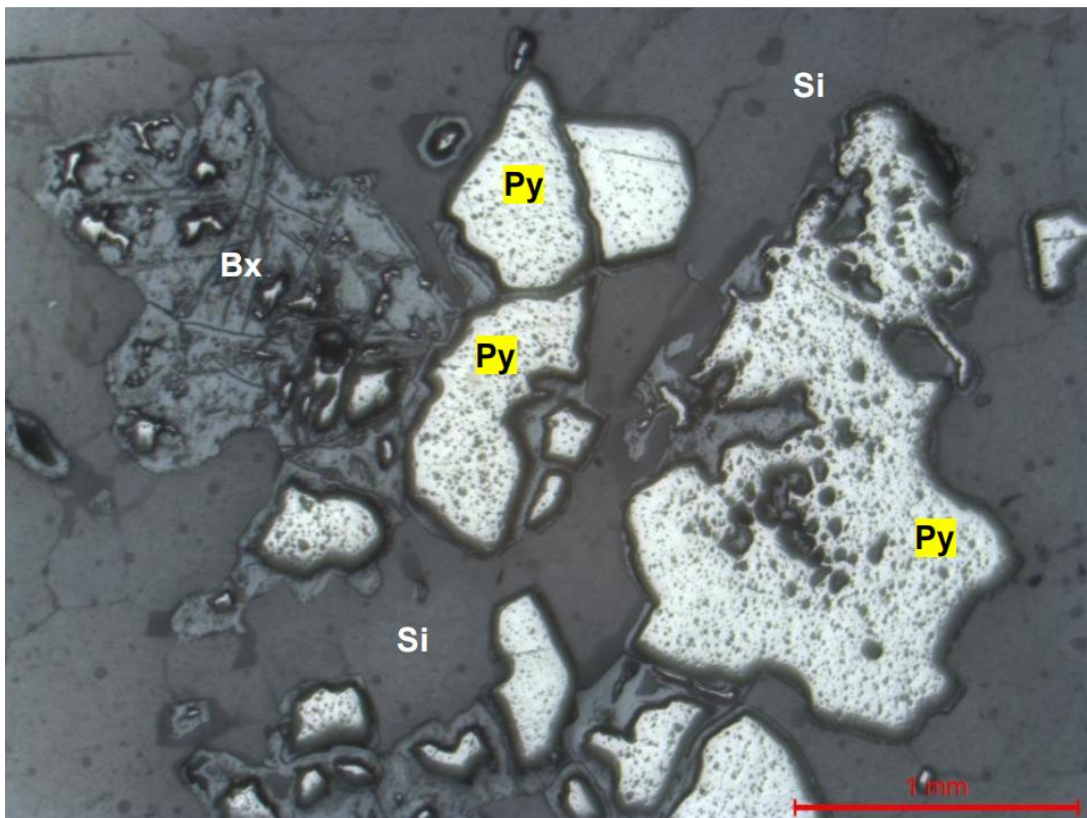
44%

- Calcopirita:

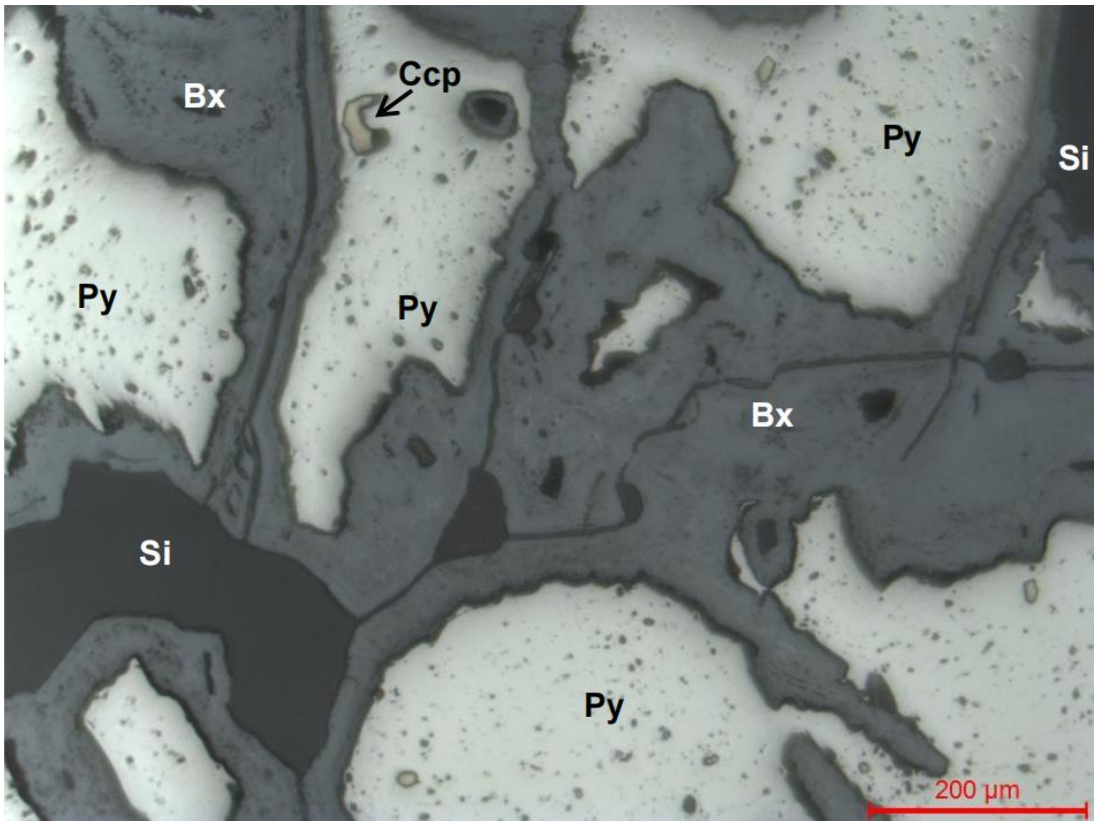
2%



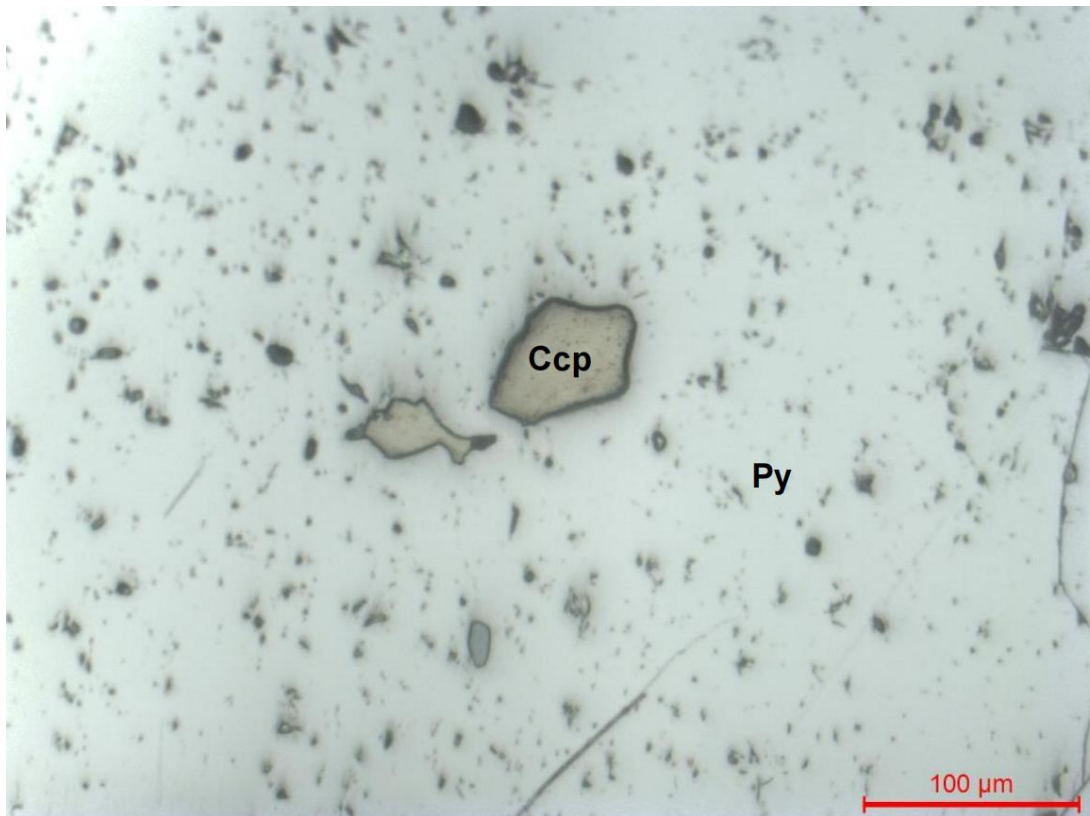
Fotomicrografia 4A1: Quartzo de veio recristalizado com quartzo (Qz) com textura granoblástica poligonal englobando pirita (Py) ou seus produtos oxidados (fotomicrografia com polarizadores descruzados).



Fotomicrografia 4A2: Detalhe de cristais de piritas (Py) fraturadas, em parte oxidadas formando texturas boxwork (Bx), em contato com ganga silicática (Si) (fotomicrografia em luz refletida).



Fotomicrografia 4A3: Detalhe de cristais de pirita (Py) com inclusões de calcopirita (Ccp) e bordas oxidadas em textura tipo boxwork (Bx) em meio à ganga silicática (Si) (fotomicrografia com luz refletida).



Fotomicrografia 4A4: Inclusões de calcopirita (Ccp) na pirita (Py) e finos grãos da matriz silicática (fotomicrografia com luz refletida).

5. Amostra 4B - Quartzo de veio sulfetado

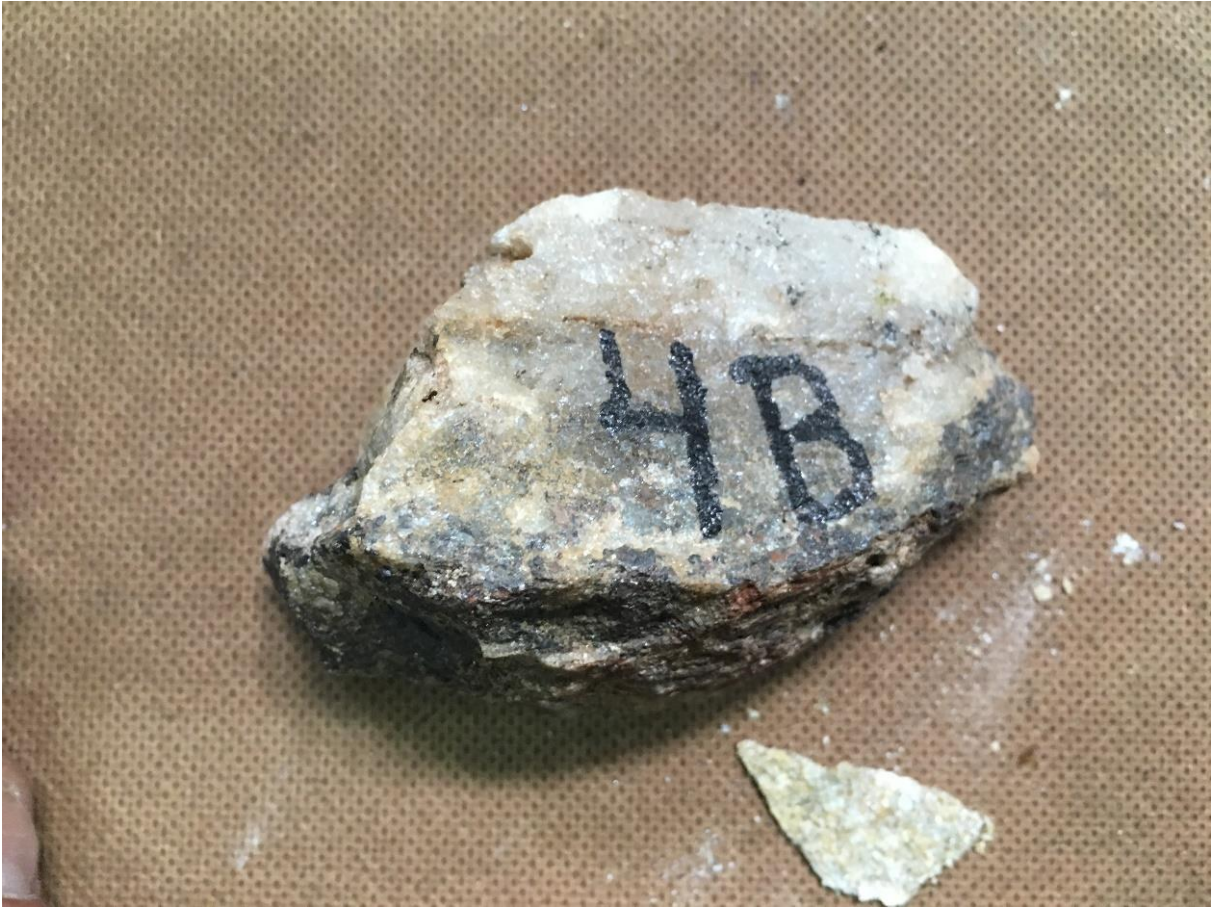


Figura 22: Quartzo de veio com sulfetos do poço do Garimpo do Patinho.

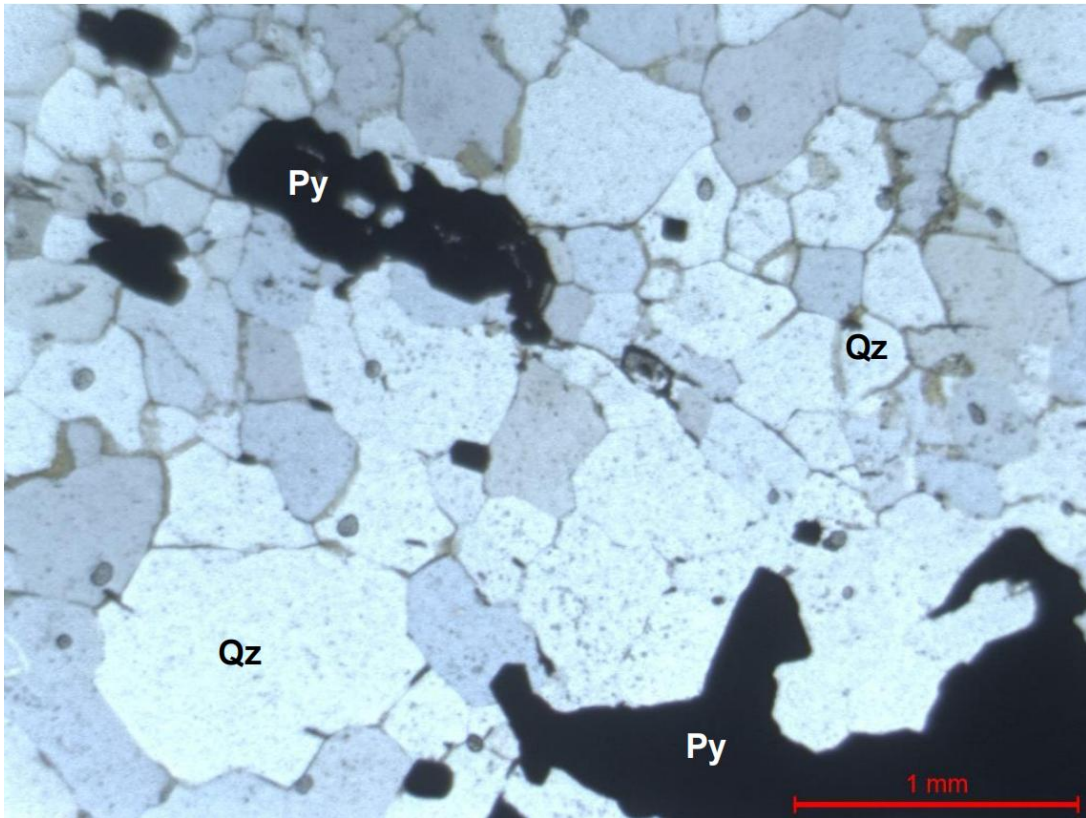
Rocha: Quartzo de veio com sulfetos

Textura: Granoblástica poligonal

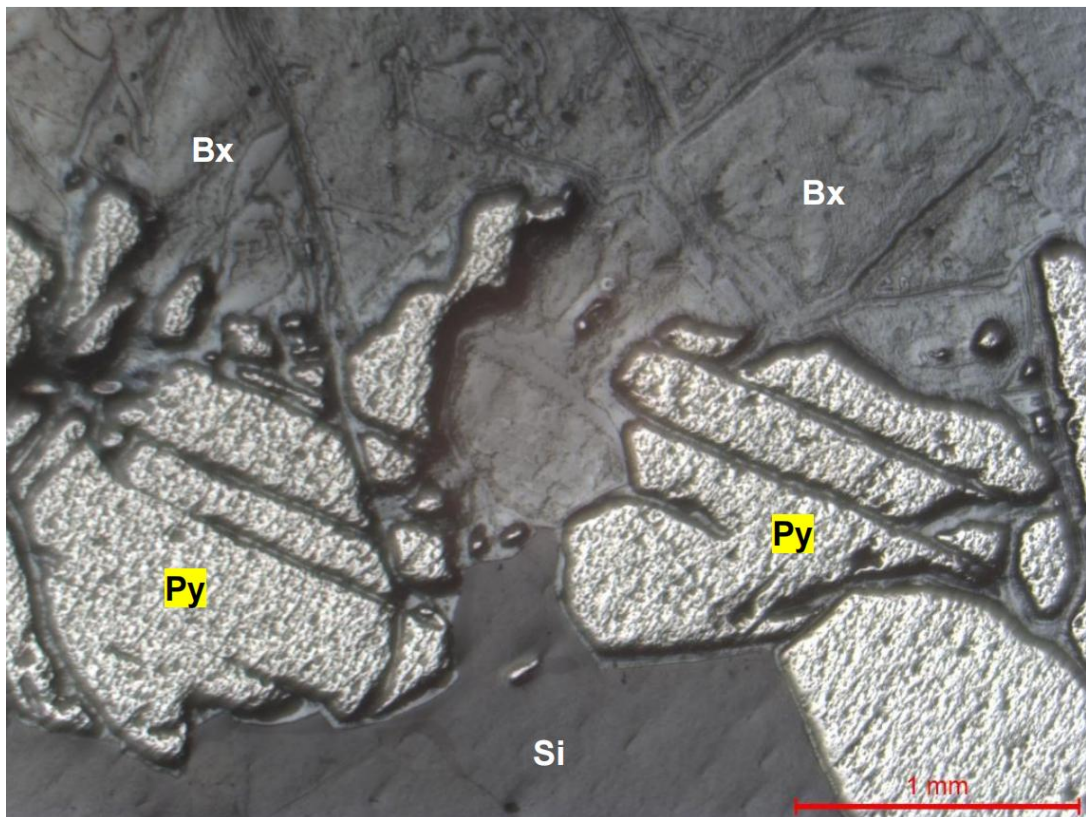
Estrutura: Quartzo de veio com sulfetos com porções oxidadas

Microscopia:

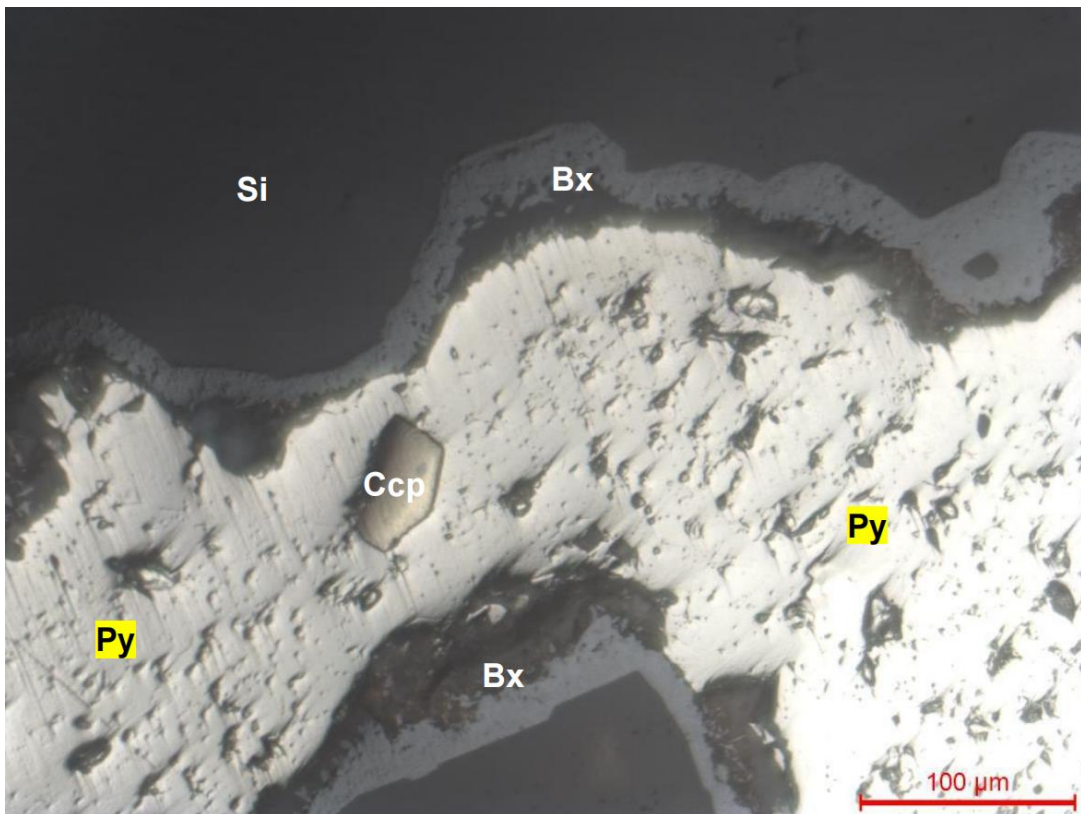
Quartzo:	85%	- Óxidos e hidróxidos de ferro:	65%
Minerais opacos:	15%	- Pirita:	33%
		- Calcopirita:	1%



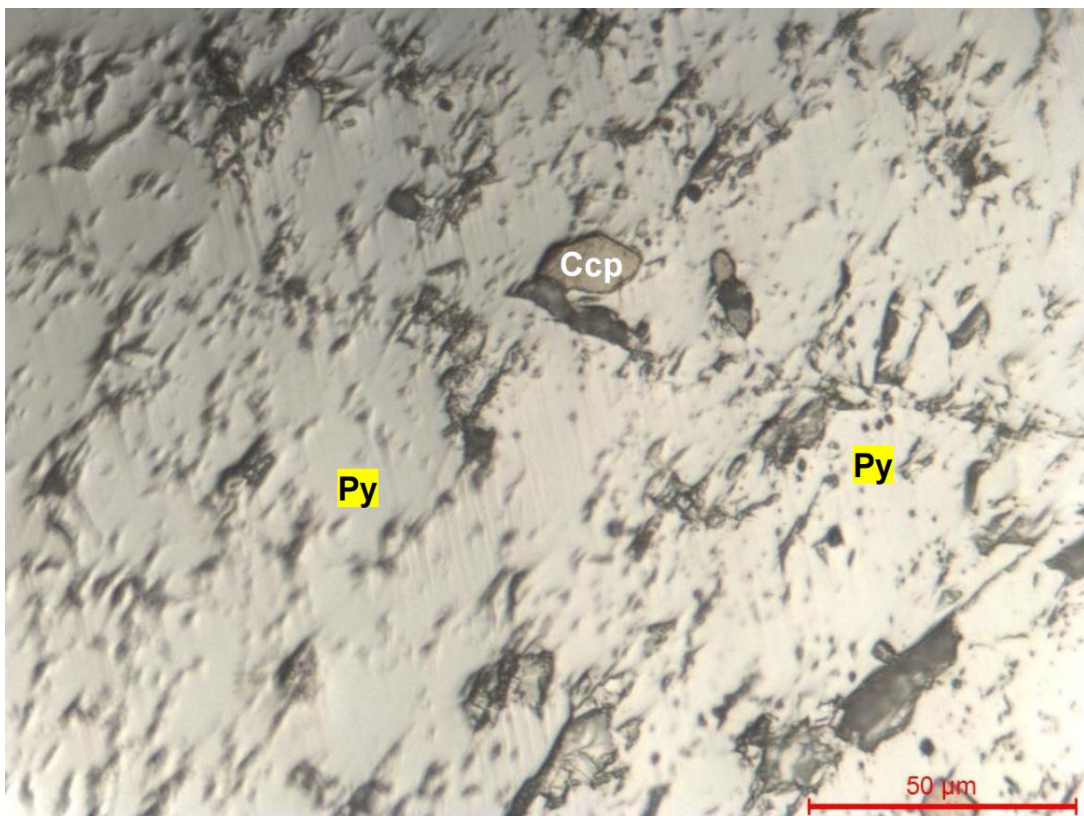
Fotomicrografia 4B1: Quartzo de veio recristalizado com quartzo (Qz) em textura granoblástica poligonal, englobando pirita (Py) ou seus produtos oxidados (fotomicrografia com polarizadores descruzados).



Fotomicrografia 4B2: Detalhe de cristais de pirita (Py) subédricos fraturados, em parte oxidados formando texturas tipo boxwork (Bx), em contato com ganga silicática (fotomicrografia em luz refletida).



Fotomicrografia 4B3: Pirita (Py) subédricas fraturadas, em parte oxidadas formando texturas tipo boxwork (Bx), em contato com ganga silicática em quartzo de veio (fotomicrografia em luz refletida).



Fotomicrografia 4B4: Detalhe de cristal de pirita (Py) com inclusão de calcopirita (Ccp) em quartzo de veio recristalizado (fotomicrografia em luz refletida).

6. Amostra 4C – Quartzo de veio com sulfetos



Figura 23: Quartzo de veio com sulfetos, principalmente pirita parcialmente limonitizada, do poço do Garimpo do Patinho.

Rocha: Quartzo de veio com sulfetos

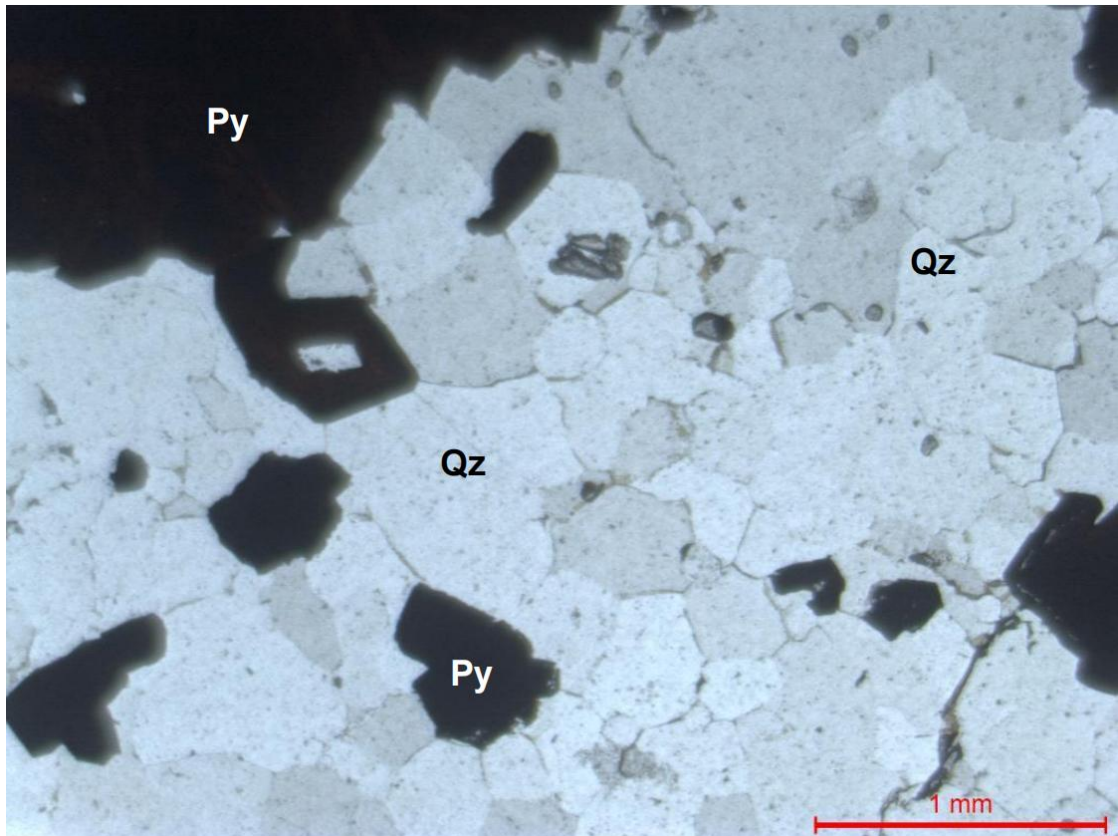
Textura: Granoblástica poligonal

Estrutura: Sulfetos disseminados com porções oxidadas

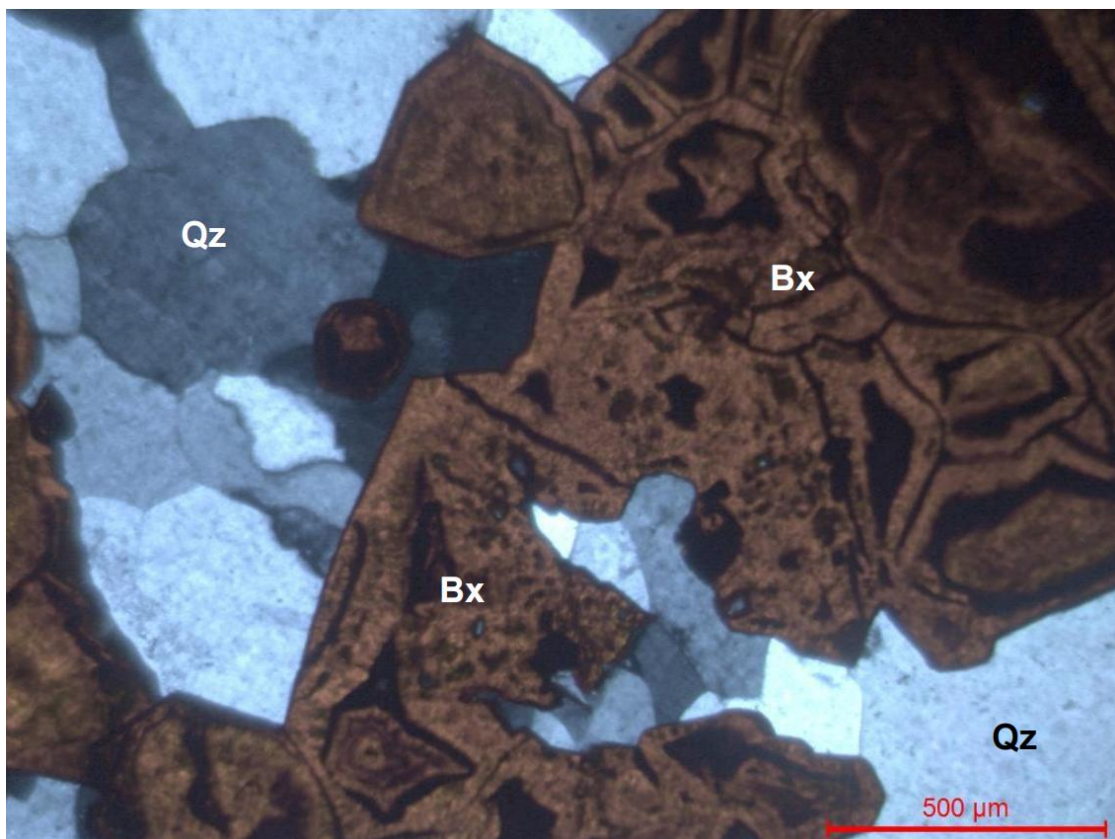
Microscopia:

Quartzo:	75%		
Minerais opacos:	25%	- Óxidos e hidróxidos de ferro:	50%
		- Pirita:	49%
		- Calcopirita:	1%
		- Ouro:	traço

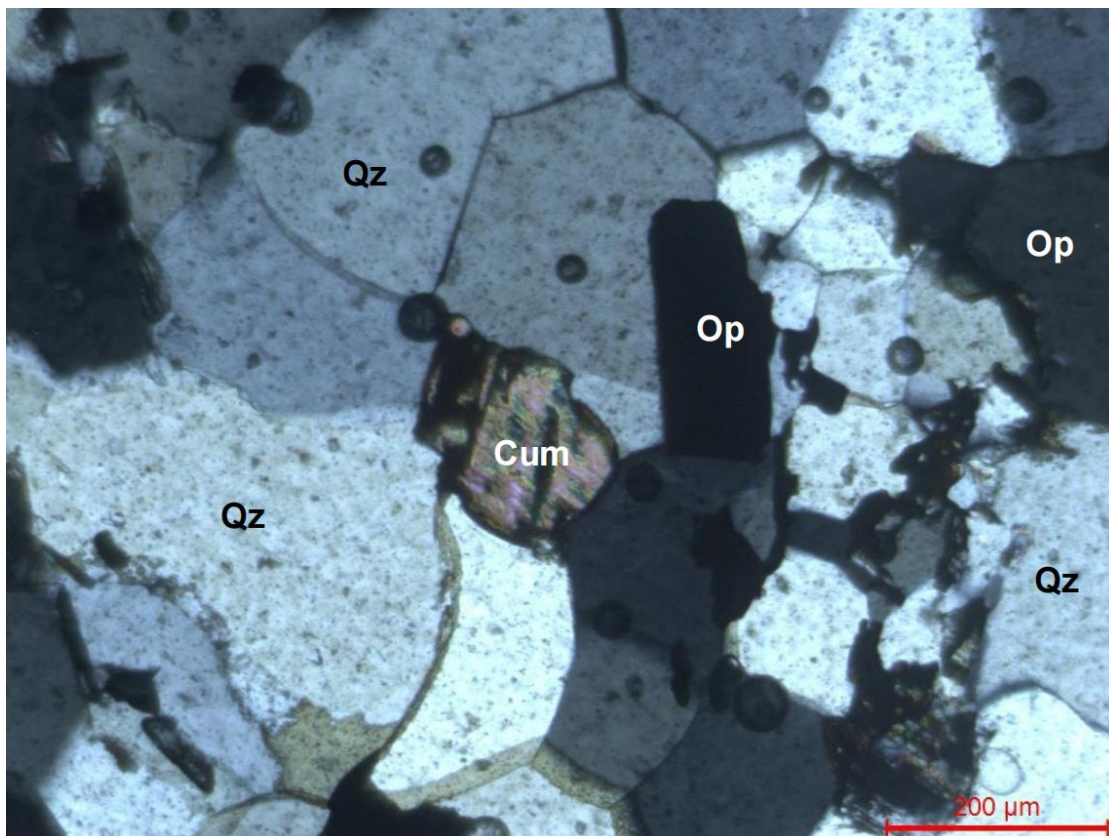
Obs: Alguns grãos de ouro observados!



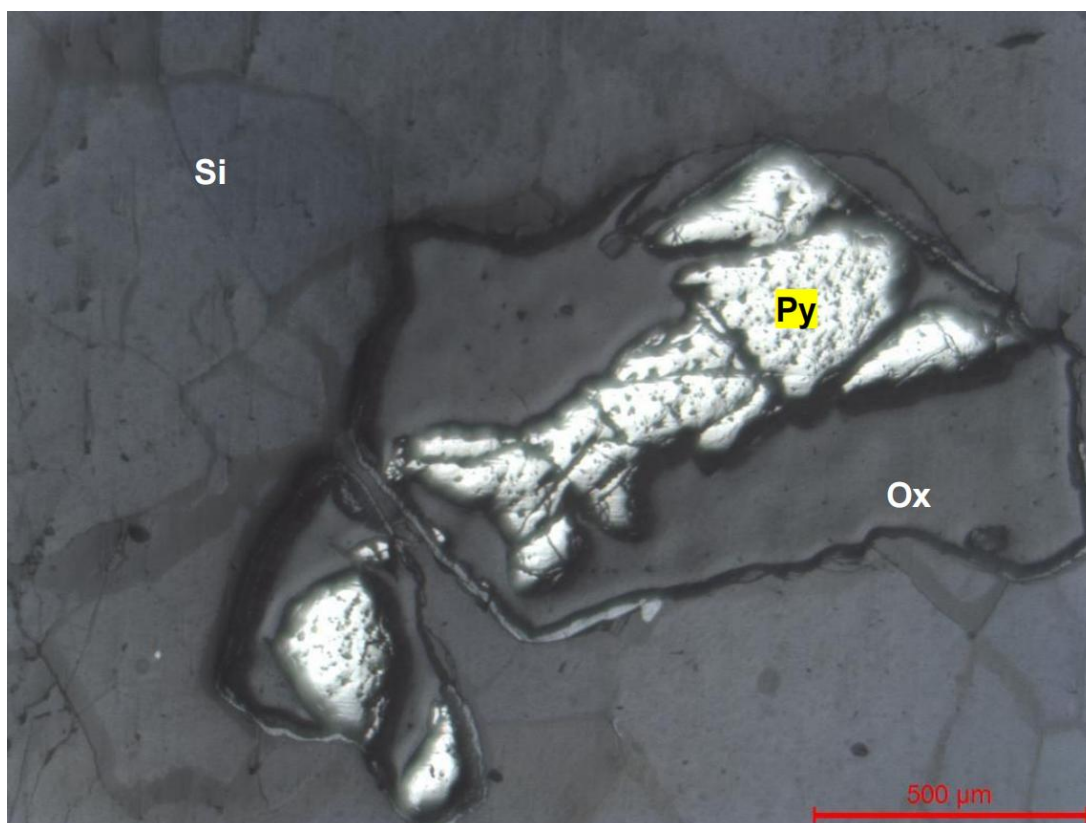
Fotomicrografia 4C1: Quartzo de veio onde nota-se o quartzo (Qz) em textura granoblástica poligonal, envolvendo pirita (Py) (fotomicrografia com polarizadores paralelos).



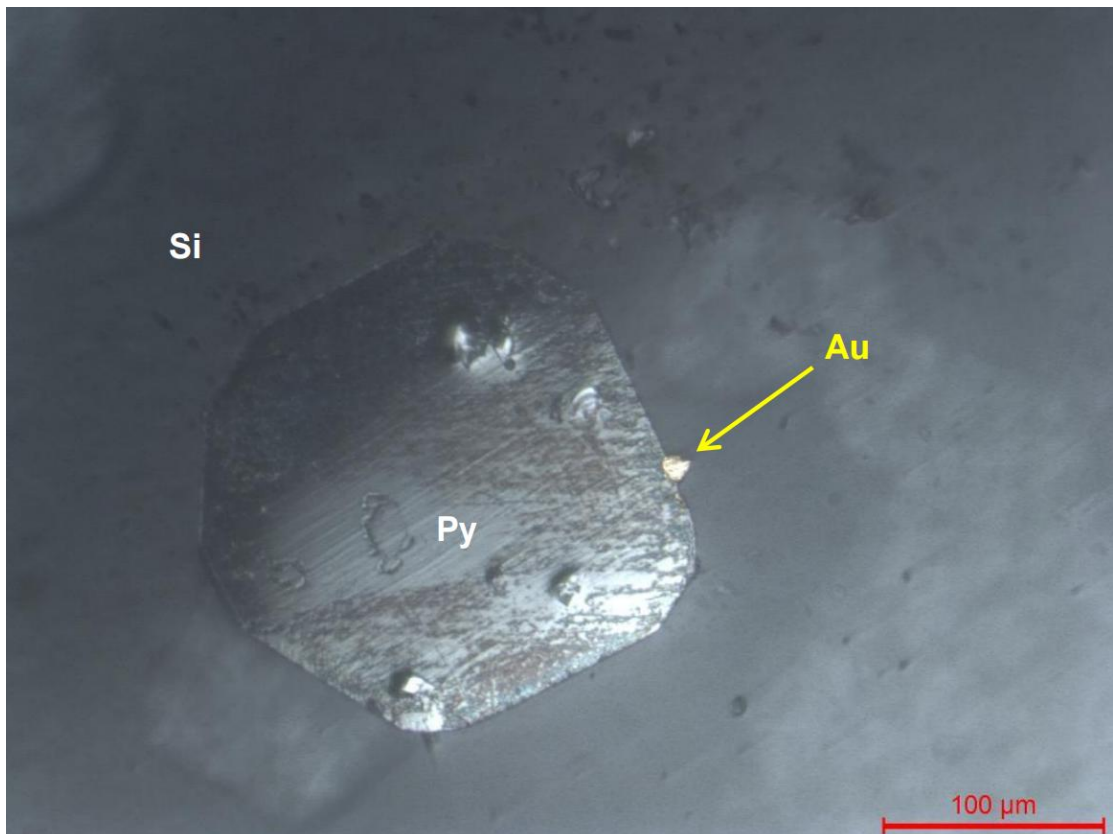
Fotomicrografia 4C2: Detalhe da pirita intemperizadas resultando em hidróxidos de ferro em texturas tipo boxwork (Bx) e quartzo (Qz) granoblástico (fotomicrografia com polarizadores cruzados).



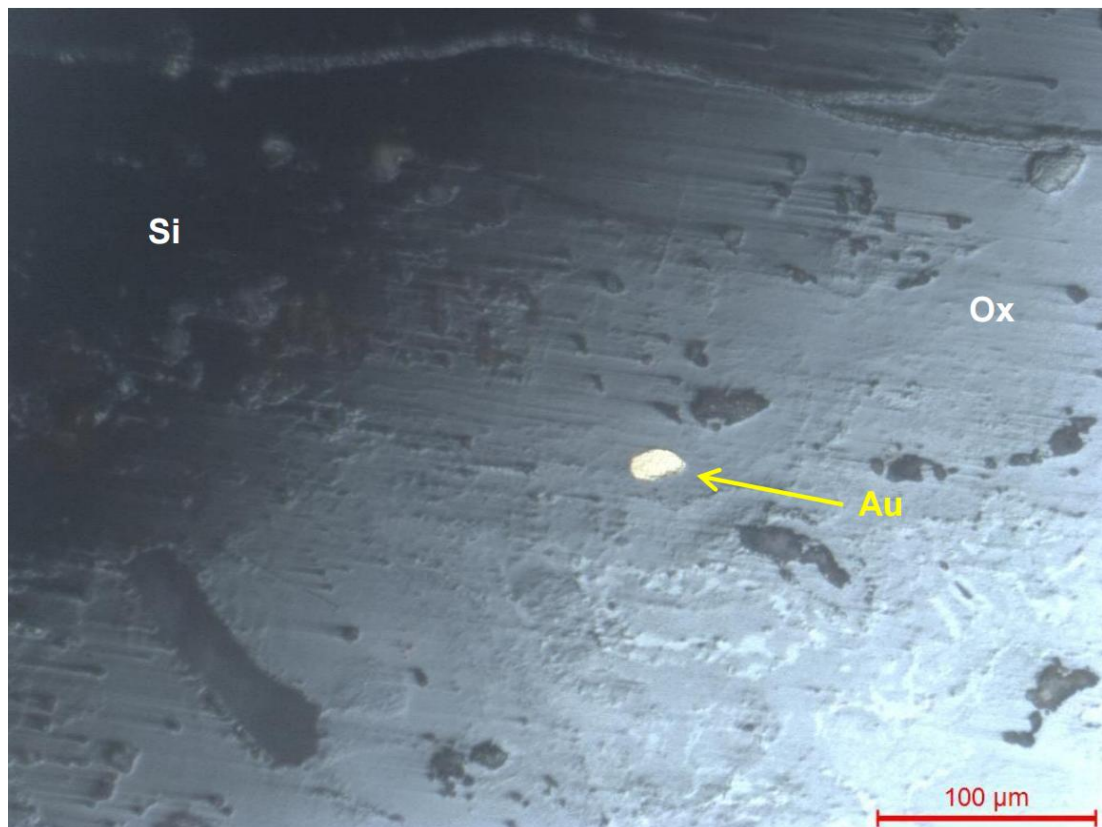
Fotomicrografia 4C3: Quartzo de veio recristalizado (Qz) em textura granoblástica, com cumingtonita (Cum) e minerais opacos (Op) (fotomicrografia com polarizadores cruzados).



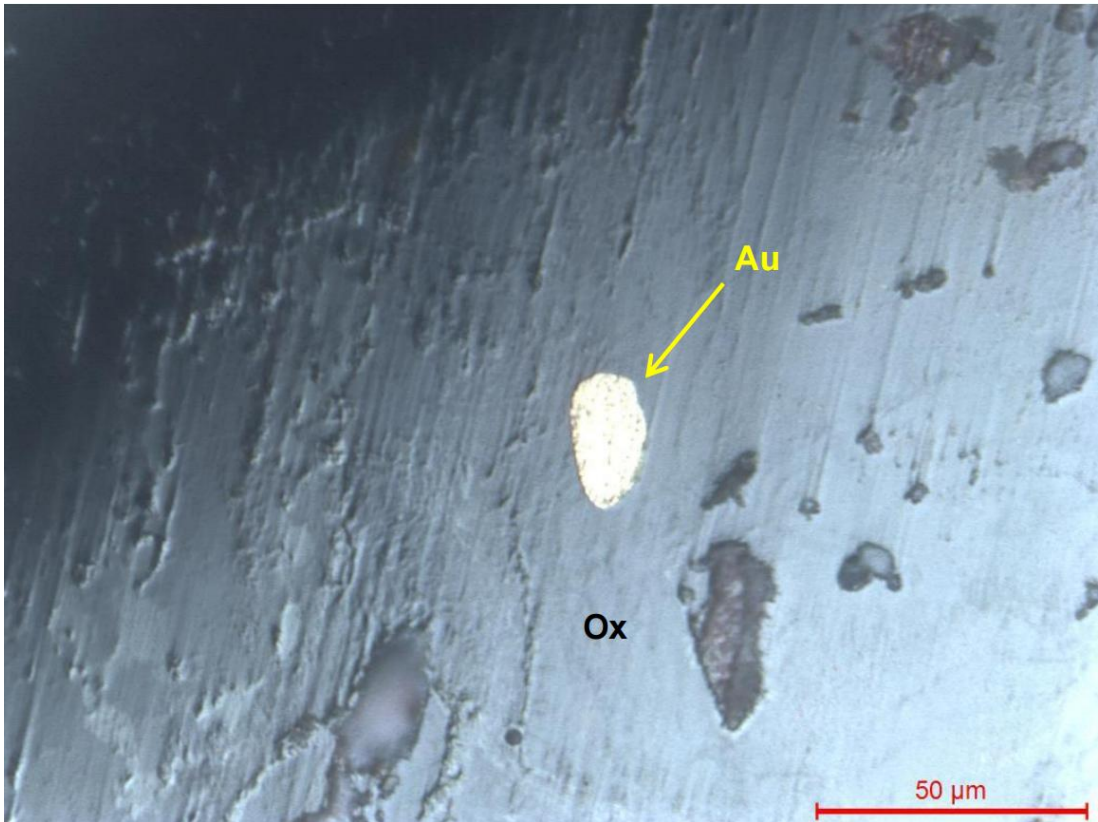
Fotomicrografia 4C4: Detalhe de cristais de pirita (Py) com fraturas parcialmente substituída por hidróxidos de ferro (Ox) e em meio a grão de quartzo (Qz) (fotomicrografia com luz refletida).



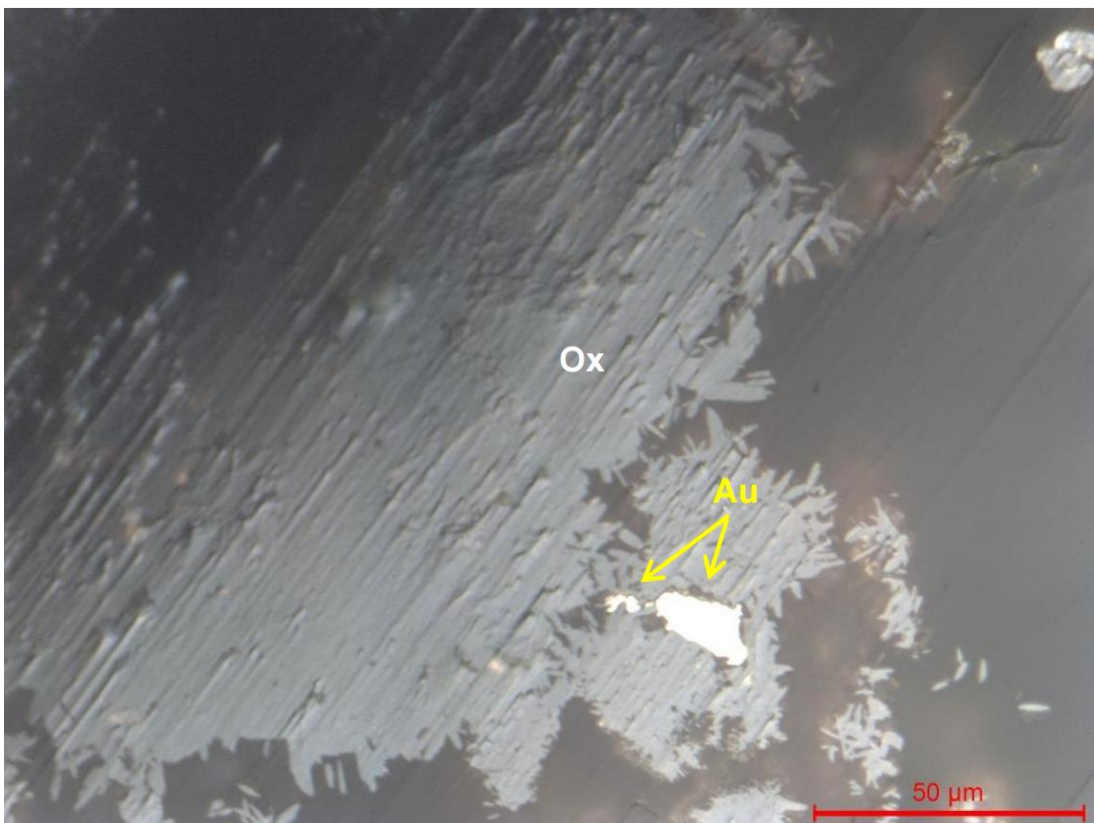
Fotomicrografia 4C5: Grão de ouro (Au) com cerca de 10 µm na borda de pirita incluído em quartzo de veio indicando a presença de ouro livre na mineralização além do ouro liberado pelo intemperismo dos sulfetos (fotomicrografia com luz refletida).



Fotomicrografia 4C6: Grão de ouro (Au) com cerca de 25 µm incluído hidróxidos de ferro (Ox) derivados do intemperismo de sulfetos em quartzo de veio caracterizando a presença de ouro nas fases sulfetadas da mineralização do Patinho (fotomicrografia em luz refletida).



Fotomicrografia 4C7: Grão de ouro (Au) com cerca de 30 μm incluso em hidróxidos de ferro (Ox) originados pelo intemperismo de sulfetos (fotomicrografia com luz refletida).



Fotomicrografia 4C8: Grão de ouro (Au) com cerca de 30 μm incluso em hidróxidos de ferro (Ox) originados pelo intemperismo de sulfetos (fotomicrografia com luz refletida).