



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



ISAAC MOREIRA DRUMOND

**MINERALOGIA DOS DEPÓSITOS DE AU ASSOCIADOS A W E PB DO
CÓRREGO SUMIDOURO E ENTORNO DE PADRE VIEGAS, MARIANA,
MG.**

MONOGRAFIA nº 531

OURO PRETO

2025

Isaac Moreira Drumond

MINERALOGIA DE DEPÓSITOS DE AU ASSOCIADOS A W E PB
DO CÓRREGO SUMIDOURO E ENTORNO DE PADRE VIEGAS,
MARIANA, MG

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso
apresentado ao Departamento de Geologia da
Escola de Minas da Universidade Federal de
Ouro Preto como requisito parcial para avaliação
da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso –
TCC402, ano 2024/2;

Orientador Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz
Cipriano

OURO PRETO

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

D795m Drumond, Isaac Moreira.

Mineralogia de depósitos de Au associado a W e Pb do Córrego do Sumidouro e entorno de Padre Viegas Mariana MG. [manuscrito] / Isaac Moreira Drumond. - 2024.

57 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Minerais. 2. Mineralogia. 3. Tungstênio - Minas e mineração. 4. Ouro. 5. Chumbo. I. Cipriano, Ricardo Augusto Scholz. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 553.411

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Isaac Moreira Drumond

Mineralogia dos depósitos de Au associados a W e Pb do córrego Sumidouro e entorno de Padre Viegas, Mariana, MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo.

Aprovada em 09 de Dezembro de 2024

Membros da banca

Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Maximiliano de Souza Martins - Universidade Federal de ouro Preto
Eng. Geol. Alex Arlindo de Souza - Maismina Engenharia Mineral

Ricardo Augusto Scholz Cipriano, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 24/03/2025



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Augusto Scholz Cipriano, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/03/2025, às 17:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0881336** e o código CRC **F1F9A232**.

Agradecimentos

Meus maiores agradecimentos à minha família, por todo o apoio durante essa longa trajetória, por estarem sempre presentes e me ajudarem nos momentos mais difíceis. Sem vocês, nada disso seria possível!

Aos amigos que pude conhecer no caminho, que fizeram cada etapa dessa jornada mais leve e significativa. Obrigado pela companhia, pelas trocas de conhecimento e pela força nos momentos de dificuldade.

Ao meu orientador, Professor Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano, por toda a ajuda, paciência e orientação durante a elaboração deste trabalho. Agradeço por ter compartilhado seu conhecimento e experiência, e por sempre me motivar a buscar mais e aprimorar meus estudos.

Aos professores do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, que foram fundamentais na minha formação acadêmica e me inspiraram ao longo dessa jornada.

Ao laboratório de Microscopia e Microanálises – Lmic, ao Laboratório de Laminação (LAMIN) e ao Centro de Microscopia da UFMG. Ao Prof. Dr. Daniel Atencio. Aos projetos FAPEMIG PPM-00588-18, PROPP/UFOP 22/2019 (23109.004080/2019-88) e PROPP/UFOP 13/2020 (23109.000928/2020-33), CNPq 310072/2021-2., FAPEMIG Universal APQ-00764-23.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, seja através de apoio, incentivo ou conhecimento. Cada um de vocês tem uma parte nesse resultado.

Muito obrigado!

RESUMO

Esta pesquisa aborda a caracterização mineralógica de depósitos auríferos associados a tungstênio (W) e chumbo (Pb) na região de Padre Viegas, distrito de Mariana, Minas Gerais, com o propósito de elucidar as associações minerais e suas implicações geológicas. O estudo centra-se na análise química de concentrados de minerais pesados e na investigação petrográfica de rochas hidrotermalizadas vinculadas à mineralização aurífera. Amostras foram coletadas e processadas para a produção de lâminas delgadas polidas, submetidas à caracterização petrográfica por microscopia óptica e análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS). Adicionalmente, foram incorporados ao estudo fragmentos rochosos e concentrados de bateia provenientes do Laboratório de Mineralogia do DEGEO e do Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP. A mineralogia associada à ocorrência de ouro inclui stolzita, raspita, piromorfita, galena e embreyita, além de mottramita, um mineral com relatos de ocorrência restritos no Brasil e inédito para o estado de Minas Gerais. A interpretação dos dados permitiu inferir um ambiente de zona oxidada de depósito hidrotermal mesotermal, preenchendo uma lacuna em estudos prévios sobre a gênese da ocorrência mineral.

Palavras-chave: depósitos minerais, tungstênio, ouro, chumbo

ABSTRACT

This research addresses the mineralogical characterization of gold deposits associated with tungsten (W) and lead (Pb) in the Padre Viegas region, Mariana district, Minas Gerais, with the purpose of elucidating the mineral associations and their geological implications. The study focuses on the chemical analysis of heavy mineral concentrates and the petrographic investigation of hydrothermalized rocks linked to gold mineralization. Samples were collected and processed to produce polished thin sections, subjected to petrographic characterization by optical microscopy and analysis by scanning electron microscopy (SEM-EDS). Additionally, rock fragments and pan concentrates from the DEGEO Mineralogy Laboratory and the Museum of Science and Technology of the School of Mines at UFOP were incorporated into the study. The mineralogy associated with the gold occurrence includes stolzite, raspite, pyromorphite, galena, and embreyite, in addition to mottramite, a mineral with restricted occurrence reports in Brazil and unprecedented for the state of Minas Gerais. The interpretation of the data allowed inferring an oxidized zone environment of a mesothermal hydrothermal deposit, filling a gap in previous studies on the genesis of the mineral occurrence.

Keywords: mineral deposits, tungsten, gold, lead

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo em relação ao município de Ouro Preto e ao Estado de Minas Gerais.....	13
Figura 2: Mapa de localização dos principais depósitos e distritos de tungstênio e seus tipos.	17
Figura 3: Mapa de localização de galerias da região.....	19
Figura 4: Localização do Quadrilátero Ferrífero na porção sudeste do cráton São Francisco .	20
Figura 5: Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero.	21
Figura 6: Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.	23
Figura 7: Mapa geológico simplificado da área de estudo, com a localização de algumas galerias desativadas e da galeria onde foram coletadas algumas das amostras descritas no trabalho. ..	24
Figura 8: Imagens da galeria onde foram coletadas amostras.	25
Figura 9: Lupa binocular utilizada para seleção dos minerais.....	26
Figura 10: Microscópio petrográfico Olympus BX-41 utilizado para descrição das lâminas delgadas polidas.....	27
Figura 11: Representação esquemática da interação do feixe de elétrons com uma gema.	28
Figura 12: Imagem da amostra LSC-34 antes da confecção de lâmina delgada polida.	29
Figura 13: Imagem em microscopia de luz refletida da lâmina LSC34 contendo quartzo (cinza claro) e ouro (amarelo vivo).	30
Figura 14: Imagem dos grãos de ouro no MEV.	30
Figura 15: Imagem dos grãos de ouro em MEV. A imagem B representa associação de ouro com quartzo.	31
Figura 16: Stolzita na superfície da amostra LSC35 anteriormente a confecção da lâmina delgada polida.....	33
Figura 17: A) Imagem de cristais de stolzita em microscópio de luz transmitida com nicóis paralelos (Fonte: autoria própria) B: Imagem dos cristais de stolzita em MEV com respectivos espectros	33

Figura 18: A) Imagem de cristal de stolzita em microscópio de luz transmitida com nicóis paralelos (Fonte: autoria própria) B: Imagem dos cristais de stolzita em MEV com respectivos espectros.	34
Figura 19: Imagem dos grãos de stolzita em MEV. A imagem representa associação de stolzita com óxido de chumbo.	35
Figura 20: Processo de alteração da galena para piromorfita. Ang: anglesita; Cer: Cerussita; Cv: covelita; Gn: galena; PyGM: piromorfita.	36
Figura 21: cristais de piromorfita/hidroxiapiromorfita apresentando hábito prismático subédrico A) nicóis descruzados; B) nicóis cruzados.	37
Figura 22: Imagem de cristais de piromorfita/hidroxiapiromorfita em MEV associados a hematita/goethita e quartzo (Laboratório de microanálises do DEGEO-UFOP).	37
Figura 23: A) imagem em microscopia de luz transmitida a nicóis descruzados; B) imagem em microscopia de luz refletida a nicóis descruzados; C) imagem em MEV.	39
Figura 24: Imagem dos grãos de piromorfita/hidroxiapiromorfita em MEV.	40
Figura 25: Imagens dos cristais de galena associados a quartzo e anglesita no MEV.	42
Figura 26: Imagens dos cristais de galena associados a quartzo e anglesita no MEV.	42
Figura 27: Imagem em MEV da amostra LSC34, com cristais de embreyita associados a óxido de ferro e piromorfita/hidroxiapiromorfita e os respectivos espectros representados no quadro 8.	44
Figura 28: Imagem dos agregados minerais da lâmina LSC36: A) microscopia de luz transmitida a nicóis descruzados; B) microscopia de luz transmitida a nicóis cruzados; C) microscopia de luz refletida a nicóis descruzados; D) MEV com os respectivos espectros em EDS.	46
Figura 29: Imagem do grão de mottramita em MEV.	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resultados químicos das análises nos grãos de ouro em MEV-EDS.....	31
Quadro 2: Resultados químicos das análises nos grãos de ouro em MEV-EDS.....	32
Quadro 3: Resultados das análises dos cristais de stolzita em MEV-EDS.....	34
Quadro 4: Resultados das análises no grão de stolzita em MEV-EDS.	35
Quadro 5: Resultados das análises dos cristais de piromorfita/hidroxipiromorfita em MEV-EDS.....	38
Quadro 6: Resultado da análise química do grão em MEV-EDS.....	41
Quadro 7: Resultado da análise química para galena em MEV-EDS.	43
Quadro 8: Resultado da análise química para embreyita em MEV-EDS.....	45
Quadro 9: Resultado da análise química em MEV-EDS.....	46
Quadro 10: Resultado da análise química em MEV-EDS.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1.	Apresentação	12
1.2	Localização	12
1.3	Objetivos	13
1.4	Justificativa	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Ouro	15
2.2	Tungstênio.....	16
2.3	Chumbo.....	17
2.4	Revisão de ocorrências na região.....	18
3	CONTEXTO GEOLÓGICO	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	Coleta de amostras	25
4.2	Catação de minerais	25
4.3	Descrição petrográfica	26
4.4	Análise em MEV-EDS	27
5	RESULTADOS	29
5.1	Mineralogia	29
5.1.1	Ouro – Au.....	29
5.1.2	Stolzita e Raspita - $PbWO_4$	32
5.1.3	Piromorfita ($Pb_5(PO_4)_3Cl$) e Hidroxipiromorfita ($Pb_5(PO_4)_3(OH)$)	35
5.1.4	Galena - PbS	41
5.1.5	Embreyita $Pb_5(CrO_4)_2(PO_4)_2(H_2O)$	43
5.1.6	– Gibbsita Al_2O_3	45
5.1.7	Mottramita $PbCu(VO_4)(OH)$	46
6	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

O Córrego Sumidouro localiza-se nas proximidades do distrito de Padre Viegas, município de Mariana. A região é historicamente conhecida por suas ocorrências de ouro, com atividades de garimpo que remontam ao final do século XVII e início do século XVIII. Os primeiros relatos de ocorrência de minerais de chumbo e tungstênio na região de estudo, em específico stolzita e raspita, datam do início do século passado. A ocorrência foi estudada a partir de amostras de concentrado de bateia, utilizadas para identificar a presença de minerais pesados nas áreas de mineração aurífera do Córrego Sumidouro (Hussak, 1903).

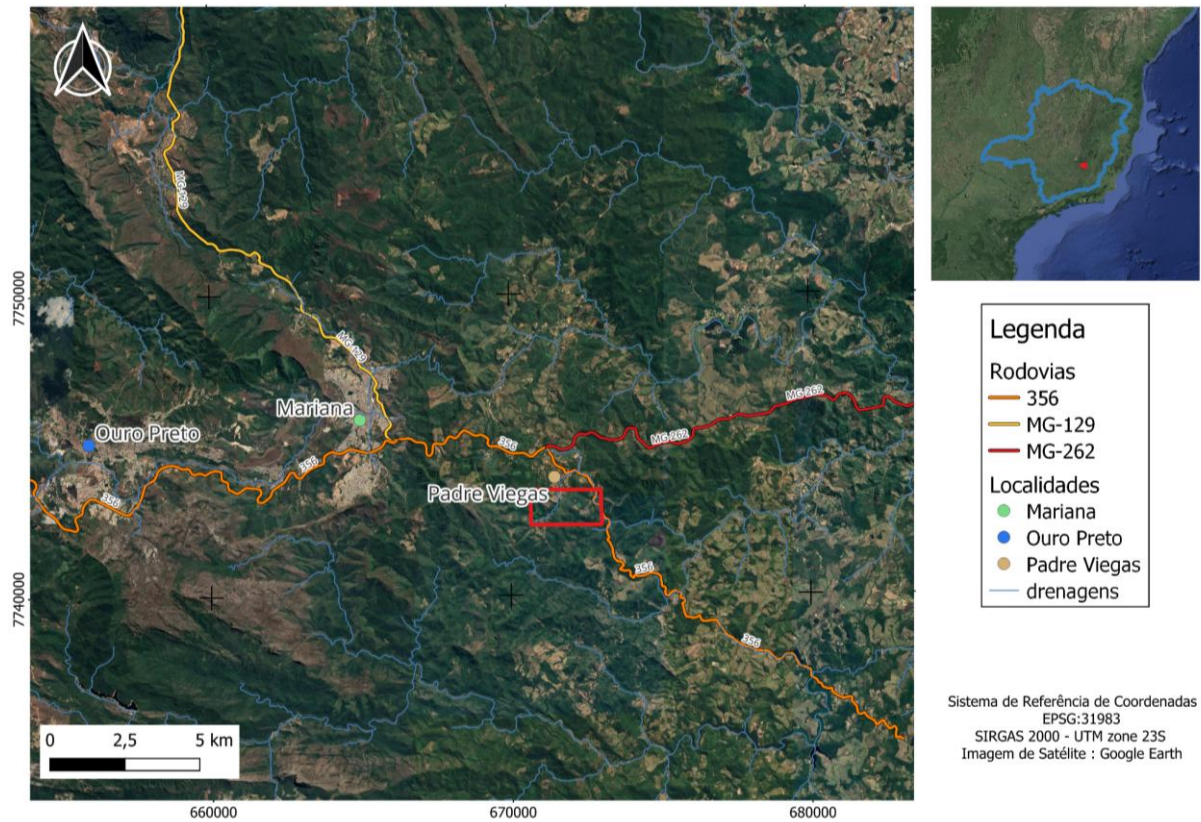
Este estudo tem como premissa auxiliar na determinação da paragênese de minerais de chumbo e tungstênio associados a mineralizações de ouro no Córrego Sumidouro. A associação desses minerais em depósitos auríferos desperta interesse no que tange ao entendimento do contexto da mineralização através da paragênese mineral, que de maneira contígua acrescenta informações para possíveis trabalhos posteriores. No entanto, há uma lacuna significativa de conhecimento em relação à associação mineralógica desses depósitos na região, tendo em vista a diminuta quantidade de artigos e trabalhos sobre o tema em específico.

Desta forma, no presente trabalho é proposto realizar uma investigação detalhada para compreender a mineralogia desses depósitos, a associação com as mineralizações de ouro e as implicações geológicas da paragênese através de análises petrográficas.

1.2 Localização

A área de estudo está localizada a aproximadamente 20 km a leste de Ouro Preto, nas proximidades de Padre Viegas, distrito de Mariana - MG. O acesso à região pode ser realizado a partir da rodovia BR-356 em direção ao município de Diogo de Vasconcelos, passando pelo município de Mariana (Figura 1). Após a chegada ao distrito de Padre Viegas, os acessos podem ser feitos através de estradas vicinais que fazem ligação entre as diversas localidades da região e trilhas que conduzem aos cursos d'água, dentre eles o Córrego Sumidouro.

Figura 1: Localização da área de estudo em relação ao município de Ouro Preto e ao Estado de Minas Gerais.



Fonte: O autor.

1.3 Objetivos

O objetivo central do presente trabalho consiste na caracterização química de amostras de concentrados de minerais pesados e análise petrográfica de rochas hidrotermalizadas associadas à mineralização de ouro em Padre Viegas para uma melhor compreensão sobre a assembleia mineralógica da região associada a gênese de depósitos de ouro, bem como suas implicações no contexto geológico local.

1.4 Justificativa

Existem ocorrências de ouro bem conhecidas no Quadrilátero Ferrífero, abrangendo depósitos de classe mundial, como por exemplo a mina Morro Velho (Lobato *et al.*, 2001), porém ainda existem poucas evidências sobre a associação entre minerais de chumbo, tungstênio e o ouro na área de estudo. Alguns trabalhos realizados no Córrego Sumidouro, nos quais foram identificados dimorfos de tungstato de chumbo, stolzita e raspita (Hussak, 1903; Hlawatsch,

1905) foram os precursores das pesquisas destes minerais na região, porém com um objetivo específico de descrição e análise cristalográfica dos cristais.

Deste modo, a realização do presente projeto tem como premissa auxiliar na determinação da paragênese mineral associada à mineralização de ouro do córrego Sumidouro, através da descrição de lâminas delgadas, análise de amostras de concentrado de bateia e utilização de microscopia eletrônica de varredura, além das etapas de levantamento bibliográfico.

Os resultados do projeto podem ser de importância para o entendimento do contexto da mineralização através da paragênese mineral, que de maneira contígua visa fornecer mais informações sobre a ocorrência de stolzita, mineral que se tem relatos de ocorrência no Brasil restrita à região de estudo (Baptista & Baptista, 1986).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica se desenvolveu através de artigos, relatórios e livros pertinentes ao tema do trabalho. Os artigos de Hussak (1903) e Hlawatsch (1905) relatam e caracterizam cristalograficamente a ocorrência de stolzita e raspita, dimorfos de tungstato de chumbo, na região do Córrego Sumidouro. De maneira a complementar sobre o tema e área de estudo, a Nota Preliminar Sobre as Jazidas de Minerais Tungstênicos, em Sumidouro, Mariana - Minas Gerais, da extinta Divisão de Fomento da Produção Mineral oferece informações de grande utilidade para o trabalho, como exemplo resultados de pesquisa exploratória e localização das principais minas de ouro da região.

Trabalhos a respeito de mineralizações em ambiente hidrotermalizado foram pesquisados com o intuito de correlacionar a mineralogia encontrada após as análises em laboratório com resultados encontrados em alguns depósitos em outras regiões do planeta.

Os artigos sobre a geologia do Quadrilátero Ferrífero se mostram essenciais para o entendimento e interpretação do ambiente geotectônico e estratigráfico e suas relações com a formação dos depósitos minerais, gerando assim o embasamento para a redação do capítulo de Geologia Regional.

2.1 Ouro

Representado na tabela periódica pelo símbolo Au, de número atômico 79 e massa atômica aproximada de 197, o ouro é um metal precioso, pertencente ao grupo 11 e ao período 6. Destaca-se pela sua densidade, aproximadamente $19,3 \text{ g/cm}^3$, sendo um dos metais mais pesados. O ouro é notável por sua maleabilidade, ductilidade e, sobretudo, pela sua resistência à corrosão e oxidação, o que lhe confere uma estabilidade química singular (Cotton & Wilkinson, 1988).

Este metal precioso é encontrado na natureza principalmente em seu estado nativo, puro ou em ligas naturais com outros metais como a prata. A baixa reatividade química do ouro permite que ele seja encontrado em pepitas ou partículas nos leitos dos rios ou incrustado em rochas. A raridade do ouro, juntamente com suas propriedades físicas e estéticas, contribui para o seu alto valor econômico e cultural (Marsden & House, 2006). Em relação a outras propriedades físicas o mineral apresenta baixa dureza, entre 2,5 e 3 na escala de Mohs, alta densidade ($15 - 19,3 \text{ g/cm}^3$) e tenacidade maleável.

As aplicações do ouro são variadas e abrangem desde a joalheria, devido ao seu apelo estético duradouro, até o uso em campos tecnológicos e industriais. Na eletrônica, por exemplo, o ouro é utilizado em conexões de alta precisão devido à sua excelente condutividade elétrica e resistência à corrosão.

O ouro é um elemento nativo, cristalizado no sistema isométrico, encontrado geralmente em formas irregulares ou placas, e raramente em formas cristalinas. É um mineral opaco de brilho metálico e cor amarelo a amarelo-pálido, a depender do grau de pureza da amostra. Está comumente relacionado a veios hidrotermais de quartzo, pirita, arsenopirita e outros sulfetos, além de ocorrer em depósitos aluvionares e de *placers* (Klein & Dutrow, 2012).

2.2 Tungstênio

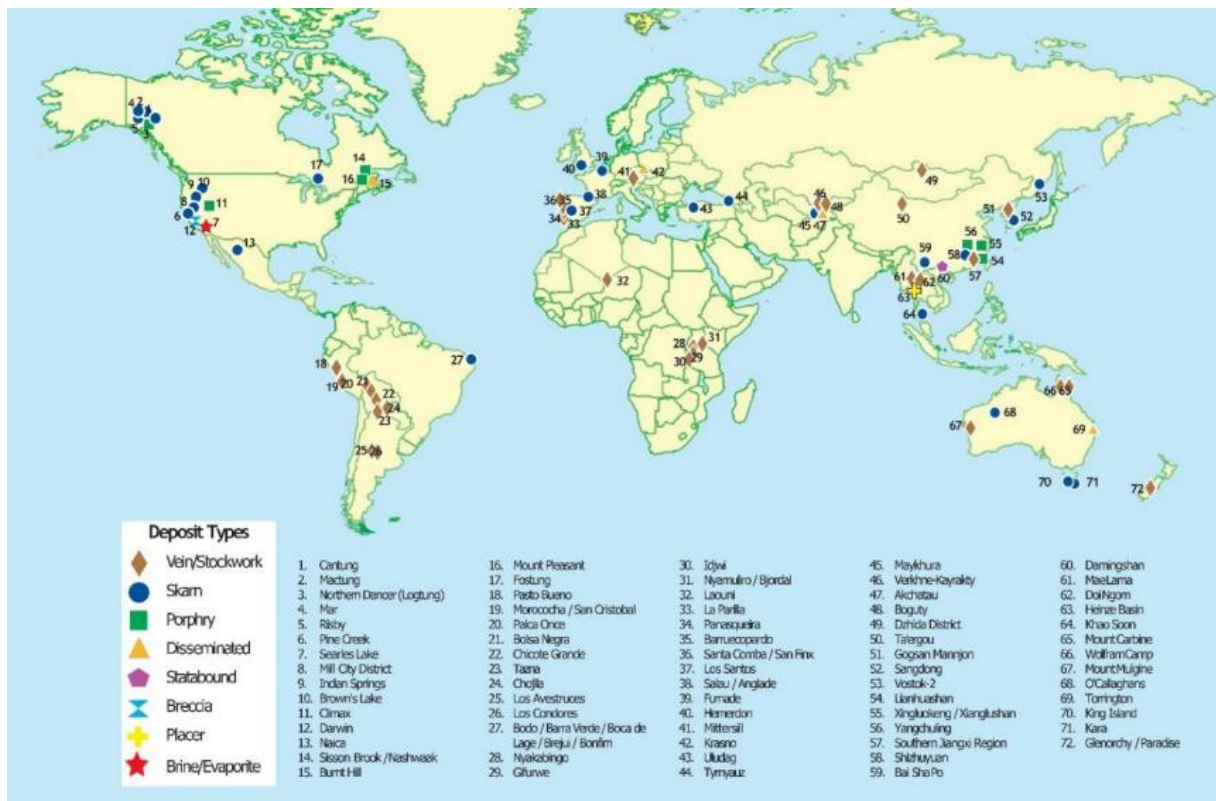
Representado na tabela periódica pelo símbolo W, com número atômico 74 e uma massa atômica de 183,84, o tungstênio é um elemento químico que pertence ao grupo 6 e ao sexto período, sendo um dos metais com o ponto de fusão mais alto, cerca de 3422 °C, e uma densidade de aproximadamente 19,25 g/cm³. Classificado como um metal de transição, o tungstênio é excepcionalmente resistente, tanto em termos físicos quanto químicos, destacando-se por sua dureza e resistência à corrosão, mesmo em temperaturas muito altas, o que o torna um material valioso para uma ampla gama de aplicações industriais.

O tungstênio é encontrado na natureza principalmente na forma de minerais como wolframita ((Fe, Mn) WO₄) e scheelita (CaWO₄). Sua extração e refinamento são complexos e requerem processos específicos para obter o metal puro ou seus compostos. A abundância do tungstênio na crosta terrestre é relativamente baixa, mas suas excepcionais propriedades o tornam um recurso altamente valioso para aplicações técnicas (Audi *et al.*, 2003).

Devido às suas características únicas, o tungstênio tem um papel crucial em várias aplicações industriais. É amplamente utilizado na produção de filamentos de lâmpadas incandescentes, em ligas de aço para melhorar sua resistência e dureza, e em ferramentas de corte e perfuração por sua robustez. Recentemente, o interesse no tungstênio também cresceu no campo da eletrônica, onde é utilizado como material para contatos elétricos e em filamentos para a fabricação de dispositivos semicondutores, dada sua estabilidade térmica e condutividade elétrica. Além disso, suas propriedades estão sendo exploradas em outras tecnologias, incluindo a indústria aeroespacial e em aplicações médicas, como em isótopos para radioterapia (Shackleford *et al.*, 2000).

As ocorrências de tungstênio no mundo estão associadas a uma variedade de depósitos, como por exemplo *skarn*, *stockwork*, pórfiro, *estrata-bounded*, pegmatito, brecha, evaporito, placer e disseminado. A mineralização de tungstênio ocorre principalmente em sistemas de veios de quartzo portadores de wolframita, associados a intrusões graníticas em profundidades de até 5 km. As principais reservas de tungstênio estão localizadas em diferentes regiões do mundo, como no Sudeste da China, cinturão do Sudeste Asiático, Cinturão Central dos Andes, cinturão da Europa Varisca, e cinturão Mesoproterozoico de Karagwe-Ankole (Figura 2), com a China liderando a produção global, seguida por países como Vietnã, Rússia, Mongólia, Bolívia, Áustria e Ruanda (Han *et al.*, 2021).

Figura 2: Mapa de localização dos principais depósitos e distritos de tungstênio e seus tipos.



Fonte: Han *et al.*, 2021.

2.3 Chumbo

Representado no quadro periódico pelo símbolo Pb, com número atômico 82 e massa atômica de 207,2, o chumbo é um elemento químico que pertence ao grupo 14 e ao sexto período, sendo um dos metais mais pesados, com uma densidade de aproximadamente 11,34 g/cm³. Classificado como um metal pós-transição, o chumbo é caracterizado por sua baixa dureza,

maleabilidade e alta resistência à corrosão, o que o torna útil em uma variedade de aplicações, apesar de sua toxicidade (Emsley, 2001).

Este metal tem uma ampla gama de aplicações industriais, incluindo a produção de baterias de chumbo-ácido, que são amplamente utilizadas em veículos e sistemas de backup de energia devido à sua capacidade de fornecer altos picos de corrente. Na medicina, compostos de chumbo foram utilizados em tratamentos e cosméticos na antiguidade, mas tais práticas foram abandonadas devido ao reconhecimento de seus efeitos adversos à saúde, como envenenamento por chumbo e danos ao sistema nervoso (Needleman, 2004).

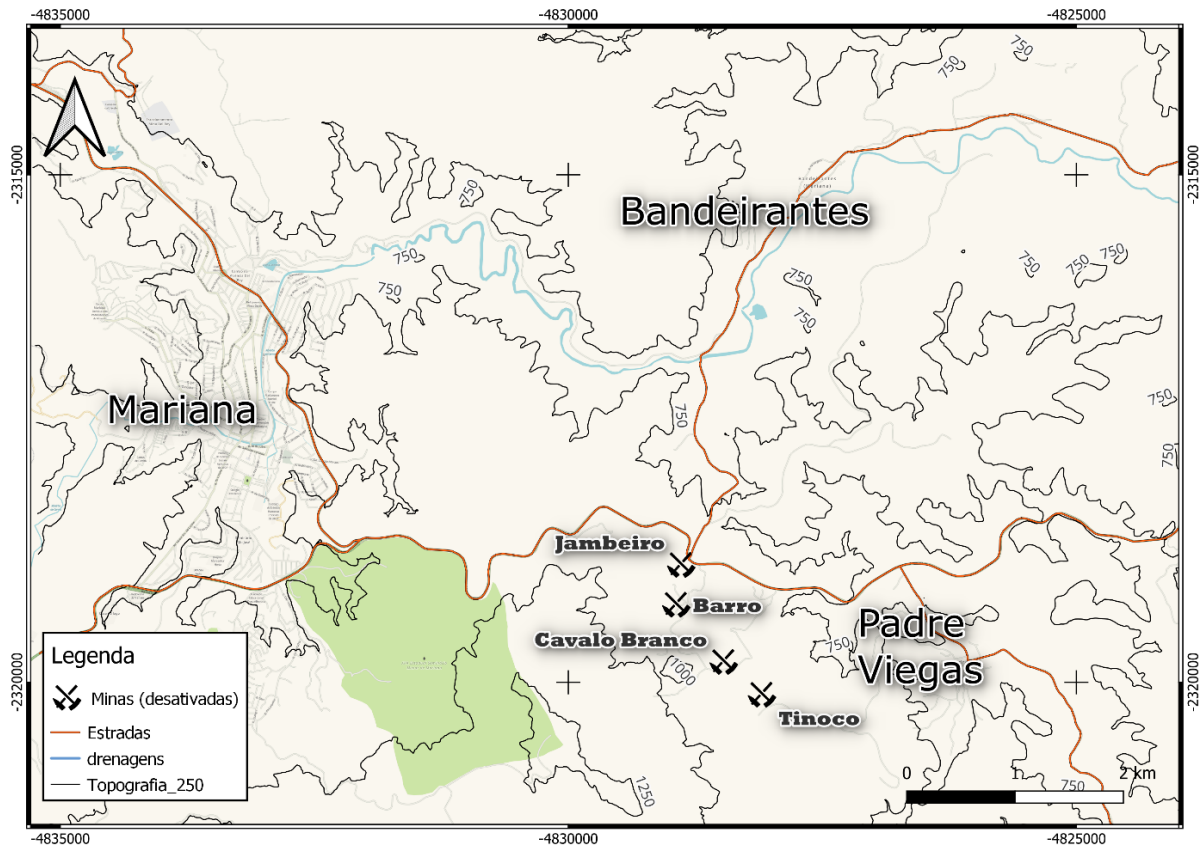
2.4 Revisão de ocorrências na região

O presente tópico apresenta um panorama sobre as ocorrências minerais na região de estudo através de dados disponíveis na literatura e revisão de artigos sobre a geologia local, com foco em minerais de tungstênio, chumbo e ouro.

Os primeiros relatos de ocorrência de stolzita (tungstato de chumbo) na região datam de 1903, com os estudos de E. Hussak em concentrados de bateia de Sumidouro, Mariana - MG. Os cristais descritos são prismáticos e medem de 1 a 2mm de largura, estando associados à raspita, scheelita, ouro, piromorfita, galena e limonita (Hussak, 1903). Parte do material coletado por Hussak foi enviado para Hlawatsch com o objetivo de uma análise mais detalhada a respeito da cristalografia dos cristais (Hussak, 1903; Hlawatsch, 1905). Os resultados obtidos confirmaram a ocorrência de raspita no Córrego do Sumidouro através de análises ópticas (Hlawatsch, 1905).

O relatório de Guimarães & Coelho (1944) sobre as jazidas de minerais de tungstênios na região de Sumidouro traz informações relevantes sobre as rochas que compõem a área, e caracterizam a presença de uma zona mineralizada associada a veios de quartzo. De acordo com as informações contidas no documento, a região é constituída por mica xistos (com predomínio de biotita-clorita xisto) com lentes de itabirito e anfibólio xisto, por vezes apresentando dobras. Através de análises de concentrados de bateia, bem como de material coletado na abertura de galerias e em antigas galerias da região, Guimarães & Coelho (1944) relatam a ocorrência de stolzita e ouro em Padre Viegas, embora em pequenas quantidades. A localização de algumas das galerias está representada na figura 3.

Figura 3: Mapa de localização de galerias da região



Fonte: modificado de Guimarães & Coelho 1944.

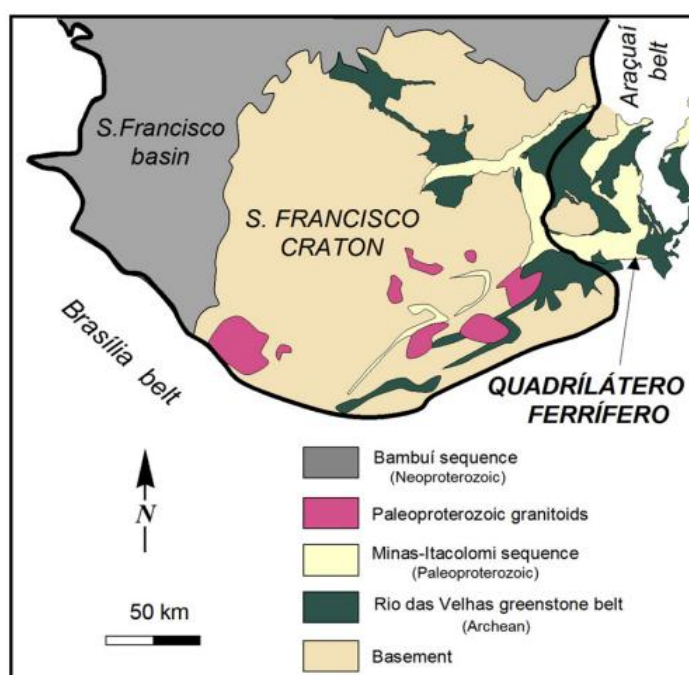
Outro registro a respeito da ocorrência de tungstatos na região hoje conhecida como Quadrilátero Ferrífero foi feito por L. C. Graton e está contido na edição de Lindgren (1933) sobre Depósitos Minerais.

Os estudos de Baptista & Baptista (1986) descrevem a amostra 6210M da Coleção Mineralógica do Museu Nacional, proveniente de Padre Viegas, Mariana - MG, na qual identificaram grãos de stolzita e raspita. Através de análises difratométricas também foram identificados galena, mimetita, piromorfita e mercúrio metálico (Baptista & Baptista, 1986).

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

O Quadrilátero Ferrífero é uma importante província mineral localizada na região centro-sudeste do estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 4). Esta região é reconhecida por suas extensas ocorrências de minério de ferro e depósitos de ouro associados a diversos outros minerais (Lobato *et al.*, 2014). O Quadrilátero Ferrífero é caracterizado por sua significativa mineralização e riqueza geológica, o que o torna uma das áreas mais importantes para a indústria de mineração no Brasil. A geologia do Quadrilátero Ferrífero é complexa e diversificada. De acordo com Alkmim *et al.* (1998) a região é composta por um núcleo cristalino arqueano, seqüências metavulcanosedimentares de idade arqueana e coberturas metassedimentares paleoproterozóicas. Significativos eventos tectônicos e magmáticos ocorreram ao longo de sua história geológica. Devido à sua relevância econômica e riqueza geológica, o Quadrilátero Ferrífero tem sido objeto de intensas pesquisas geológicas e mineralógicas ao longo dos anos, sendo considerada a região com maior número de estudos do Brasil (Farina *et al.*, 2015).

Figura 4: Localização do Quadrilátero Ferrífero na porção sudeste do cráton São Francisco

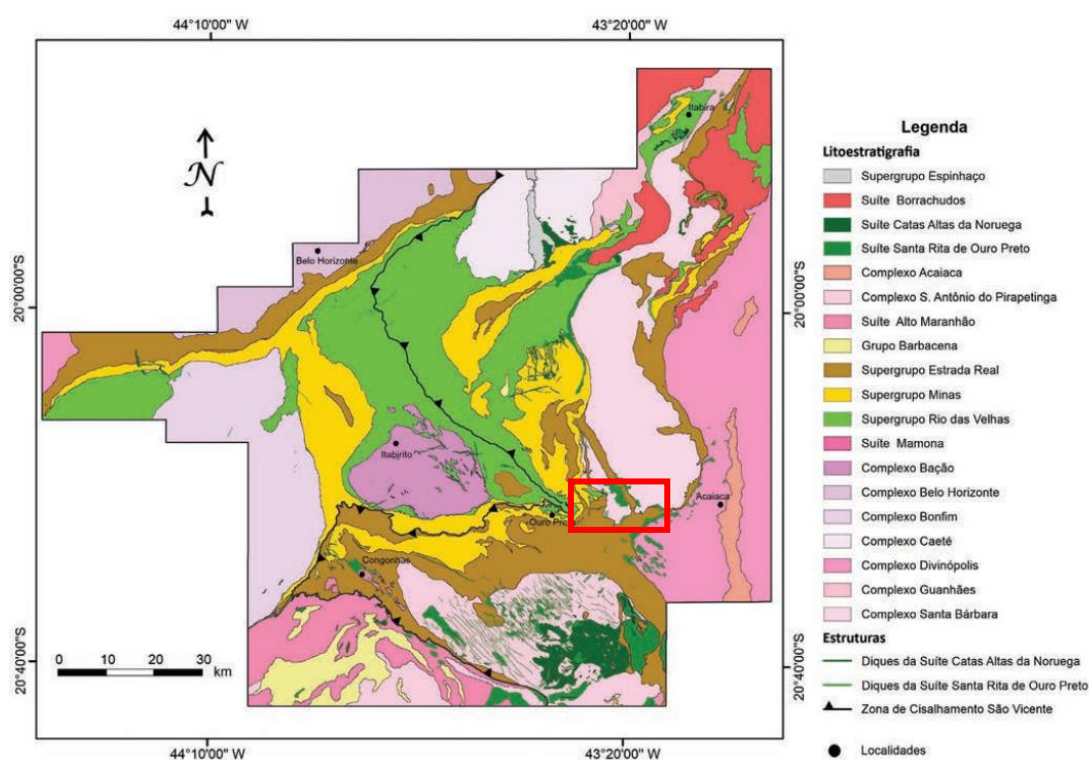


Fonte: reproduzida de Alkmim & Martins-Neto, 2012.

O Quadrilátero Ferrífero (QFe), representado na figura 5, é composto por diversas unidades litodêmicas e litoestratigráficas que abrangem diferentes períodos geológicos, incluindo o Arqueano, o Paleo-Mesoproterozóico e o Cenozóico (Endo *et al.*, 2019b). Essas unidades

geológicas incluem complexos metamórficos de associação trondhjemitó-tonalito-granodiorito (Teixeira *et al.*, 2000); o Supergrupo Rio das Velhas, formado por rochas metassedimentares clásticas e químicas, metavulcanoclásticas e rochas metavulcânicas (Endo *et al.*, 2019b); o Supergrupo Minas, composto por rochas metassedimentares clásticas e químicas; o Supergrupo Estrada Real, que inclui rochas metassedimentares clásticas e químicas, além de rochas metavulcânicas com composições félsicas, máficas e ultramáficas; o Supergrupo Espinhaço, constituído principalmente por metarenitos e metaconglomerados; e finalmente, unidades sedimentares que representam coberturas geológicas do Paleógeno ao Holoceno, compostas principalmente por sedimentos terrígenos (Endo *et al.*, 2019b).

Figura 5: Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: Endo *et al.*, 2019a.

O embasamento cristalino do Quadrilátero Ferrífero, de idade arqueana, é representado por associações trondhjemitó-tonalito-granodiorito (TTG), e são reconhecidas nos domos Santa Bárbara, Caeté, Belo Horizonte, Bonfim e Bação, (Teixeira *et al.*, 2000, Endo *et al.*, 2019b).

As rochas do Supergrupo Rio das Velhas sobrepõem-se às rochas do embasamento cristalino em contato tectônico (Almeida 1976), sendo compostas por metavulcânicas e metassedimentares que representam uma sequência greenstone belt de idade arqueana (Dorr,

1969), metamorfizadas em fácies xisto verde a anfibolito inferior (Zuchetti *et al.*, 2000). O Supergrupo Rio das Velhas é separado, da base para o topo, em grupo Quebra Ossos, Nova Lima e Maquiné. O Grupo Quebra Ossos constitui rochas metavulcânicas de composição máfica a ultramáfica e félsica; Grupo Nova Lima é caracterizado por sequências vulcânicas máficas, ultramáficas, vulcanoclásticas e químicas; O grupo Nova Lima é definido como associações costeiras e não marinhas (Baltazar & Pedreira, 1998; Zucchetti *et al.*, 2000; Baltazar & Zucchetti, 2007; Endo *et al.*, 2019b).

As rochas do Supergrupo Minas, de idade paleoproterozóica, posicionam-se estratigraficamente acima das rochas do Supergrupo Rio das Velhas de forma discordante (Dorr, 1969). Da base para o topo, é composta pelos grupos Tamanduá, Caraça, Itabira, Piracicaba (Endo *et al.*, 2019a)

De acordo com a subdivisão proposta por Endo *et al.* (2019a), as unidades paleoproterozóicas ficam divididas nos Supergrupos Minas e Estrada Real, diferindo da divisão proposta por Dorr (1969). Nesta nova subdivisão, o Supergrupo Minas estabelece-se composto pelos grupos Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba (Endo *et al.*, 2019a), sendo a proposição de Dorr (1969) representada pelos grupos supracitados com adição do Grupo Sabará.

O Grupo Tamanduá, definido por Simmons e Maxwell 1961, compreende, de forma simplificada, quartzitos, xistos quartzosos e itabiritos (Dorr 1969).

O Grupo Caraça, definido por Dorr *et al.* (1957), é constituído pelas Formações Moeda (inferior) e Batatal (superior). A Formação Moeda tem composição predominantemente quartzosa (Dorr, 1969), sendo composta por quartzitos, quartzitos sericíticos, conglomerados e filitos (Dorr, 1969) ao passo que a Formação Batatal é composta majoritariamente por filitos, apresentando de forma subordinada formações ferríferas, metacherts e filitos grafitosos (Dorr, 1969).

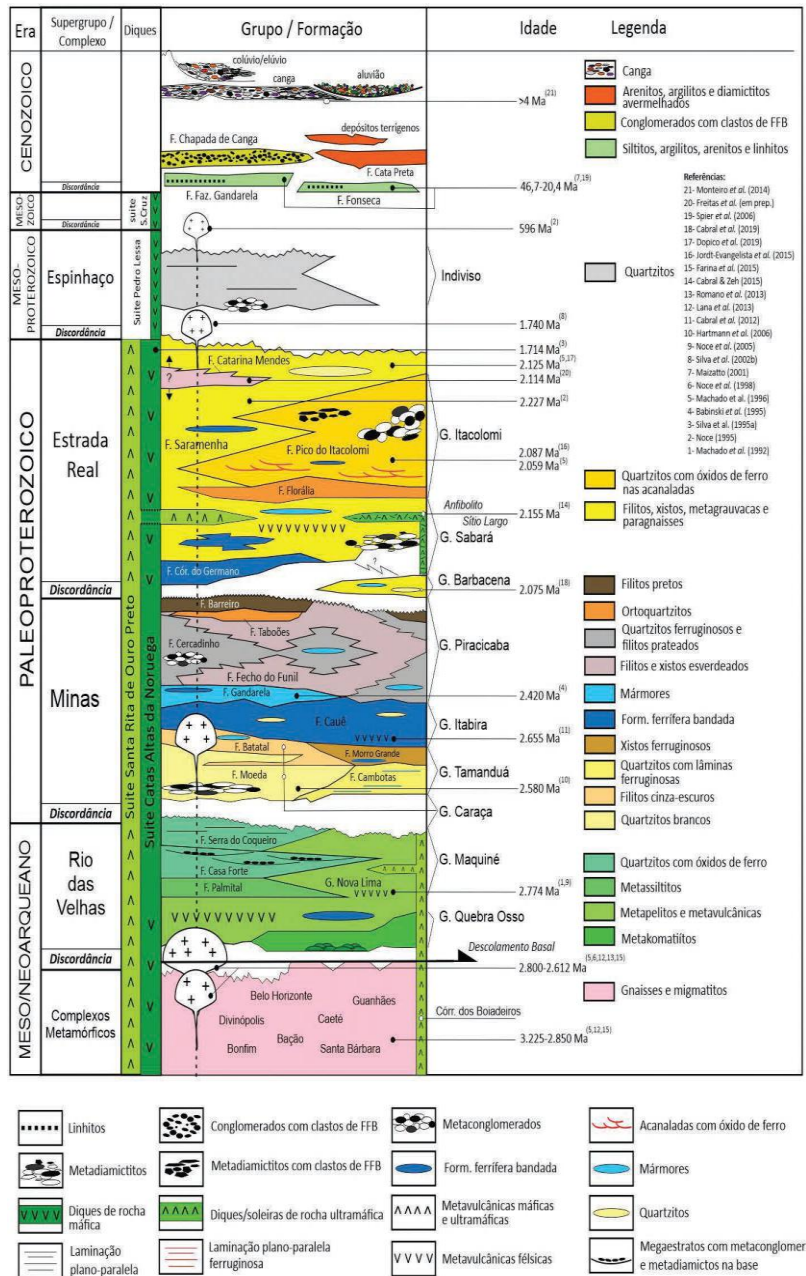
O Grupo Itabira, considerado por Dorr (1969) como a área de maior interesse econômico da região, compreende as Formações Cauê e Gandarela. A Formação Cauê, unidade basal do grupo, é constituída por itabiritos, itabiritos dolomíticos e anfibolíticos (Dorr, 1969). A Formação Gandarela compreende uma sucessão de rochas calcárias, majoritariamente dolomíticas composta por mármore e subordinadamente por itabiritos dolomíticos (Dorr, 1969) de idade isocrônica Pb-Pb de 2420 ± 19 Ma (Babinski *et al.*, 1995).

O Grupo Piracicaba é separado do Grupo Itabira por uma discordância erosiva (Dorr, 1969), e engloba as formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro. o grupo é composto por

uma sequência, da base para o topo, de metaconglomerados e quartzitos, com gradação para pelitos e pelitos carbonosos.

O Supergrupo Estrada Real é representado pelos grupos Barbacena, Sabará e Itacolomi (Endo *et al.*, 2019a), constituindo uma sequência de filitos, xistos, metagrauvacas, quartzitos com óxidos de ferro e ortoquartzitos (Figura 6).

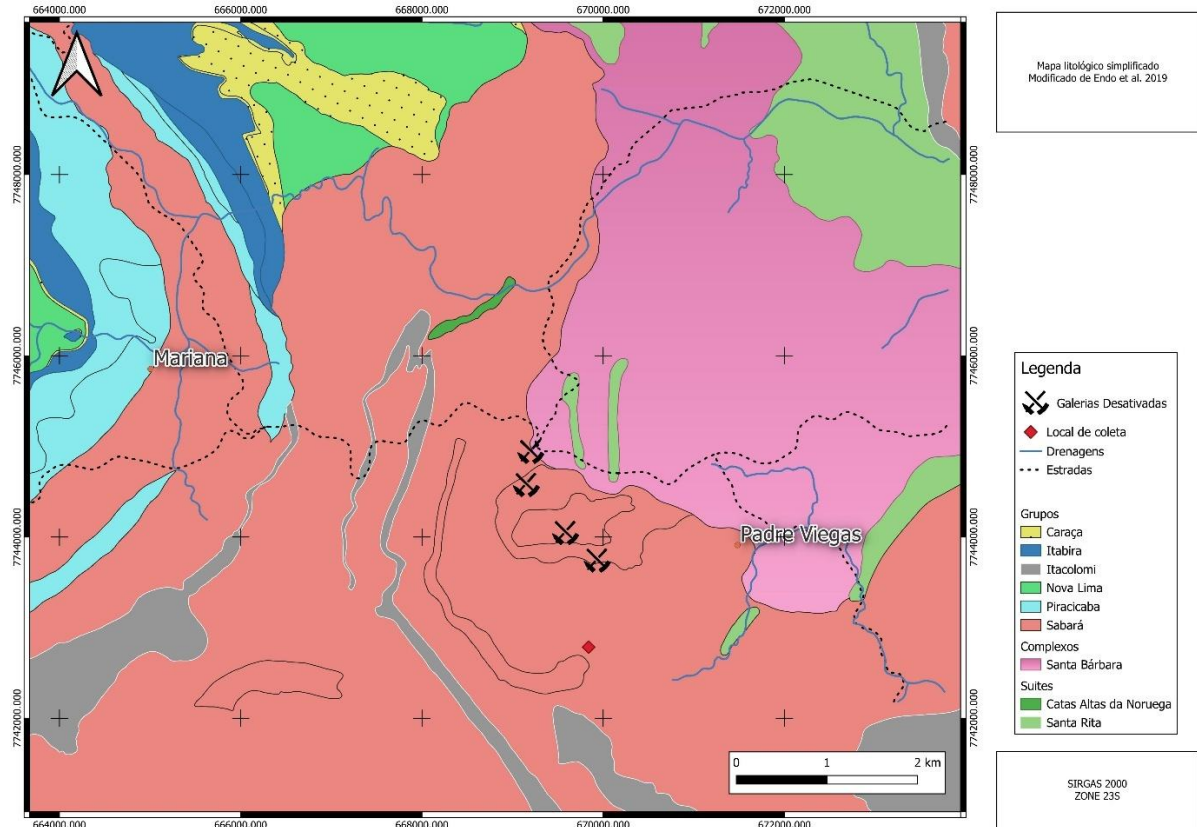
Figura 6: Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: Endo et al., 2019b.

Localmente as rochas que afloram na área de estudo estão englobadas pelo grupo Sabará, mais especificamente as formações Saramenha e Córrego do Germano (Figura 7), próximas ao contato com as rochas do Complexo Santa Bárbara, além de rochas da Suíte Santa Rita.

Figura 7: Mapa geológico simplificado da área de estudo, com a localização de algumas galerias desativadas e da galeria onde foram coletadas algumas das amostras descritas no trabalho.



Fonte: Modificado de Endo *et al.* 2019b.

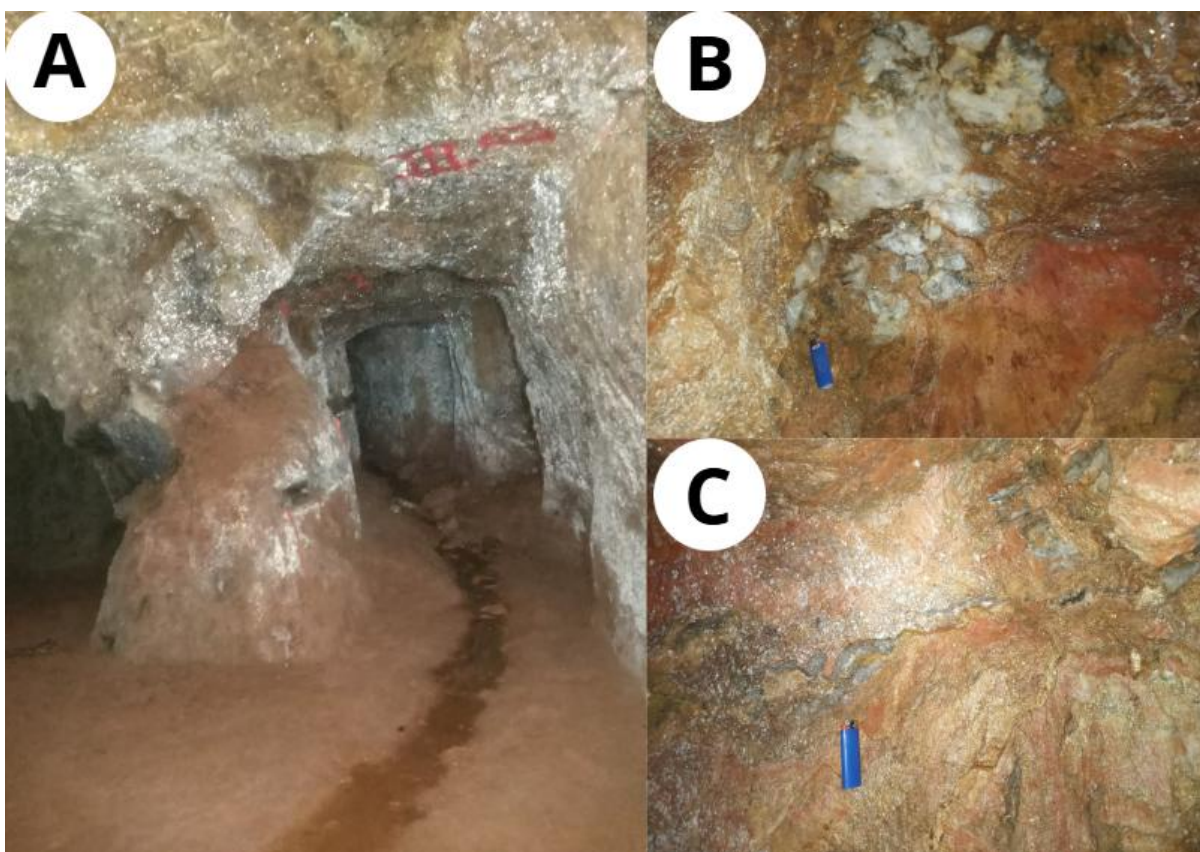
4 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras utilizadas são fragmentos de rochas e concentrados de bateia cedidas pelo Laboratório de Mineralogia do DEGEO e pelo Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP, além de fragmentos de rochas coletadas durante os trabalhos de campo.

4.1 Coleta de amostras

Foram coletadas amostras de rochas hidrotermalizadas em uma galeria desativada (Figura 8), localizada nas proximidades do distrito de Padre Viegas. Segundo relato dos habitantes locais, as atividades de extração de ouro na galeria iniciaram-se no século passado, estando a mesma desativada há mais de duas décadas.

Figura 8: Imagens da galeria onde foram coletadas amostras.



Fonte: O autor.

4.2 Catação de minerais

Para realizar a seleção de minerais para a confecção de embutimentos e análise em MEV-EDS, utilizou-se o método de catação de minerais nas amostras de concentrado de bateia. Para isso,

foi empregada uma lupa binocular e uma pinça (figura 9), a fim de selecionar os minerais com base em seu tamanho, cor, hábito e brilho.

Figura 9: Lupa binocular utilizada para seleção dos minerais.



Fonte: O autor.

4.3 Descrição petrográfica

Para descrição dos fragmentos de rocha foram preparadas lâminas delgadas polidas para descrição microscópica em luz transmitida e refletida. Nesta etapa foram identificadas as principais características óticas dos minerais nas rochas analisadas, bem como as texturas das rochas e estruturas presentes. Ao todo foram descritas cinco lâminas delgadas polidas.

Figura 10: Microscópio petrográfico Olympus BX-41 utilizado para descrição das lâminas delgadas polidas.

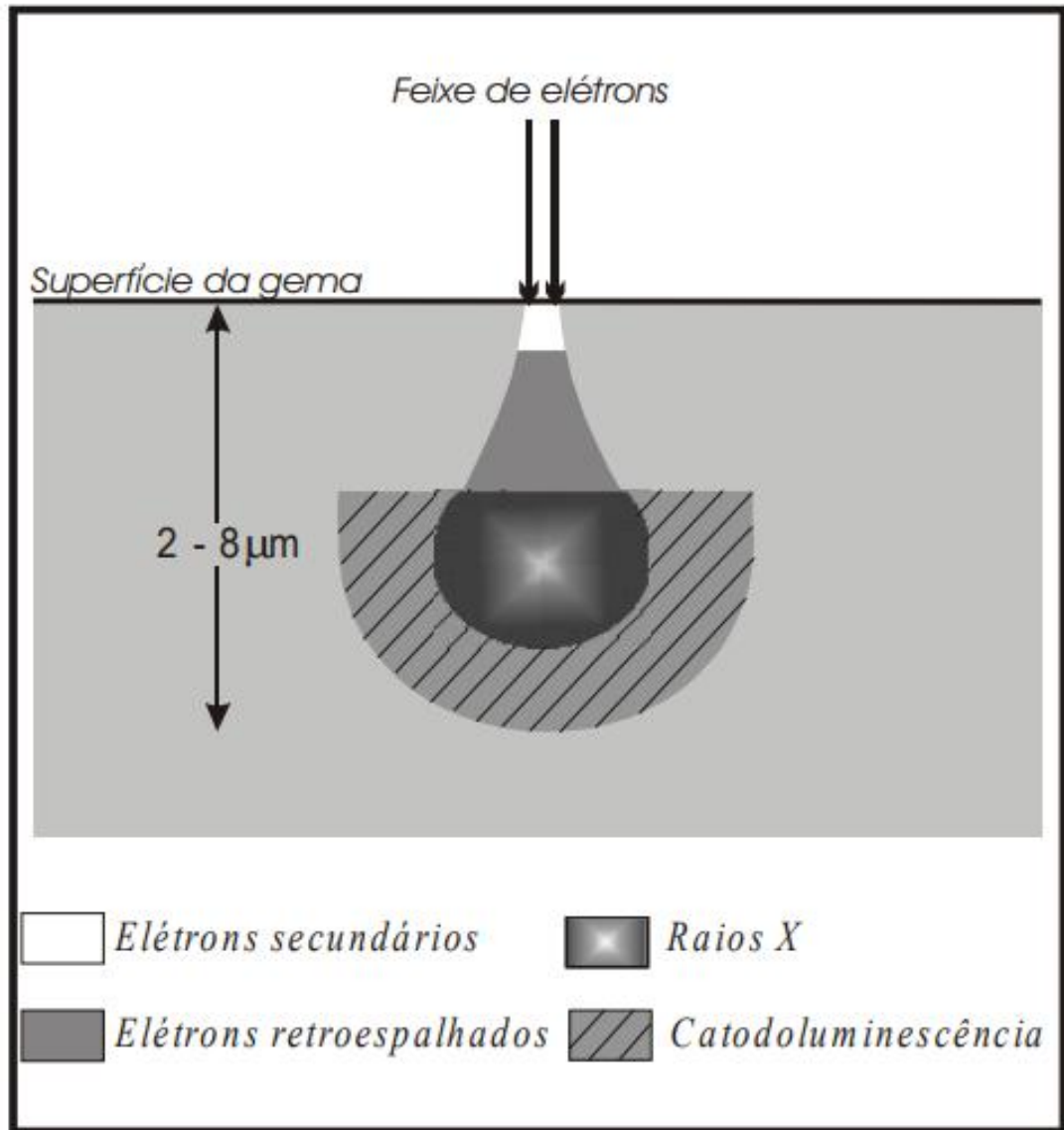


Fonte: O autor.

4.4 Análise em MEV-EDS

As amostras selecionadas foram caracterizadas com a utilização de microscópio eletrônico de varredura (MEV), no modo EDS (MEV/EDS). A microscopia eletrônica de varredura é utilizada em uma gama de estudos, se tornando cada vez mais usual pelo nível de detalhe que pode oferecer. A imagem virtual se forma por incidência de feixe de elétrons por um filamento capilar de tungstênio na superfície do mineral, sendo necessário o canhão de elétrons estar no vácuo durante a emissão do feixe de elétrons. O feixe de elétrons atinge o mineral, o que pode causar a emissão de elétrons secundários, auger, retroespalhados, absorvidos, raios X e catodoluminescência (Reed, 1996; Duarte *et al.*, 2003), representados de maneira simplificada na figura 11.

Figura 11: Representação esquemática da interação do feixe de elétrons com uma gema.



Fonte: Duarte et al. (2003).

O acoplamento do sistema EDS (Energy Dispersive System) ao MEV permite determinar quais elementos químicos estão presentes no local de incidência do feixe de elétrons, possibilitando determinar a composição qualitativa e semiquantitativa dos minerais (Duarte *et al.* 2003). A detecção por EDS apresenta rapidez na quantificação dos elementos.

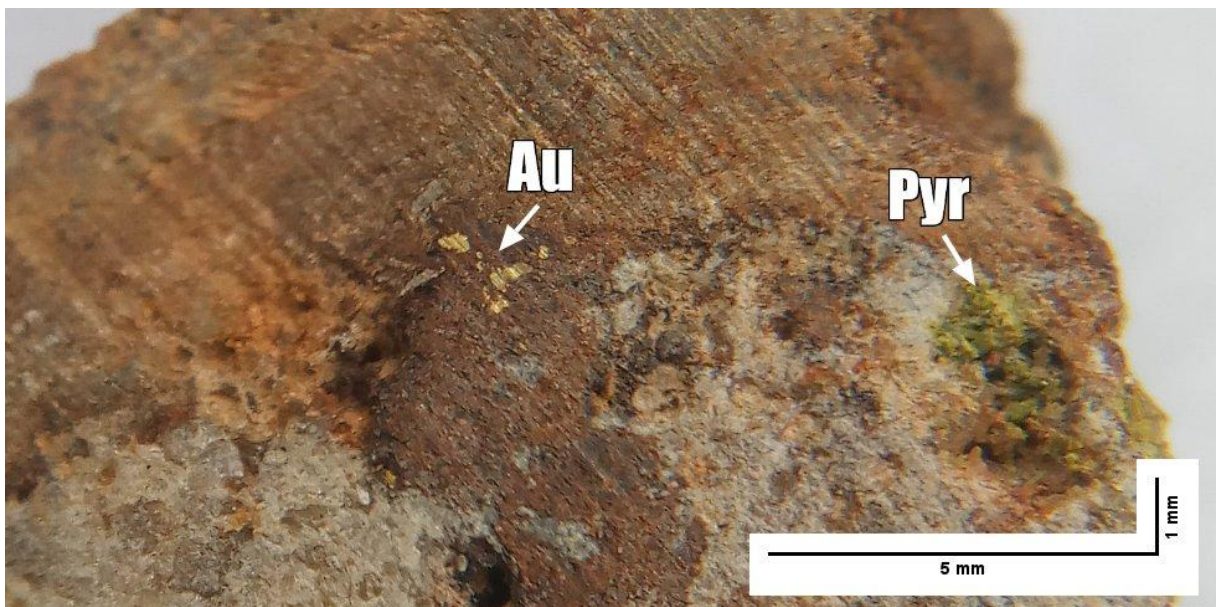
5 RESULTADOS

5.1 Mineralogia

5.1.1 Ouro – Au

O ouro foi identificado na amostra LSC-34 macroscopicamente devido a suas propriedades físicas, como brilho metálico e cor amarelo vivo. O mineral na amostra está associado a quartzo, piromorfita, filossilicatos e óxido de ferro, também identificados macroscopicamente (Figura 12).

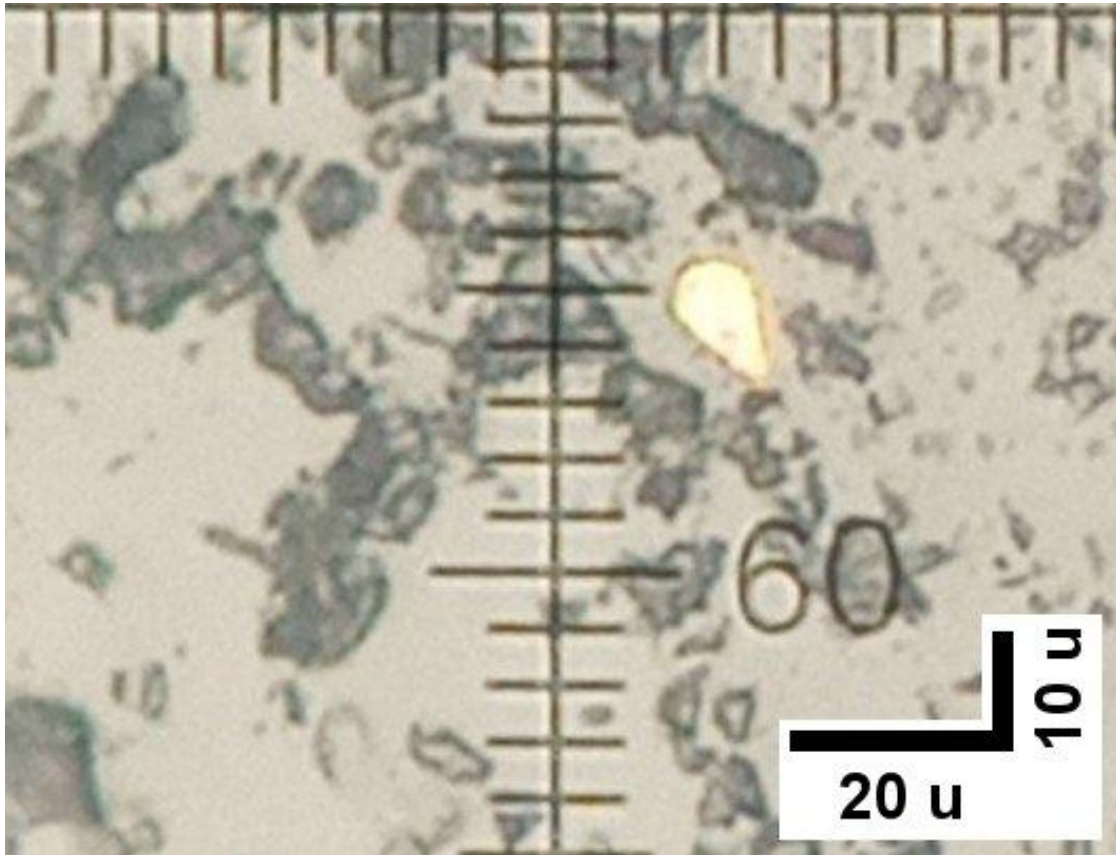
Figura 12: Imagem da amostra LSC-34 antes da confecção de lâmina delgada polida.



Fonte: O autor.

O grão de ouro observado em lâmina delgada sob microscópio de luz refletida a nicóis descruzados exibe uma cor amarela intensa e uniforme, altamente refletiva, sem variação de cor (isotrópico) e sem pleocroísmo. A ausência de clivagem e o brilho intenso do grão auxiliam sua identificação. Sob estas condições, o ouro não apresenta mudanças de cor ou extinção.

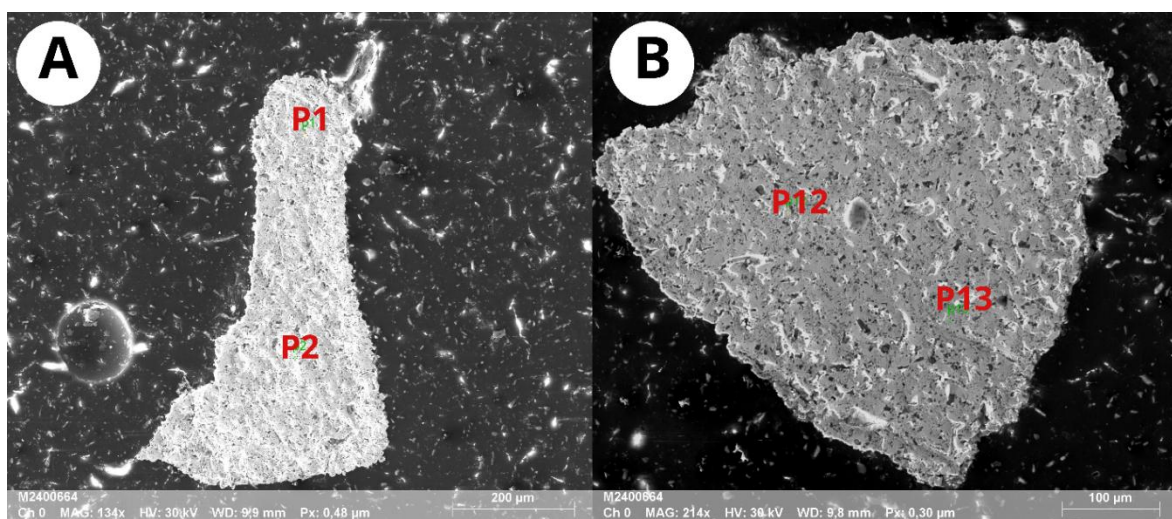
Figura 13: Imagem em microscopia de luz refletida da lâmina LSC34 contendo quartzo (cinza claro) e ouro (amarelo vivo).



Fonte: O autor.

Os grãos separados por catação estão representados a seguir, juntamente com os resultados de análise química.

Figura 14: Imagem dos grãos de ouro no MEV.



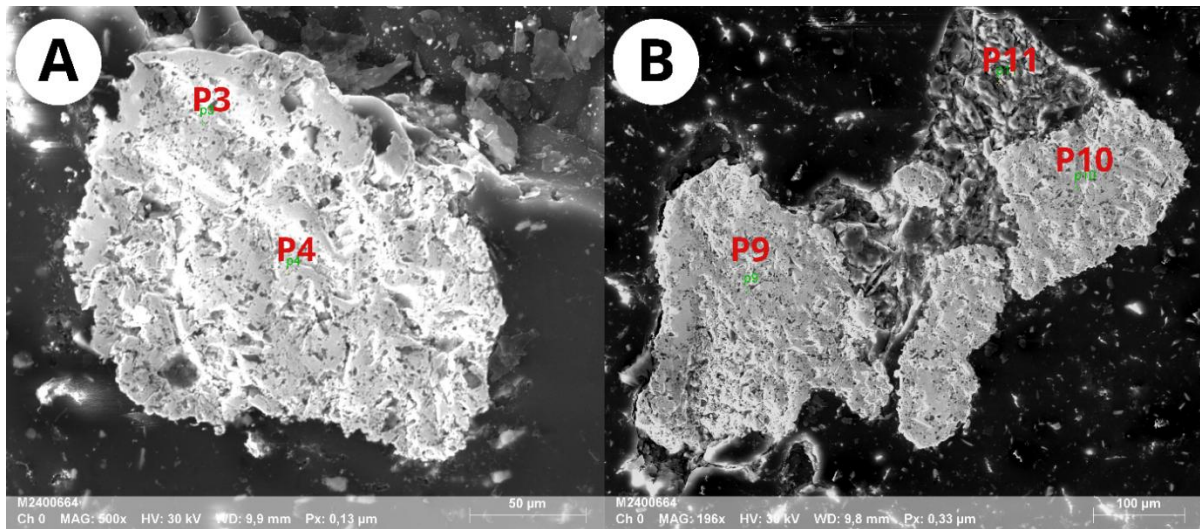
Fonte: Adaptado das imagens fornecidas pelo Lmic.

Os resultados de análise em MEV-EDS indicam que a composição dos grãos representados na figura 14 é majoritariamente ouro (90 a 95% em massa) com prata (Quadro 1), podendo se tratar de uma liga de ouro e prata.

Quadro 1: Resultados químicos das análises nos grãos de ouro em MEV-EDS.

Elemento (% massa norm.)	Au	Ag	Total
P1	95,95	4,05	100,00
P2	99,25	0,75	100,00
P12	91,28	8,72	100,00
P13	91,09	8,91	100,00

Figura 15: Imagem dos grãos de ouro em MEV. A imagem B representa associação de ouro com quartzo.



Fonte: Adaptado das imagens fornecidas pelo Lmic.

Os resultados de análise em MEV-EDS indicam que a composição do grão representado na figura 15 A é de ouro (68% em massa) com prata e tungstênio, podendo ser classificado como *electrum*. Na figura 15 B são observados grãos de ouro associados a quartzo (P11) (Quadro 2).

Quadro 2: Resultados químicos das análises nos grãos de ouro em MEV-EDS

Elemento (% massa norm.)	Au (%)	Ag (%)	Total (%)	Fórmula química cálc.. (aprox.)
P3	69,65	30,35	100,00	Au_{5,03}Ag₄
P4	70,22	29,78	100,00	Au_{5,16}Ag₄
P9	93,92	6,08	100,00	Au_{8,46}Ag₁
P10	93,17	6,83	100,00	Au_{7,83}Ag₁

A fórmula química aproximada calculada para os pontos P3 e P4 foi **Au₅Ag₄**, com arredondamento de uma casa decimal e desconsiderando os valores para traços de tungstênio. O resultado pode indicar um mineral ainda não catalogado, caso o mesmo apresente estrutura cristalina.

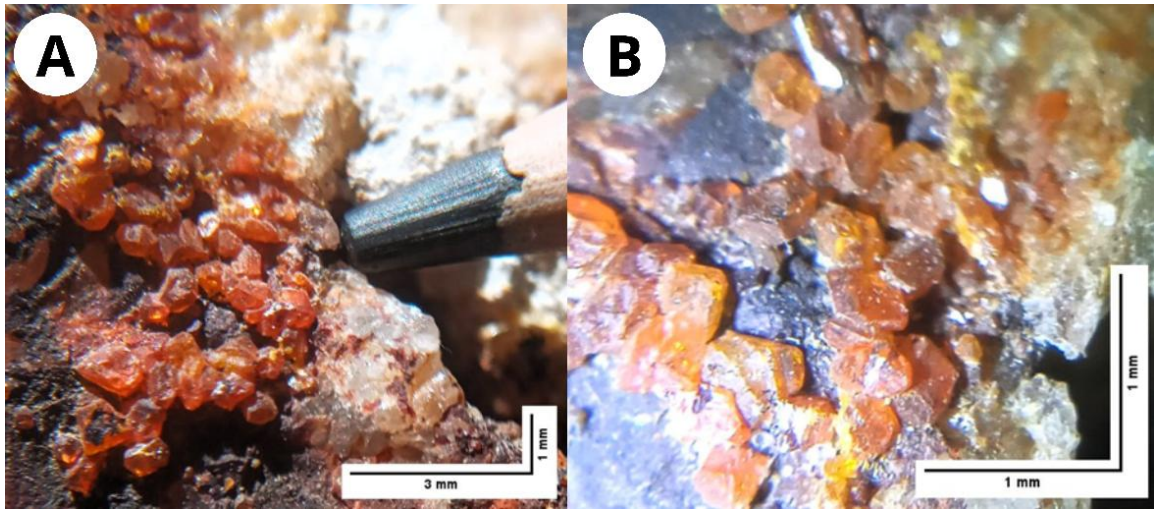
5.1.2 Stolzita e Raspita - PbWO₄

A stolzita é um tungstato de chumbo de estrutura cristalina tetragonal, dimorfo da raspita, de estrutura monoclínica. Os cristais de stolzita apresentam clivagem imperfeita em {001} e indistinta em {011}, dureza de 2.5-3 e densidade de 8.34. Em relação a suas propriedades ópticas, os cristais são translúcidos, podendo ser transparentes em espessuras muito finas, de brilho resinoso a sub adamantino com cores variadas, sendo as mais comuns para a stolzita o marrom-avermelhado, marrom, cinza, amarelo, alaranjado e vermelho (Palache *et al.*, 1951).

A ocorrência de stolzita é pouco comum, estando presente em algumas localidades em pequenas quantidades. Geralmente ocorre em zonas hidrotermal ligadas a depósitos de tungstênio e chumbo, com associações de raspita, cerussita, anglesita, piromorfita e mimetita (Palache *et al.*, 1951).

Os cristais de stolzita foram identificados macroscopicamente na amostra LSC-34 de acordo com sua cor marrom-avermelhada, brilho sub adamantino e hábito bipiramidal característico, semelhante aos cristais de stolzita descritos por Xu *et al.*, (1995) em Yaogangxian.

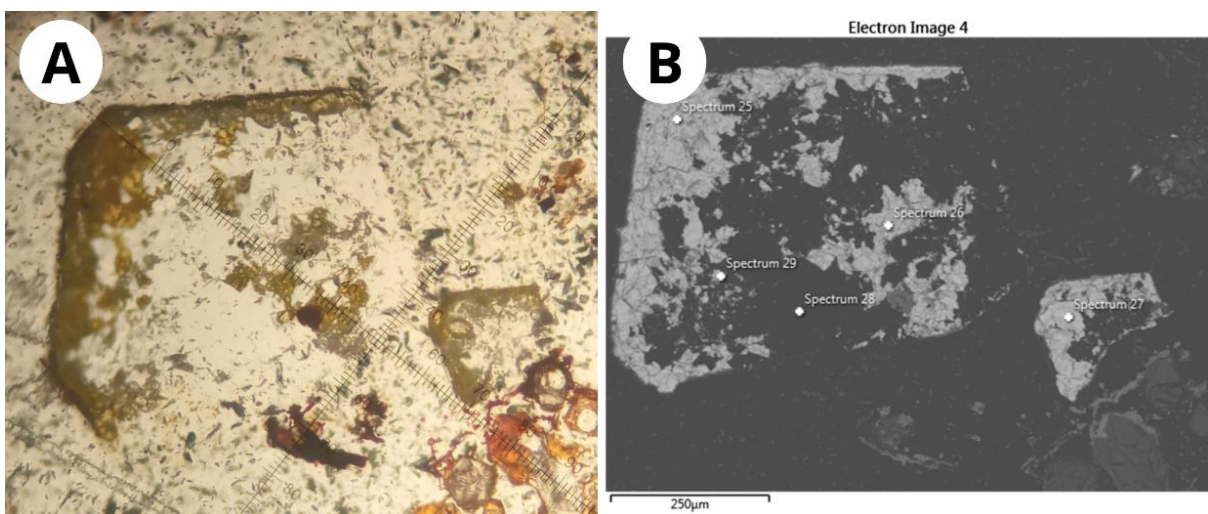
Figura 16: Stolzita na superfície da amostra LSC35 anteriormente a confecção da lâmina delgada polida.



Fonte: O autor.

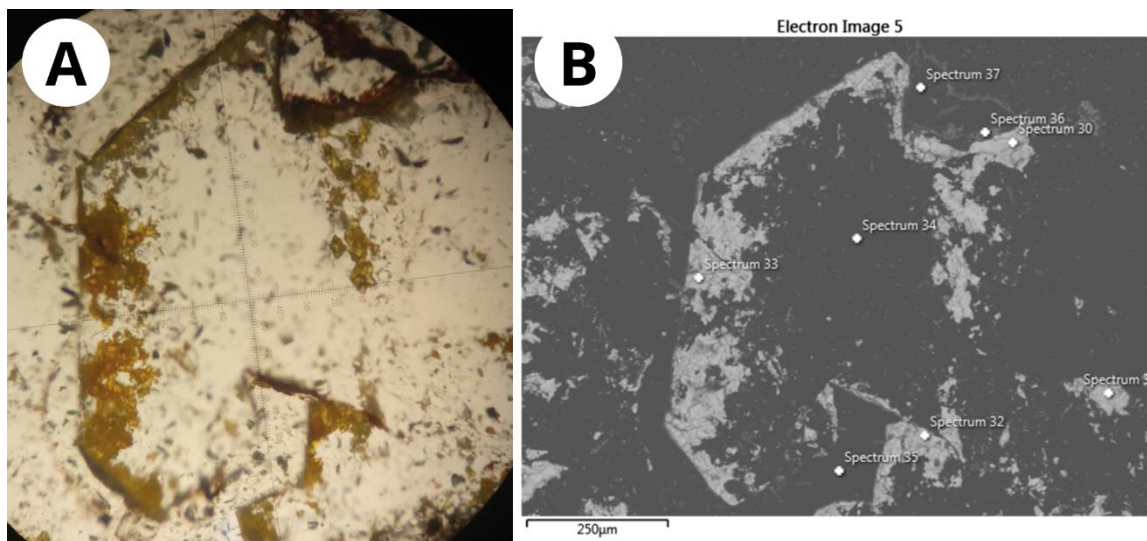
Em microscópio petrográfico a stolzita foi identificada em microscopia de luz transmitida pelas suas propriedades óticas principais, como cor verde, relevo alto a muito alto e por se apresentar, na maioria das vezes, em cristais subédricos que conservam faces do hábito original do mineral (Figuras 17 A e 18). Devido ao fato de a bibliografia sobre as propriedades óticas do mineral ser escassa, a existência do mesmo foi confirmada através de análise em MEV com acoplamento de EDS, como observado na Figura 17 B e Quadro 3.

Figura 17: A) Imagem de cristais de stolzita em microscópio de luz transmitida com nicóis paralelos (Fonte: autoria própria) B) Imagem dos cristais de stolzita em MEV com respectivos espectros



Fonte: A-O autor; B-Lmic.

Figura 18: A) Imagem de cristal de stolzita em microscópio de luz transmitida com nicóis paralelos (Fonte: autoria própria) B: Imagem dos cristais de stolzita em MEV com respectivos espectros.



Fonte: A-O autor; B-Lmic.

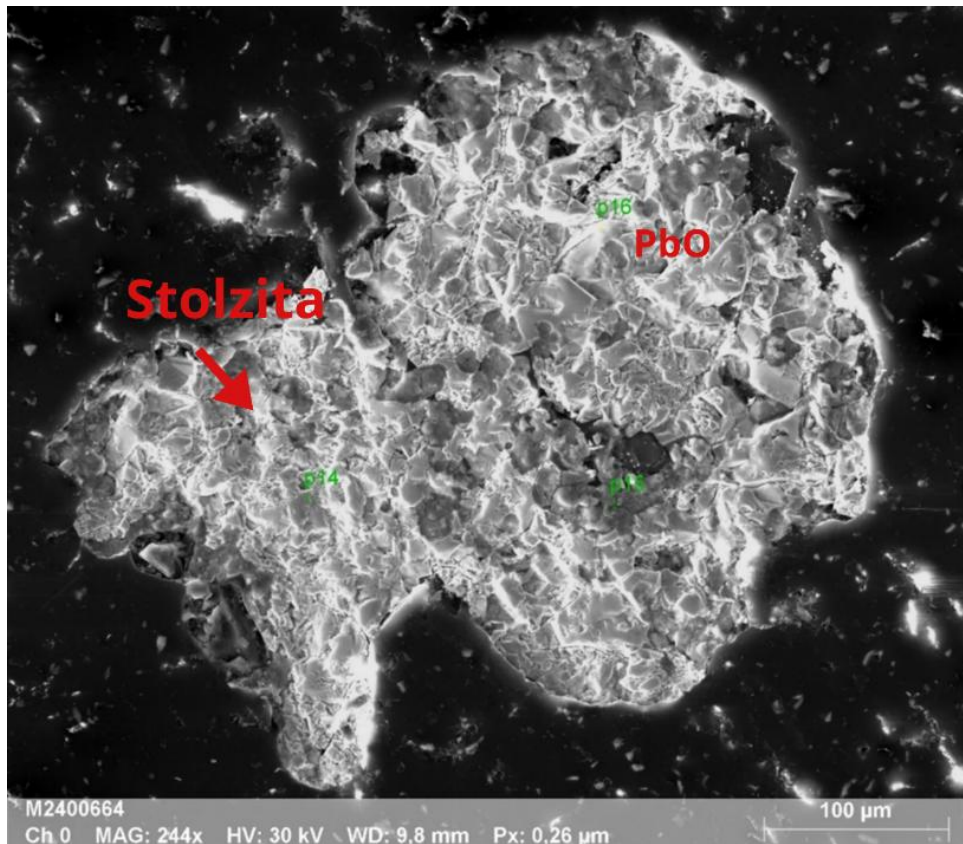
Quadro 3: Resultados das análises dos cristais de stolzita em MEV-EDS.

Óxido (% massa norm.)	PbO	WO ₃	SrO	Cr ₂ O ₃	SOMA	Fórmula química calc. (aprox.)
Espec. 25	48,37	51,63			100,00	Pb _{0,98} WO ₄
Espec. 26	48,55	51,45			100,00	Pb _{0,99} WO ₄
Espec. 27	48,23	51,77			100,00	Pb _{0,98} W _{1,01} O ₄
Espec. 29	48,06	51,94			100,00	Pb _{0,98} W _{1,02} O ₄
Espec. 30	47,37	52,63			100,00	Pb _{0,96} W _{1,03} O ₄
Espec. 31	48,85	46,86	3,68	0,61	100,00	Pb _{0,98} W _{0,93} Sr _{0,05} Cr _{0,01} O ₄
Espec. 32	47,69	52,31			100,00	Pb _{0,95} W _{1,03} O ₄
Espec. 33	48,93	46,42	3,96	0,69	100,00	Pb _{0,99} W _{0,92} Sr _{0,06} Cr _{0,01} O ₄

A fórmula química calculada a partir da média dos valores do quadro 5.3 foi Pb_{0,96}Sr_{0,04}WO₄, valor consideravelmente próximo à fórmula química ideal (PbWO₄).

Em grãos selecionados por método de catação foram identificados stolzita e/ou raspita, e de acordo com a imagem de MEV e o resultado da análise química, o mineral está associado a óxido de chumbo, sendo de difícil diferenciação entre stolzita e raspita pois possuem a mesma fórmula química e os grãos não apresentarem forma bem definida de acordo com o hábito dos minerais (Figura 19).

Figura 19: Imagem dos grãos de stolzita em MEV. A imagem representa associação de stolzita com óxido de chumbo.



Fonte: Adaptado de Centro de microscopia da UFMG.

Os resultados de análise química em MEV-EDS para stolzita estão representados no quadro 4.

Quadro 4: Resultados das análises no grão de stolzita em MEV-EDS.

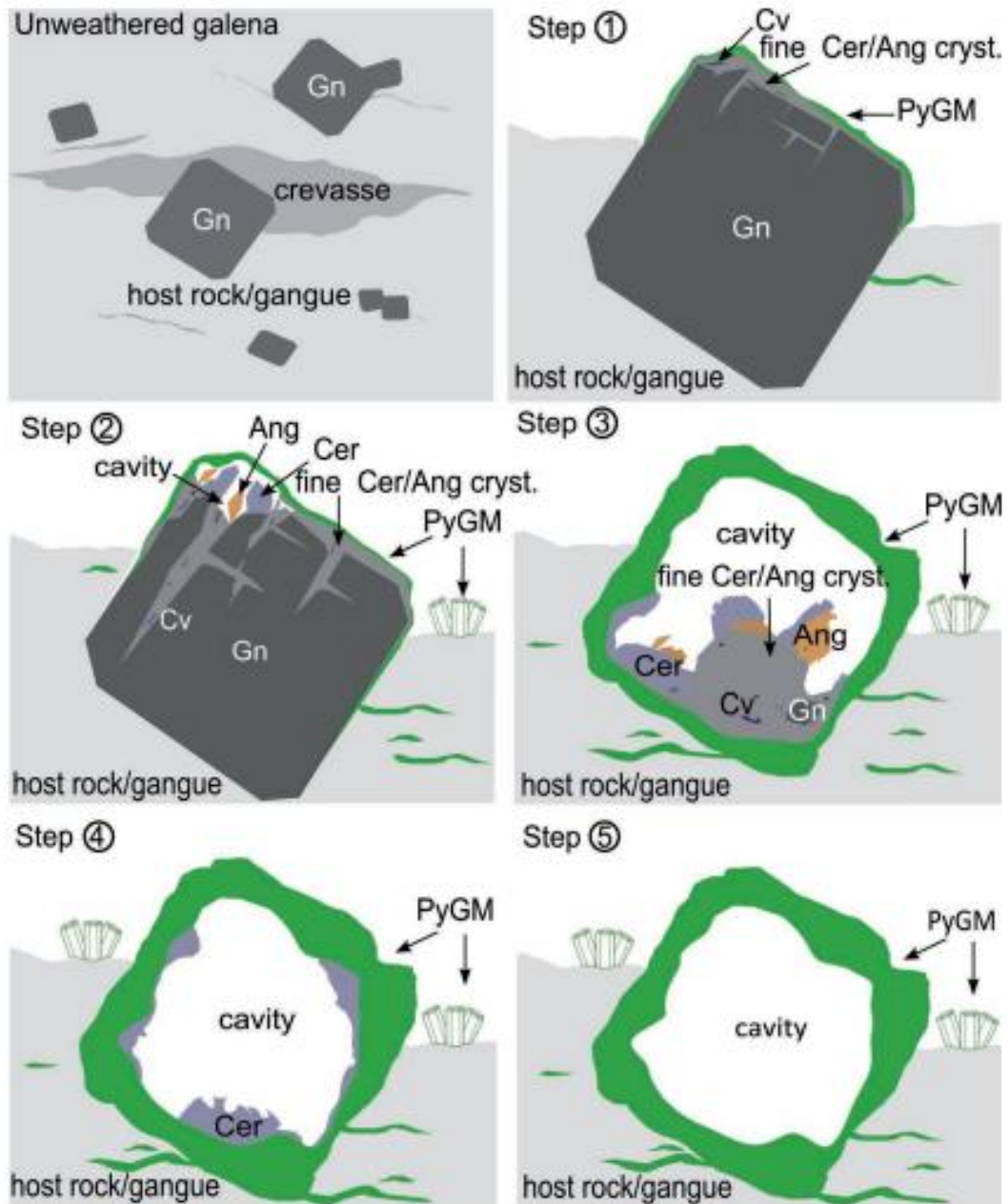
Elemento (% massa norm.)	Pb (%)	W (%)	O (%)	SOMA
P14	49,16	44,64	6,20	100,00

A fórmula química calculada a partir do ponto P14 foi $\text{PbWO}_{1,63}$.

5.1.3 Piromorfita ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$) e Hidroxipiromorfita ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$)

A piromorfita é classificada como um fosfato de cloro e chumbo do sistema hexagonal, pertencente ao grupo da apatita, estando comumente associada a galena, anglesita, cerussita e outros minerais de chumbo em zonas de oxidação de minerais de chumbo (Tadin, 2005; Anthony *et al.*, 2001; Klein & Dutrow, 2012).

Figura 20: Processo de alteração da galena para piromorfita. Ang: anglesita; Cer: Cerussita; Cv: covelita; Gn: galena; PyGM: piromorfita.

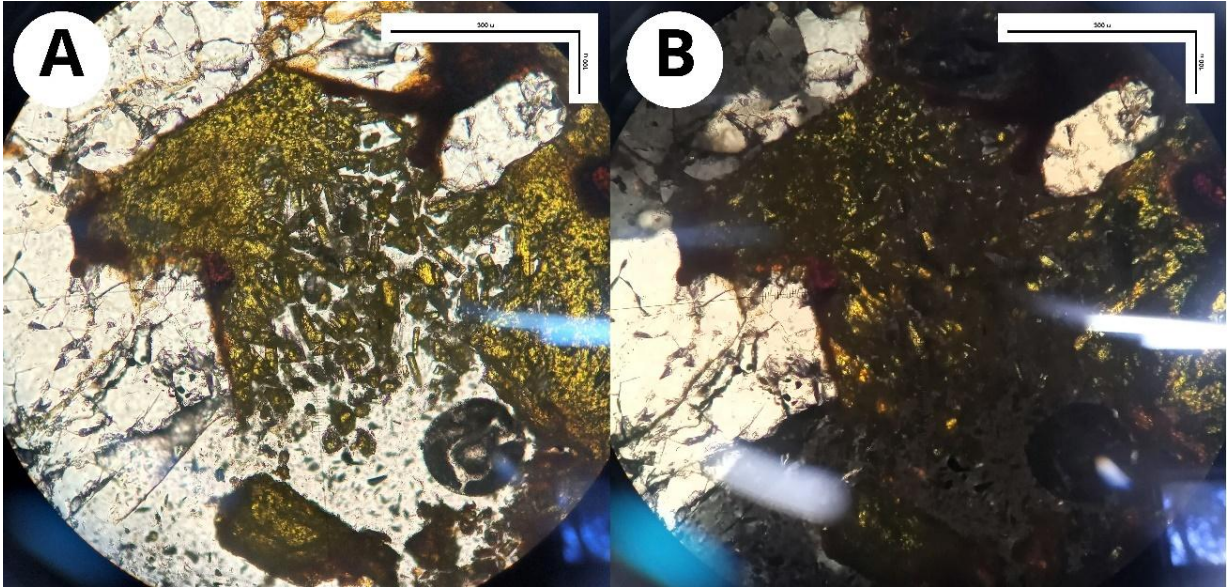


Fonte: Keim & Markl, 2015.

Geralmente os cristais são prismáticos com hábito “em barril”, com brilho resinoso a adamantino e cores em tonalidades mais comuns de verde, amarelo e marrom.

Em razão das características físicas e químicas da piromorfita e hidroxipiromorfita serem muito semelhantes, torna-se difícil a identificação deles de maneira individual em microscópio petrográfico. Em geral os grãos apresentam hábito prismático euédrico a subédrico. A morfologia dos cristais está representada nas figuras 21 e 22. As propriedades ópticas que permitiram identificá-los em microscópio de luz transmitida são principalmente a cor verde, o hábito prismático e relevo médio a alto (Figura 21).

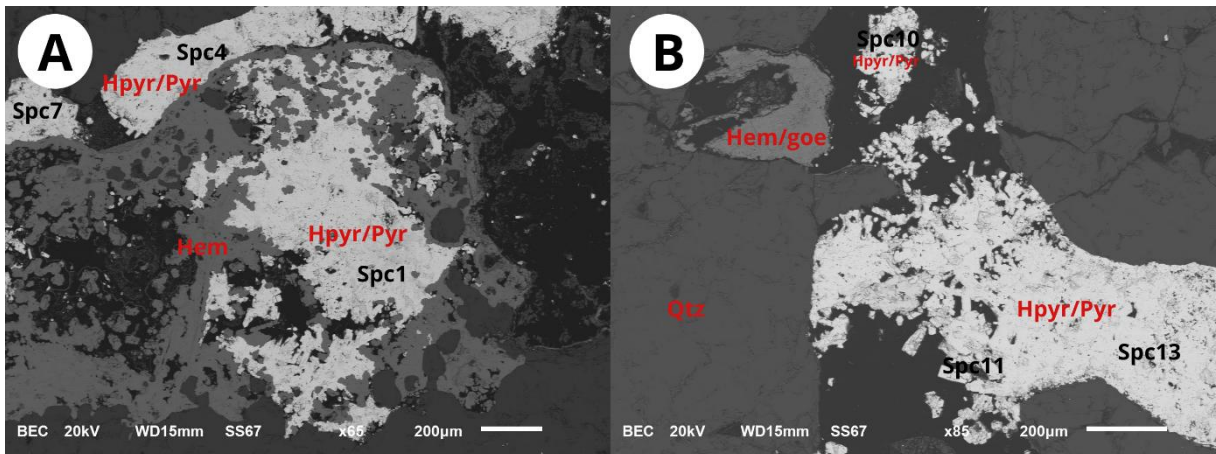
Figura 21: cristais de piromorfita/hidroxipiromorfita apresentando hábito prismático subédrico A) nicóis descruzados; B) nicóis cruzados.



Fonte: O autor.

Devido ao fato de o cloro ser um elemento volátil, ele pode não ser quantificado ou apresenta valores baixos em análise em MEV-EDS, fato que dificulta a diferenciação dos cristais de piromorfita e hidroxipiromorfita, sendo a principal diferença química entre os minerais a substituição do cloro pela hidroxila.

Figura 22: Imagem de cristais de piromorfita/hidroxipiromorfita em MEV associados a hematita/goethita e quartzo (Laboratório de microanálises do DEGEO-UFOP).



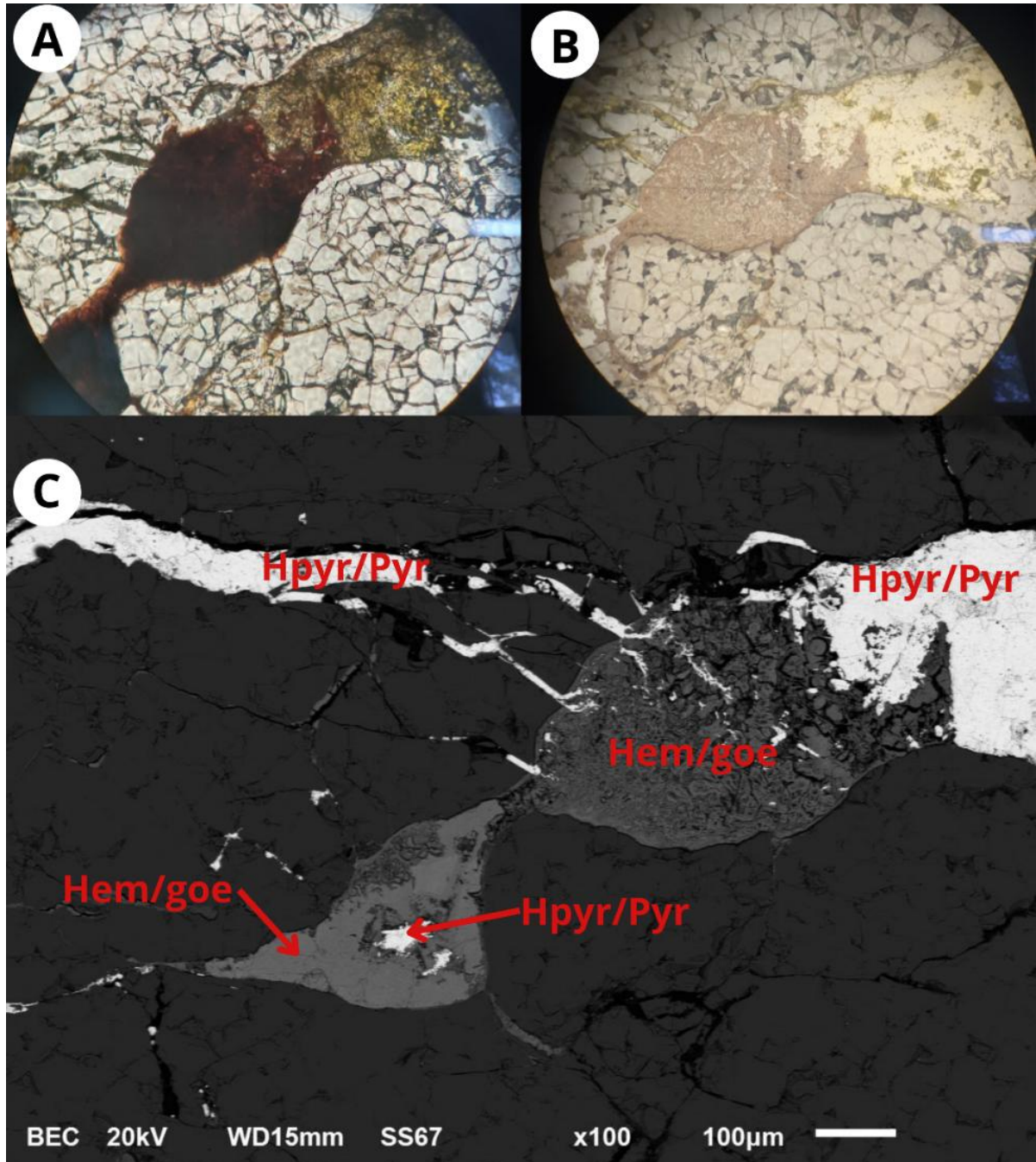
Fonte: Adaptado de Centro de microscopia da UFMG.

Quadro 5: Resultados das análises dos cristais de piromorfita/hidroxipiromorfita em MEV-EDS.

Elemento (% massa nomr.)	PbO	PO₄	Cr₂O₃	Al₂O₃	CaO	As₂O₃	Total
Spectrum 1	80,47	13,39		2,11	0,5	0,49	96,95
Spectrum 4	82,42	12,87			0,21	1,85	97,34
Spectrum 7	80,71	13,91			1,56	1,02	97,20
Spectrum 10	82,02	12,54	0,49		0,55	1,75	97,36
Spectrum 11	81,64	13,83			0,82	0,95	97,23
Spectrum 13	82,49	12,78			0,32	1,74	97,34

Em alguns pontos da amostra LSC34 o mineral está associado diretamente com óxidos de ferro, e ocorre também preenchendo fissuras na rocha, como observado na figura 23. Em microscopia de luz refletida o mineral apresenta cor de reflexão cinza esverdeado, não apresenta pleocroísmo ou birreflexância, não possui anisotropia e pode ter reflexões internas verdes.

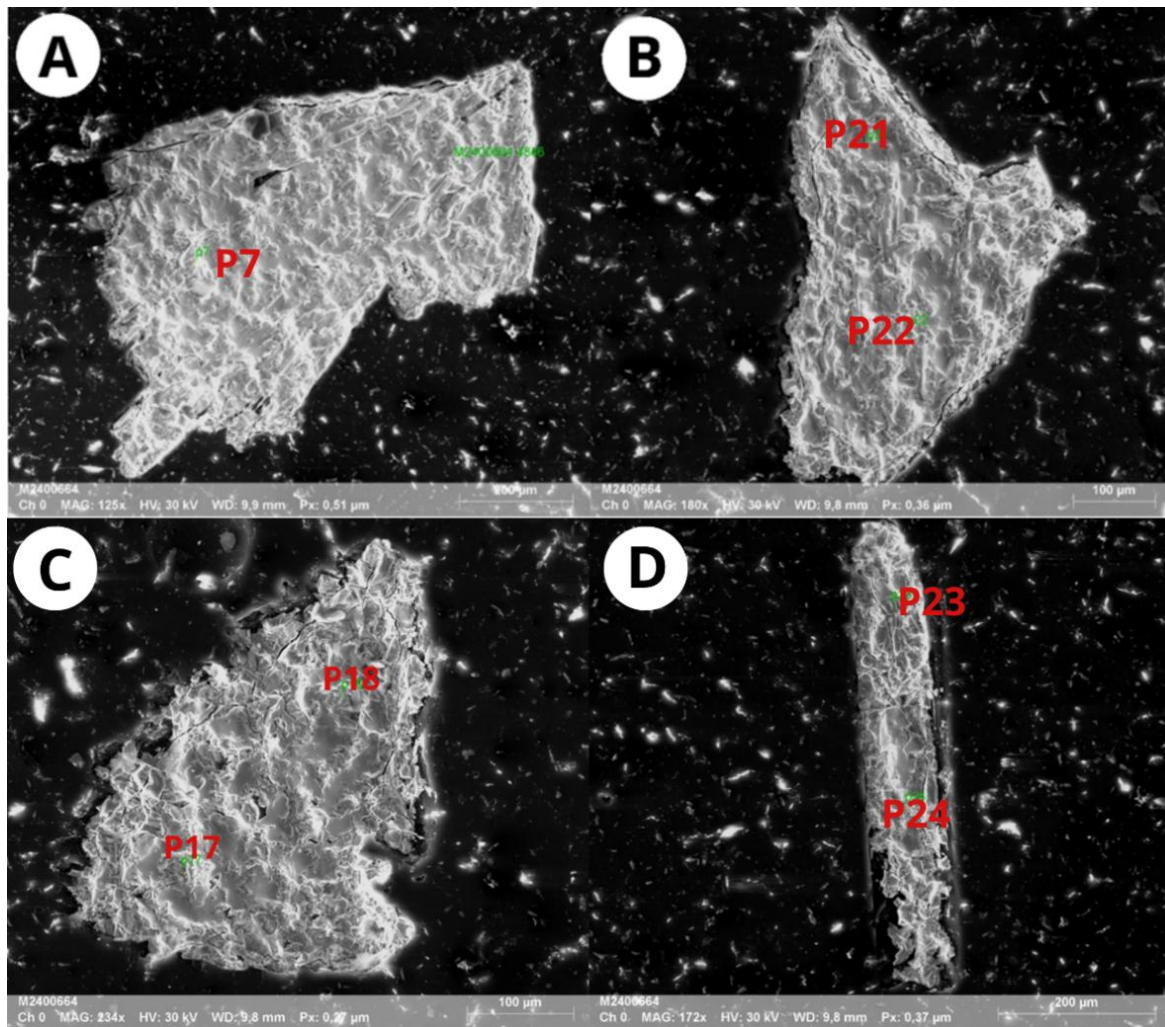
Figura 23: A) imagem em microscopia de luz transmitida a nicóis descruzados; B) imagem em microscopia de luz refletida a nicóis descruzados; C) imagem em MEV.



Fonte: A, B- O autor; C- Lmic.

A análise em MEV-EDS de grãos separados por catação indica composição semelhante a piromorfita, embora com menor teor de oxigênio em relação a fórmula ideal do mineral (Quadro 6). A figura 24 representa a morfologia do grão, e o resultado da química mineral sugere que existem duas fases minerais: piromorfita e hidroxipiromorfita com traço de magnésio.

Figura 24: Imagem dos grãos de piromorfita/hidroxipiromorfita em MEV.



Fonte: Centro de microscopia da UFMG.

Quadro 6: Resultado da análise química do grão em MEV-EDS.

Elemento (% massa nomr.)	Pb	O	P	Cl	Mg	Total
P7	84.73	8.07	6.86	0.34		100
P17	93.29	1.04	3.34	2.33		100
P18	87.72	6.44	5.25		0.59	100
P21	86.53	7.15	6.32			100
P22	89.47	4.27	5.61	0.65		100
P23	86.52	5.81	7.67			100
P24	85.78	6.91	7.31			100

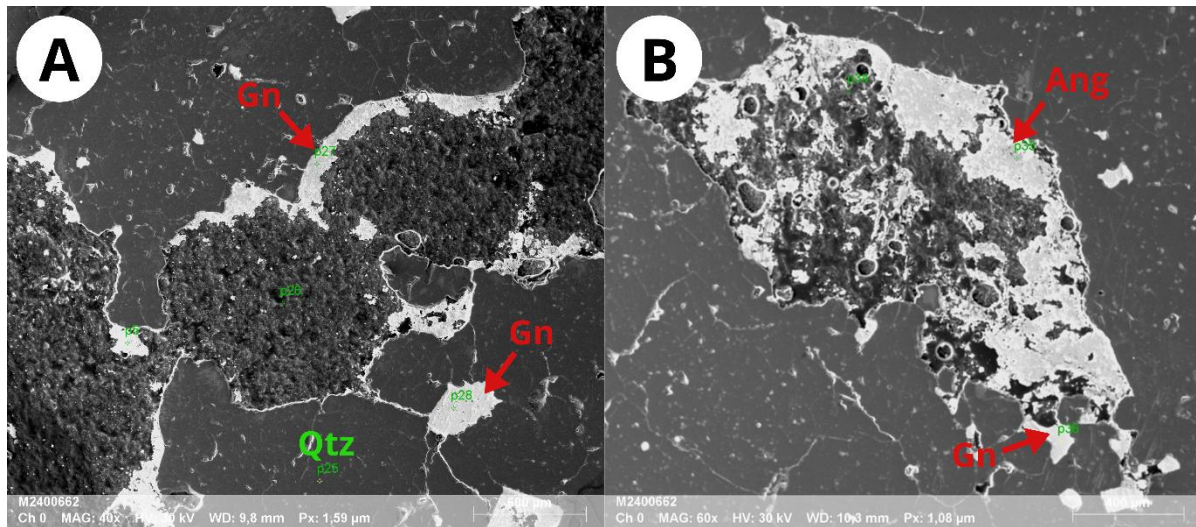
5.1.4 Galena -PbS

A galena é um sulfeto de chumbo, sendo considerado o minério de chumbo mais importante na geologia econômica. O hábito mais comum é cúbico, com cor e traço cinza do chumbo e brilho metálico (Klein & Dutrow, 2012).

A galena pode ser encontrada em rochas de metamorfismo de contato, porém sua ocorrência é mais comum em depósitos hidrotermais, em associação com pirita, calcopirita, esfalerita, marcassita, quartzo, fluorita, cerussita, entre outros (Bonewitz, 2012; Klein & Dutrow, 2012). A alteração da galena pode formar outros minerais de chumbo como cerussita, anglesita e piromorfita (Bonewitz, 2012).

A galena foi identificada nos pontos 27,28, 31, 33 e 36 (Figuras 25 e 26), associada a quartzo e anglesita. A associação com anglesita pode ser interpretado como resultante do processo de alteração da galena em ambiente oxidante.

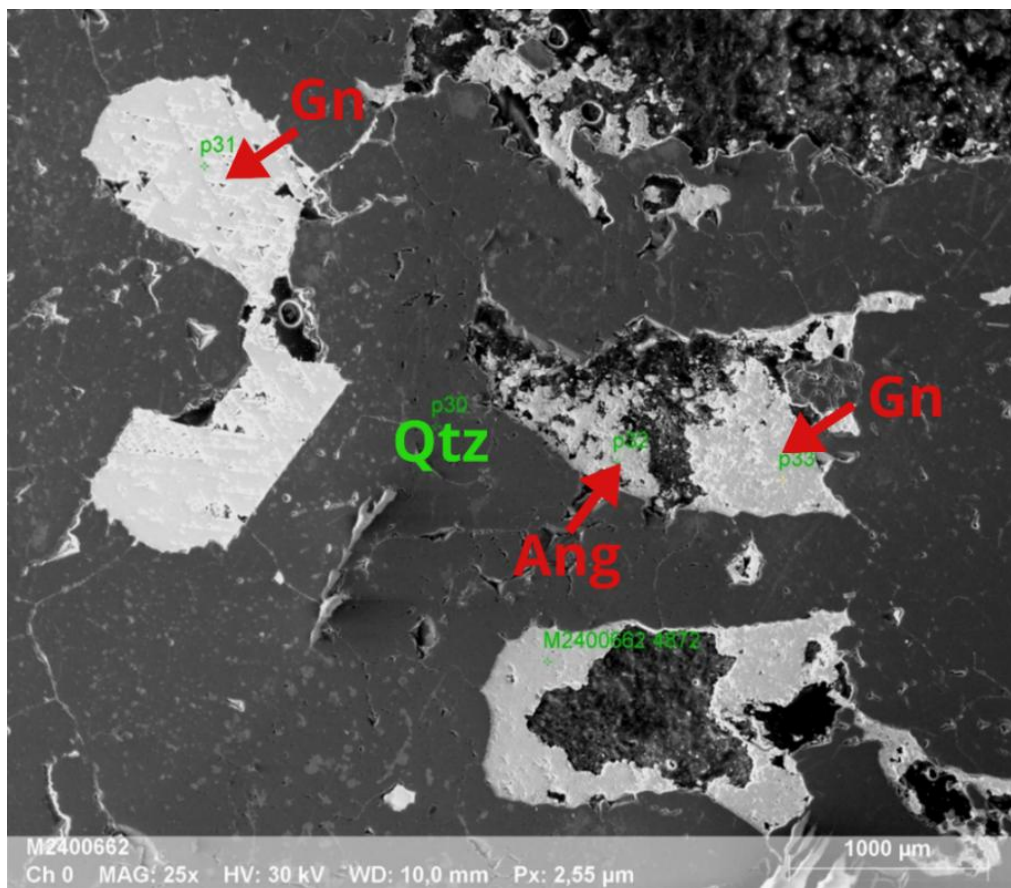
Figura 25: Imagens dos cristais de galena associados a quartzo e anglesita no MEV.



Fonte: Adaptado de Centro de microscopia da UFMG.

Na figura 26 observa-se, no cristal de galena à esquerda, figuras de arranque tringulares, características da galena devido a sua excelente clivagem cúbica.

Figura 26: Imagens dos cristais de galena associados a quartzo e anglesita no MEV.



Fonte: Adaptado de centro de microscopia da UFMG.

O resultado da análise do MEV-EDS para galena está representado no quadro a seguir (Quadro 7). Os resultados químicos indicam traços de oxigênio.

Quadro 7: Resultado da análise química para galena em MEV-EDS.

Elemento (% massa norm.)	Pb	S	Total
P27	87,28	12,72	100,00
P28	87,10	12,90	100,00
P31	86,53	13,47	100,00
P33	87,08	12,92	100,00
P36	86,95	13,05	100,00

A fórmula química calculada para a média dos valores de chumbo e enxofre nos pontos do quadro 5.7 foi **Pb_{1,03}S_{1,00}**.

5.1.5 Embreyita Pb₅(CrO₄)₂(PO₄)₂(H₂O)

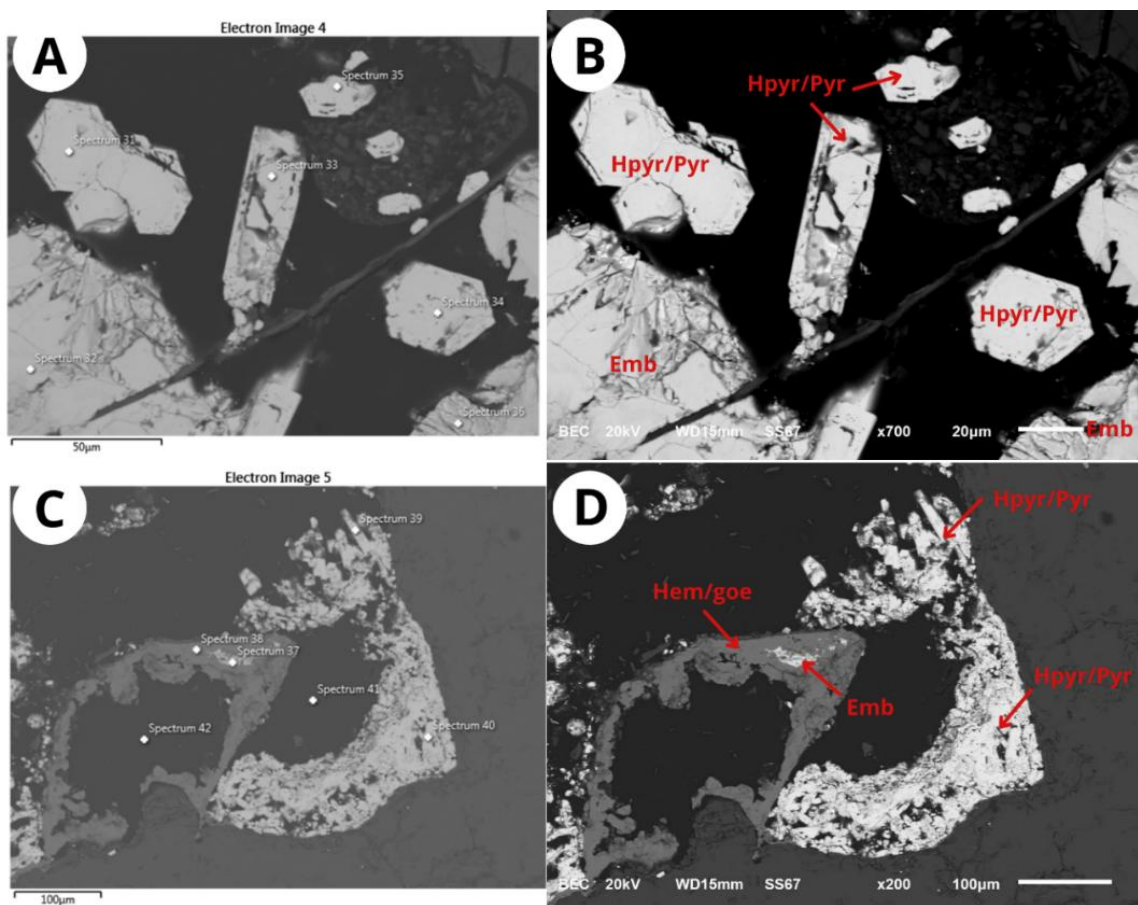
A embreyita é um mineral raro pertencente ao grupo dos fosfatos e cromatos de chumbo, descoberto e descrito pela primeira vez em amostras de museu provenientes da zona oxidada de veios de quartzo auríferos em Beresovsk, na Rússia, este mineral apresenta uma cor que varia do laranja opaco ao vermelho-violeta, vermelho escuro e marrom avermelhado, exibindo um brilho vítreo a resinoso e um traço amarelo. Em seções finas, a cor é predominantemente laranja, com pleocroísmo que varia de amarelo-mel a âmbar (Anthony et al., 2001).

A sua dureza é de 3,5 na escala de Mohs, sendo um mineral translúcido a transparente e de tenacidade frágil. Sua densidade medida é aproximadamente 6,45 g/cm³, ligeiramente superior ao valor calculado de 6,41 g/cm³. Este mineral se forma em associação com outros minerais, como piromorfita, crocoíta, vauquelinita, mimetita e cerussita (Anthony et al. 2001). Quimicamente, a embreyita é composta por uma combinação de óxidos de cromo e fósforo, juntamente com óxidos de chumbo e uma pequena quantidade de água. As análises por microsonda eletrônica e absorção atômica em amostras descritas no trabalho de Williams, S.A

(1972) confirmam esta composição, com PbO (74,73), CrO3 (13,46%), P2O5 (9,13%) e CuO (1.71%) sendo os principais constituintes.

A embreyita foi identificada na amostra LSC34 através de análise em MEV-EDS, associada a piromorfita/hidroxipiromorfita, óxido de ferro e quartzo (Figura 27). Os resultados de análise química do mineral estão representados no quadro 8. Devido ao fato de o equipamento utilizado não quantificar o hidrogênio, foi utilizado o valor teórico.

Figura 27: Imagem em MEV da amostra LSC34, com cristais de embreyita associados a óxido de ferro e piromorfita/hidroxipiromorfita e os respectivos espectros representados no quadro 8.



Fonte: Adaptado de Lmic.

Quadro 8: Resultado da análise química para embreyita em MEV-EDS.

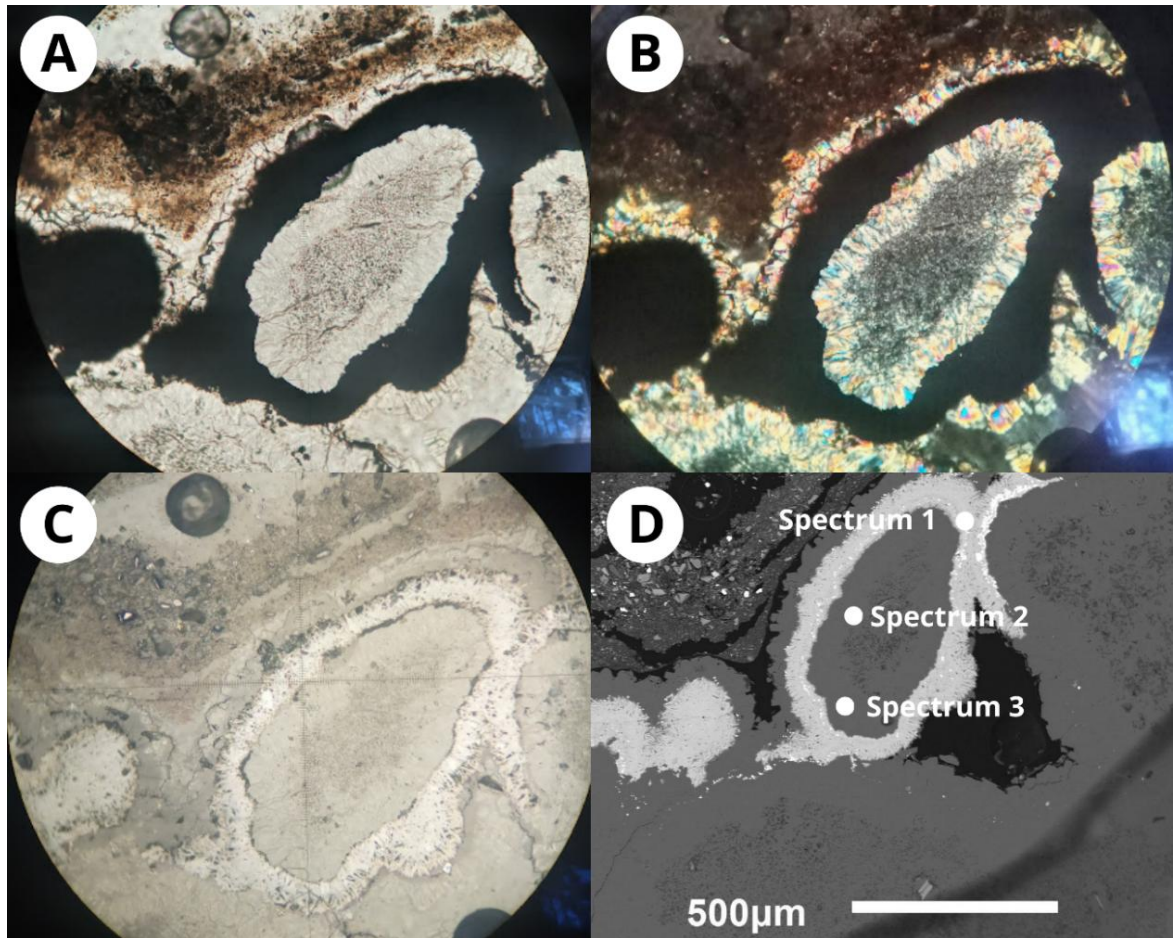
Elem. (% massa nomr.)	PbO	PO₄	Cr₂O₃	CuO	Fe₂O₃	As₂O₃	Fórmula química calc. (aprox.)
Spec. 32	77,86	8,22	10,88	3,05			$Pb_5(Cr_{0,78}O_4)_2(P_{0,65}O_4)_2(Cu_{0,55}O)$
Spec. 36	78,55	7,65	10,78	1,81		1,22	$Pb_5(Cr_{0,76}O_4)_2(P_{0,58}As_{0,05}O_4)_2(Cu_{0,33}O)$

Os valores encontrados se assemelham aos valores teóricos, porém com substituição parcial por cobre.

5.1.6 – Gibbsita Al_2O_3

O mineral foi identificado na amostra LSC36 associado a um mineral opaco, com feições típicas de alteração, possivelmente hidrotermal. Em microscopia de luz transmitida a nicóis descruzados o mineral é incolor, de relevo médio a alto e não apresenta pleocroísmo (Figura 28 A). A nicóis cruzados a birrefringência é baixa, com cores de interferência de 1º ordem (Figura 28 B). Após a análise química em MEV-EDS foi constatado que trata-se de um óxido de alumínio com traços de prata, fósforo e ferro, e o mineral opaco que ocorre nas bordas do mineral é composto por óxido de manganês e alumínio com cobalto, cobre e fósforo (Quadro 9).

Figura 28: Imagem dos agregados minerais da lâmina LSC36: A) microscopia de luz transmitida a nicóis descruzados; B) microscopia de luz transmitida a nicóis cruzados; C) microscopia de luz refletida a nicóis descruzados; D) MEV com os respectivos espectros em EDS.



Fonte: O autor; Lmic.

Quadro 9: Resultado da análise química em MEV-EDS.

Elemento (% massa nomr.)	Al ₂ O ₃	MnO	Co	Ag	P	Cu	Fe	Total
Spectrum 1	34,66	54,03	7,4		2,9	1,00		100
Spectrum 2	96,65			1,19	1,86		0,29	100
Spectrum 3	96,48			1,22	1,91		0,39	100

5.1.7 Mottramita $PbCu(VO_4)(OH)$

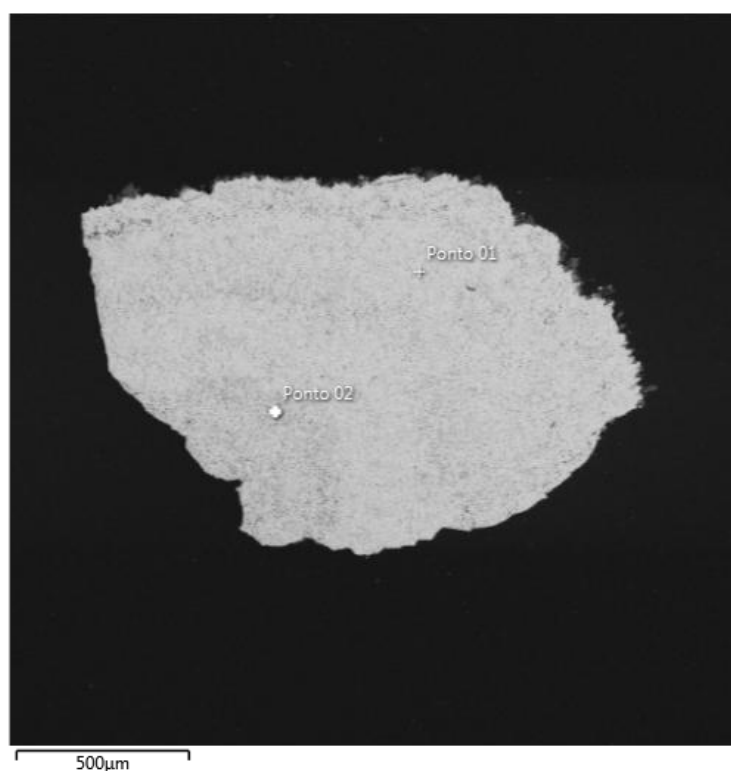
A mottramita é classificada como um vanadato de chumbo e cobre do grupo da descloizita, normalmente associado à oxidação de depósitos de sulfetos metálicos. Sua cor varia

entre verde escuro, verde oliva, marrom e preto. A mottramita possui sistema cristalino ortorrômbico e uma dureza entre 3 e 3,5 na escala de Mohs.

Trata-se de um mineral secundário, encontrado em regiões ricas em minerais de vanádio, como depósitos de vanadatos ou sulfetos metálicos que passaram por processos de alteração hidrotermal, podendo ocorrer associado a descloizita, duftita, galena, mimetita, cerussita, wulfenita, arsenopirita, vanadinita, piromorfita, entre outros minerais (John W. *et al.*, 2005).

A ocorrência de mottramita na região de Sumidouro foi confirmada a partir de análise em MEV-EDS de um fragmento do mineral selecionado a partir do concentrado de bateia. A morfologia do grão está representado na figura 29 e o resultado de análise química no quadro 10. Como o equipamento utilizado não realiza a quantificação do hidrogênio devido a sua volatilidade, foi utilizado o valor teórico de acordo com o balanço de oxigênio.

Figura 29: Imagem do grão de mottramita em MEV.



Fonte: Central de Microscopia – USP. Imagem cedida por Daniel Atencio.

Quadro 10: Resultado da análise química em MEV-EDS.

Elemento (% massa nomr.)	PbO	V₂O₅	CuO	ZnO	Total	Fórmula química calc. (aprox.)
SC 39-05 – P1	58,52	21,70	14,42	5,36	100	$\text{PbCu}_{0,78}\text{Zn}_{0,28}(\text{V}_{0,92}\text{O}_4)(\text{OH})^*$
SC 39-05 – P2	56,95	21,29	15,86	5,90	100	$\text{PbCu}_{0,69}\text{Zn}_{0,27}(\text{V}_{0,92}\text{O}_4)(\text{OH})^*$

*Valor de (OH) teórico.

6. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A assembleia mineralógica é composta principalmente por ouro, stolzita, galena, anglesita, piromorfita, hidroxipiromorfita, embreyita, mottramita, quartzo e óxido de ferro.

Associação metalogenética: Au-Ag-W-As-Sr-Sb-Mo-Co-Cu-Sr-V-S

O principal minério de chumbo descrito foi a galena, comumente presente em depósitos hidrotermais. Durante o processo de oxidação, a galena se altera para formar minerais secundários como anglesita e cerussita. A presença de galena é indicativa de condições sulfídicas pré-oxidação (Cook *et al.*, 2009), já a presença de anglesita é um indicador claro de zonas de oxidação em depósitos contendo chumbo (Palache *et al.*, 1951).

Os resultados comprovam a ocorrência de piromorfita e hidroxipiromorfita na região, provavelmente formados pela substituição de fosfatos em minerais de chumbo oxidado. A piromorfita é um mineral importante na zona de supergenese dos depósitos hidrotermais e é frequentemente associada com stolzita em ambientes com tungstênio no sistema, devido à similaridade química (Mindat.org, 2023).

As análises petrográfica e em MEV-EDS confirmam a ocorrência de stolzita na região, sendo a única ocorrência catalogada no Brasil, de acordo com o Mindat. A ocorrência de stolzita é conhecida principalmente como mineral secundário em zonas oxidadas de depósitos hidrotermais que contêm tungstênio e chumbo. Devido a sua temperatura de transformação irreversível a partir da raspita a 400°C (Westfahl, 1977), é provável se tratar de ambiente mesotermal, de acordo com a classificação de Groves *et al.* (1998), caracterizado por profundidade entre 6 e 12 km e temperatura entre 300°C e 470°C.

Além do presente trabalho confirmar a ocorrência de stolzita, raspita, piromorfita e galena na área de estudo através de análises petrográficas e em MEV-EDS, também acrescenta a ocorrência de hidroxipiromorfita, mottramita e embreyita. A ocorrência de mottramita é de extrema importância, pois até o momento só havia relato de ocorrência do vanadato no Brasil em Brumado-Ba (Mindat), trazendo novas questões sobre o ambiente de formação do mineral no contexto geológico local.

A área de estudo, de onde foram coletadas as amostras analisadas neste trabalho, está inserida no Grupo Sabará, que, juntamente com o Grupo Itacolomi, compõe uma sucessão

metassedimentar formada em ambientes marinhos e continentais. Essa sucessão é caracterizada por depósitos do tipo flysch e molassa, associados a processos sin-orogênicos (Teixeira da Costa, 1961; Dorr, 1969).

O Grupo Sabará, domínio no qual está inserida a área na qual foram retiradas as amostras descritas no presente trabalho, juntamente com o Grupo Itacolomi, representam uma sucessão metassedimentar marinha e continental do tipo *flysch* e molassa sin-orogênicos (Teixeira da Costa, 1961; Dorr, 1969). Uma sucessão do tipo flysch refere-se a uma sequência sedimentar composta por arenitos, siltitos e folhelhos intercalados, frequentemente depositados em bacias de antepaís ou prismas de acreção durante eventos tectônicos ativos. Essas sucessões estão associadas a ambientes turbidíticos, onde fluxos de detritos subaquáticos transportam e depositam sedimentos em profundidade, geralmente em resposta à orogenia (Mutti & Ricci Lucchi, 1972). Embora a Bacia Sabará tenha sido formada em um contexto predominantemente sedimentar, sua deformação posterior e a presença de sistemas hidrotermais podem ter contribuído para a mobilização e enriquecimento secundário de Au, W e Pb.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F. F. & Marshak S.. 1998. The transamazonian orogeny in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil: Paleoproterozoic collision and collapse in the Southern São Francisco craton region. *Prec. Res.* 90, p.29-58;
- Almeida F.F.M,1976. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(4): 349-364.
- Anthony, J. W. et al. Pyromorphite. In: *Handbook of Mineralogy: Volume 4*. Tucson, Arizona: Mineral Data Publishing, 2001.
- Audi, G., Bersillon, O., Blachot, J., & Wapstra, A. H. (2003). The NUBASE Evaluation of Nuclear and Decay Properties. *Nuclear Physics A*.
- Babinski M., Chemale Jr. F., Van Schmus W. R.. 1995. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Prec. Res.* 72, 235–245;
- Balcells, F. V. (2019). Mimetita de la mina “Casandra”, Ribes de Freser, vall de Ribes, el Ripollès, Girona. *Mineralogistes de Catalunya*, (1), 27-32.
- Baltazar, O.F.; Baars F.J.; Lobato, L.M.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Berni, G.V.; Silveira, V.D. 2005. Mapa Geológico Mariana na Escala 1:50.000 com Nota Explicativa. In: *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com nota explicativa*. Lobato et al.(2005) CODEMIG. Belo Horizonte
- Baltazar O. F. & Pedreira A. J.. 1998. Associações litofaciológicas. In: M. Zucchetti & O. F. Baltazar (Org.). *Projeto Rio das Velhas: Texto explicativo do mapa geológico integrado*. Escala 1:100.000. Convênio DNPM/ CPRM, Belo Horizonte;
- Baltazar, O.F., Zucchetti, M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas *greenstone belt*, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Review*, 32: 471–499.
- Baptista N.R., Baptista A. 1986. Amálgama de Ouro, uma Possível Nova Espécie Mineral, de Sumidouro de Mariana, Estado de Minas Gerais. Departamento de Química, Instituto de Engenharia Nuclear, Comissão Nacional de Energia Nuclear. *Annaes da Academia Brasileira de Ciências (RJ) Ano 1986 Edição 3(4)*.
- Bastians, S., Crump, G., Griffith, W. P., & Withnall, R. (2004). Raspite and studtite: Raman spectra of two unique minerals. *Journal of Raman Spectroscopy*, 35(8-9), 726-731.
- Biglia, Marco E, Lira, Raúl, & Sfragulla, Jorge A. (2016). Nuevos datos mineralógicos, petrográficos y metalogenéticos del distrito minero Água de Ramón, departamento Minas, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 73(2), 225-241.
- Bonewitz R. L. (2012). *Smithsonian Nature Guide Rocks and Minerals First Edition* DK Publishing 351p.
- Bonewitz R. L. (1996) *Rocks & Minerals* 71: 160-161.
- Cook, N. J., Ciobanu, C. L., Pring, A., Skinner, W., Shimizu, M., Danyushevsky, L., & Saini-Eidukat, B. (2009). Trace and minor elements in galena: A reconnaissance LA-ICP-MS study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73(13), 3511-3532.
- Cotton, F. A., & Wilkinson, G. (1988). *Advanced Inorganic Chemistry*. New York.
- Dorr J. V. N. II, Gair J. E., Pomerene J. B., Rynearson G. A.. 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. *Brazil Depart. Nac. Produção Mineral, Div. Fomento Produção Mineral, Avulso 81*, 31p.;

- Dorr J. V. N. II. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U. S. Geological Survey Prof. Paper 641-A, 110p.;
- Duarte, L. D. C., Juchem, P. L., Pulz, G. M., Brum, T. M. M. D., Chodur, N. L., Liccardo, A., Fisher, A. D., Acauan, R. B. (2003). Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e sistema de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas exemplos brasileiros. Pesquisas em Geociências. Porto Alegre, RS. Vol. 30, n. 2 (2003), p. 3-15.
- Emsley, J. (2001). "Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements." Oxford University Press.
- Endo I., Galbiatti H. F., Delgado C. E. R., Oliveira M. M. F. de, Zapparoli A. de C., Moura L. G. B. de, Peres G. G., Oliveira A. H. de, Zavaglia G., Danderfer Fº A., Gomes C. J. S., Carneiro M. A., Nalini Jr. H. A., Castro P de T. A., Suita M. T. de F., Tazava E., Lana C. de C., Martins-Neto M. A., Martins M. de S., Ferreira Fº F. A., Franco A. P., Almeida L. G., Rossi D. Q., Angeli G., Madeira T. J. A., Piassa L. R. A., Mariano D. F., Carlos D. U.. 2019a. Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000: Uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969).Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br;
- Endo I., Delgado C. E. R. Oliveira M. M. F. de, Zapparoli A. de C., Carlos D. U., Galbiatti H. F., Castro P. de T. A., Suita M. T. de F., Barbosa M. S. C., Lana C. E., Moura L. G. B. de. 2019b. Estratigrafia e Arcabouço Estrutural do Quadrilátero Ferrífero: Nota Explicativa do Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000. Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br
- Farina, F., Albert, C., Dopico, C.M., Gil, C.A., Moreira, H., Hippertt, J.P., Cutts, K., Alkmim, F., Lana, C. 2015. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): current models and open questions. *The Journal of South American Earth Sciences*, 68: 4–21
- Figueiredo, T. D. (2020). Caracterização do minério da mina Extremo norte e do mineral piromorfita. Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 109p.;
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., and Robert, F., 1998, Orogenic gold deposits—a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types: *Ore Geology Reviews*, v. 13, p. 7–27.
- Guimarães, D.; Coelho, I. S. Nota preliminar sobre as jazidas de minerais tungstênicos em Sumidouro, Mariana - Minas Gerais. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 1944. p. 13-42 (Avulso 60).
- Han, Z., Golev, A., & Edraki, M. 2021. A review of tungsten resources and potential extraction from mine waste. *Minerals*, 11(7), 701.
- Hazen, R.M., L.W. Finger, and J.W.E. Mariathasan (1985) High-pressure crystal chemistry of scheelite-type tungstates and molybdates. *J. Phys. Chem. Solids*, 46, 253–263.
- Heineck, C. A.; Silva, J. N. D. Capítulo Metalogenia. In: Baltazar, O. F.; Raposo, F. O. (orgs.). Mariana Folha SF.23- X-B-I: estado de Minas Gerais. Brasília: DNPM; CPRM, 1993. p. 161-168. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/8634>.
- Hlawatsch, C. 1905 Der Raspit von Sumidouro, Minas Geraes (Brasilien). *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie*, Stuttgart: 423-428.
- Hussak, E. 1903 Ueber den Raspit von Sumidouro, Minas Geraes (Brasilien). *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie*, Stuttgart: 723-725.
- John W. Anthony, Richard A. Bideaux, Kenneth W. Bladh, and Monte C. Nichols, Eds., *Handbook of Mineralogy*, Mineralogical Society of America, Chantilly, VA 20151-1110, USA. <http://www.handbookofmineralogy.org/>.”

- Keim, M. F.; Markl, G. Weathering of Galena: Mineralogical Processes, Hydrogeochemical Fluid Path Modeling, and Estimation of the Growth Rate of Pyromorphite. *American Mineralogist*, [s.l.], v. 100, n. 7, p. 1584-1594, jul. 2015. Mineralogical Society of America
- Kingsbury, Arthur W. G., Hartley, J. (1956) New occurrences of vanadium minerals (mottramite, descloizite, and vanadinite) in the Caldbeck area of Cumberland. *Mineralogical Magazine and Journal of the Mineralogical Society*, 31 (235) 289-295
- Klein, C. & Dutrow, B. 2012. *Manual de Ciências dos Minerais* (23ª edição). Tradução e revisão técnica: Rualdo Menegat. Editora Bookman, Porto Alegre, Brasil, 716 p.
- Lassner, E., & Schubert, W. D. (1999). *Tungsten: Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys, and Chemical Compounds*. Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Lindgren, W. 1933. *Mineral Deposits*. 1 ed. New York, McGraw-Hill. 930 p.
- Lobato, L.M., Ribeiro-Rodrigues, L.C., Costa, M.N. de S., Martins, R., Lehne, E., Alves, J.V., Tassinari, C.C.G., Vieira, F.W.R., Biasi, E.E., Figueiredo e Silva, R.C., Pereira, V.C.A., Noce, C.M. 2001. Geologia do depósito de ouro Cuiabá, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: H., J., A., B.J., Queiroz, E.T. (eds.). *Caracterização de Depósitos Auríferos Em Distritos Mineiros Brasileiros*. Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM)/ Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira (ADIMB), p. 3-77.
- Lobato, L.M., Renger, F.E., Silva, R.C.F., Rosiere, C.A., Baars, F.J., Rolin, V.K. 2014. Metalogênese do setor meridional do Cráton São Francisco. In: Silva, M.G., Neto, M.B.R., Jost, H., Kuyumjian, R.M. (eds.). *Metalogênese Das Províncias Tectônicas Brasileiras*. Belo Horizonte, p. 119-140.
- Marsden, J., & House, I. (2006). *The Chemistry of Gold Extraction*. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Mariana (MG). In: ENCICLOPÉDIA dos municípios brasileiros. Rio de Janeiro: IBGE, 1959.v.26.p.49-57. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv27295_26.pdf. Acesso em: jun. 2023.
- Mutti, E., & Ricci Lucchi, F. (1978). Turbidites of the northern Apennines: introduction to facies analysis. *International Geology Review*, 20(2), 125-166. <https://doi.org/10.1080/00206817809471524>
- Needleman, H. (2004). "Lead Poisoning." *Annual Review of Medicine*, 55, 209-222.
- Palache, C., H. Berman, and C. Frondel (1951) *Dana's system of mineralogy*, (7th edition), v. II,
- Pereira, R. M. & Ávila, C. A. (1996). Distribuição e aspectos metalogenéticos das ocorrências de scheelita no Pré-Cambriano do Estado de Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 4(2): 69-80.
- Reed, S. J. B. 1996. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*, New York, Cambridge University Press, 201p.
- Shackelford, J. F. (2001). *Materials Science and Engineering Handbook*. CRC Press.
- Shaw, R., Claringbull, G.F. 1955. X-ray study of raspite (monoclinic PbWO₄). *Mineralogical Society (London)*
- Simmons G. C. & Maxwell C. H.. 1961. Grupo Tamanduá da Serie Rio das Velhas: Brazil Dept. Nac. Produção Mineral, Div. Geol. e Min., Bol. 211, 30 p.;
- Tadin, F. A. Estudo da Eficiência do Fosfato Monoamônico na Formação da Piromorfita. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais, Departamento de Física e Química, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2005.

Teixeira, W., Sabate, P., Barbosa, J., Noce, C.M., Carneiro, M.A. 2000. Archean and Paleoproterzoic tectonic evolution of the Sao Francisco Craton, Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Fo, A., Campos, D.A. (eds.). Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, p. 101–137.

Teixeira da Costa M. 1961. Sedimentação e orogênese da Série de Minas: Ouro Preto, SICEG. Soc. Interc. Cult. e Est. Geol., nº. 1, p. 55-61;

Vial, D. S.; DUARTE, B. P.; FUZIKAWA, K.; VIEIRA, M. B. H. An epigenetic origin for the Passagem de Mariana gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Ore Geology Reviews, v. 32, n. 3-4, p. 596-613, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.03.01>

Westfahl, D.E. (1977). The crystal structure of raspite, PbWO₄. Master of Science Thesis, Colorado School of Mines.

Zucchetti, M., Baltazar, O.F. 2000. Projeto Rio das Velhas - Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100.000. 2nd ed. Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRMServiço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, Brazil, 121 p.

Xu K, Xue J, Ding Y, Lu G (1995) Discovery of stolzite in China and refinement of its crystal structure, Acta Geologica Sinica, 8, 111-116

de
48222016000200006&lng=es&tlng=es.

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-