

Distrito Pegmatítico de Santa Maria de Itabira (Minas Gerais) e seus depósitos de minerais de berílio

Santa Maria de Itabira Pegmatite District (Minas Gerais) and its deposits of beryllium minerals

Distrito Pegmatítico de Santa Maria de Itabira (Minas Gerais) y sus depósitos de minerales de berílio

Recebido: 27/05/2023 | Revisado: 13/05/2023 | Aceitado: 14/06/2023 | Publicado: 18/06/2023

Coralie Heinis Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6294-5059>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: coralie.dias@uemg.br

Mario Luiz de Sá Carneiro Chaves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8486-9074>

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: sacarneiro.70@gmail.com

Resumo

A Província Pegmatítica Oriental do Brasil (PPOB) constitui uma extensa região situada na maior parte a leste do estado de Minas Gerais, onde ocorrem rochas graníticas com pegmatitos associados, muitas vezes representando importantes depósitos minerais. Esta província envolve distritos pegmatíticos com características peculiares em termos geográficos e geotectônicos. Dentre eles, o Distrito de Santa Maria de Itabira é mais meridional, sendo geologicamente pouco conhecido; seu interesse econômico é voltado principalmente para minerais de berílio, como berilo (água-marinha e esmeralda) e crisoberilo (alexandrita). O presente trabalho objetiva a descrição e a caracterização das principais áreas mineralizadas desse distrito, a partir da bibliografia disponível e de novos dados geológicos. Os depósitos são divididos em três campos pegmatíticos designados Itabira–Nova Era, Santa Maria de Itabira–Hematita e Ferros–Esmeraldas de Ferros. O primeiro constitui uma faixa principalmente esmeraldífera de grande potencial econômico, cujos depósitos mais importantes são os de Belmont, Piteiras e Capoeirana. O segundo campo pegmatítico (Santa Maria de Itabira–Hematita) apresenta pegmatitos de importância econômica para a produção de água-marinha, destacando-se os depósitos Ponte da Raiz, Morro Escuro, Jatobá e Tatu, nas imediações de Santa Maria de Itabira, além de pegmatitos produtores de alexandrita, no município de Antônio Dias. O terceiro campo (Ferros–Esmeraldas de Ferros) possui na atualidade poucas atividades minerárias, embora já tenha produzido cristais gigantes de topázio, além de ter sido o local de descoberta de esmeraldas em Minas Gerais. Os resultados obtidos apontam para as peculiaridades mineralógicas deste distrito em relação aos demais da PPOB.

Palavras-chave: Pegmatitos; Berílio; Minerais gemológicos.

Abstract

The Eastern Brazilian Pegmatite Province (EBPP) constitutes a wide region located almost entirely at the eastern portion of the Minas Gerais State, where granitic rocks and associated pegmatites occur and commonly represent important mineral deposits. This mineral province encompasses pegmatite districts with peculiar features in geographic and geotectonic terms. Among them, the Santa Maria de Itabira District represents the most southerly and it's not very well known in geologic terms; its economic relevance is related mainly to beryllium minerals as beryl (emerald and aquamarine) and chrysoberyl (alexandrite). This paper aims to describe and characterize the main mineralized areas in the district, from literature available and new geological data. Deposits are divided in three pegmatite fields designated Itabira–Nova Era, Santa Maria de Itabira–Hematita and Ferros–Esmeraldas de Ferros. The first one constitutes mainly an emeraldiferous belt of great economic potential, in which the most important deposits are those of Belmont, Piteiras and Capoeirana. The second pegmatite field (Santa Maria de Itabira–Hematita) presents pegmatites of economic importance for aquamarine production, emphasizing Ponte da Raiz, Morro Escuro, Jatobá and Tatu deposits, nearby Santa Maria de Itabira, besides pegmatites producing alexandrite at Antônio Dias. The third field (Ferros–Esmeraldas de Ferros) has nowadays few mining activities, although have already produced giant topaz crystals, in addition to have been the site of first emerald discovery in Minas Gerais. The results obtained point to mineralogical peculiarity of the district in relation to other in the EBPP.

Keywords: Pegmatites; Beryllium; Gem minerals.

Resumen

La Provincia Pegmatítica Oriental de Brasil (PPOB) constituye una vasta región situada en la mayor parte a este del Estado de Minas Gerais, donde ocurren rocas graníticas con pegmatitos asociados, muchas veces representando importantes depósitos minerales. Esta provincia involucra distritos pegmatíticos con características peculiares en términos geográficos y geotectónicos. Entre ellos, el Distrito de Santa Maria de Itabira es el más meridional y geológicamente poco conocido; su interés económico es orientado principalmente a minerales de berilio, como berilo (agua marina y esmeralda) y crisoberilo (alejandrita). Este trabajo objetiva la descripción y la caracterización de las principales áreas mineralizadas, a partir de la bibliografía disponible y nuevos datos geológicos. Los depósitos se dividen en tres campos pegmatíticos designados Itabira–Nova Era, Santa Maria de Itabira–Hematita y Ferros–Esmeraldas de Ferros. El primer constituye principalmente una faja esmeraldífera de gran potencial económico, cuyos más importantes depósitos son los de Belmont, Piteiras y Capoeirana. El segundo campo pegmatítico (Santa Maria de Itabira–Hematita) presenta pegmatitos de importancia económica para la producción de agua marina, destacándose los depósitos Ponte da Raiz, Morro Escuro, Jatobá y Tatu, en las inmediaciones de Santa Maria de Itabira, además de pegmatitos productores de alejandrita, em el municipio de Antônio Dias. El tercer campo (Ferros–Esmeraldas de Ferros) posee en la actualidad pocas actividades mineras, aunque ya haya producido cristales gigantes de topacio, además de haber sido el lugar de descubrimiento de esmeraldas en Minas Gerais. Los resultados obtenidos apuntan para las peculiaridades mineralógicas de este distrito en relación con los demás de la PPOB.

Palabras clave: Pegmatitos; Berilio; Minerales gemológicos.

1. Introdução

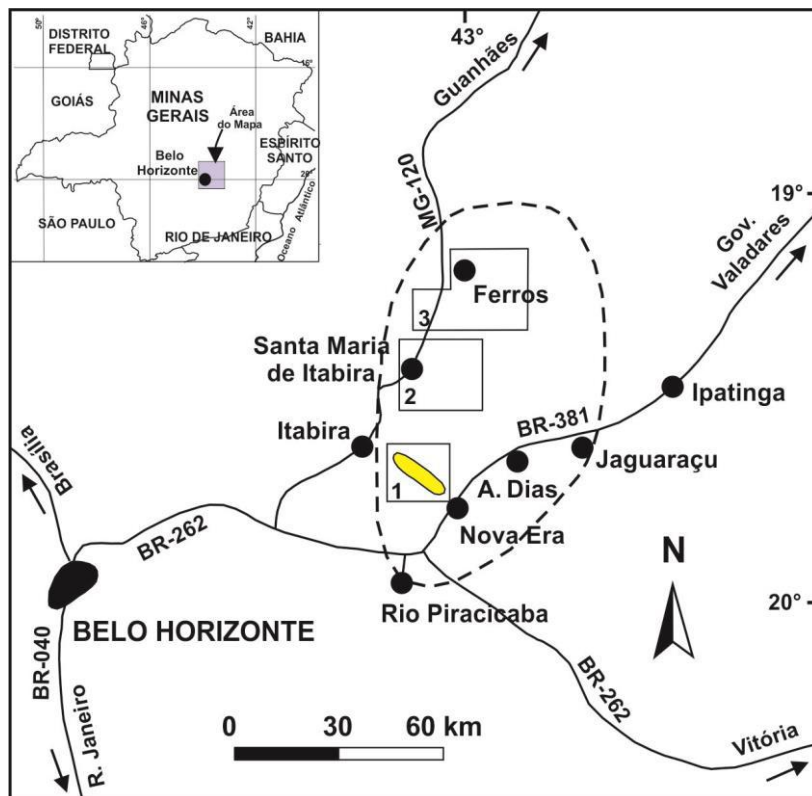
A Província Pegmatítica Oriental do Brasil (PPOB) possui um enorme potencial econômico por sua produção de minerais industriais, de coleção, gemológicos, além de minerais raros, envolvendo distritos pegmatíticos com aspectos característicos em termos geográficos e geológicos. Tal província mineral foi caracterizada por diversos autores (e.g. Paiva, 1946; Correia-Neves et al., 1986), juntamente com as províncias Nordeste e Sul do país, porém certamente constitui a mais extensa e a de maior potencial econômico, abrangendo partes dos estados de Minas Gerais, Bahia e Espírito Santo. O principal interesse pela província, foco de centenas de publicações científicas relacionadas, é sua enorme diversidade mineralógica, o que levou ao surgimento progressivo de inúmeras lavras com variados portes por toda região.

Em função da distribuição geográfica dos tipos de pegmatitos, bem como suas relações com as rochas encaixantes e os granitos parentais, assim como suas idades e principais recursos minerais, Pedrosa-Soares et al. (2011, 2022) descreveram onze distritos pegmatíticos no designado Orógeno Araçuá: Pedra Azul, Padre Paraíso, Araçuá, Ataléia, São José da Safira, Conselheiro Pena, Malacacheta, Santa Maria de Itabira, Caratinga, Espera Feliz e Espírito Santo. Todos eles apresentam produção ou ocorrências de minerais gemológicos e de coleção, bem como muitos novos minerais foram descritos para a ciência em depósitos desta região, como a brazilianita.

O Distrito Pegmatítico de Santa Maria de Itabira (DPSM, delimitado na Figura 1), conforme designação original de Netto et al. (1998), constitui a área pegmatítica mais ao sul da província, tendo seus limites meridionais mesclados com os depósitos minerais pertencentes ao Quadrilátero Ferrífero. Alguns autores o denominam ainda como “Distrito Pegmatítico Nova Era-Itabira-Ferros” (Preinfalk et al., 2002), “Província Esmeraldífera de Itabira” (Delgado, 2007) ou ainda “Distrito Itabira-Nova Era” (Viana et al., 2006; Jordt-Evangelista et al., 2016), mas como a área enfocada é muito mais ampla e com maior variedade mineralógica, prefere-se aqui manter sua definição original, além de limitar o conjunto de depósitos de esmeralda da faixa Itabira-Nova Era a uma unidade hierárquica menor, ou seja, um “campo pegmatítico”.

Minerais de berílio constituem o mais importante alvo de pesquisas e exploração no DPSM, destacando-se berilo ($\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$) de qualidade industrial e gemológica, em suas variedades água-marinha e esmeralda, crisoberilo (BeAl_2O_4) e sua variedade alexandrita, além dos minerais raros fenakita (Be_2SiO_4) e milarita ($\text{K}_2\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Be}_4\text{Si}_{24}\text{O}_{60}\cdot\text{H}_2\text{O}$). O presente trabalho objetiva a descrição e a caracterização das principais áreas mineralizadas desse distrito, a partir da bibliografia disponível e de novos dados geológicos.

Figura 1 - Localização e acesso a partir de Belo Horizonte (MG) ao Distrito Pegmatítico de Santa Maria de Itabira, com seus limites aproximados em tracejado. Mapas em detalhe: 1 - Campo Esmeraldífero Itabira-Nova Era; em destaque (amarelo) a área principal de distribuição dos depósitos esmeraldíferos nesse contexto; 2 - Campo Pegmatítico Santa Maria de Itabira-Hematita; 3 - Campo Pegmatítico Ferros-Esmeraldas de Ferros.



Fonte: Mapa dos autores.

A Figura 1 apresenta as áreas de distribuição dos depósitos minerais associados ao DPSM, com os três mais importantes campos mineralizados nesse contexto: Itabira–Nova Era, Santa Maria de Itabira–Hematita e Ferros–Esmeraldas de Ferros.

2. Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, de natureza aplicada, através de uma revisão bibliográfica seguida por uma pesquisa de campo. De acordo com Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa qualitativa preocupa-se com aspectos da realidade que não podem ser quantificados. Segundo Pereira et al. (2018), na pesquisa qualitativa é importante a interpretação por parte do pesquisador com suas opiniões sobre o fenômeno em estudo. Para Gil (2018), a pesquisa bibliográfica é criada tendo como fundamento um material já existente, como livros e artigos científicos, permitindo ao pesquisador uma gama de fenômenos muito mais ampla do que a que ele poderia gerar diretamente.

Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória, que buscou realizar a descrição e a caracterização das principais áreas mineralizadas desse distrito, distribuindo as mesmas em três campos pegmatíticos distintos com afinidades geográficas e mineralógicas, a partir da bibliografia disponível e de novos dados geológicos. Para a fundamentação teórica desta pesquisa, foram utilizados trabalhos acadêmicos já publicados, capazes de fornecer dados relevantes relacionados aos depósitos minerais existentes no DPSM, e também autores com reconhecida contribuição no que se refere à temática desta pesquisa. A estruturação dos diversos distritos pegmatíticos da PPOB baseia-se no trabalho de Netto et al. (1998). A fonte da coleta de dados foi a pesquisa de campo, buscando dados sobre os minerais produzidos atualmente e no passado. Para essa

coleta, foram realizadas visitas às principais localidades de cada um dos três campos pegmatíticos propostos.

3. Contexto Geológico Regional

As rochas mais antigas da região do DPSM pertencem ao Complexo Mantiqueira, de possível idade arqueana, composto por gnaisses e migmatitos que constituem o embasamento das demais unidades litoestratigráficas aflorantes na parte leste do distrito (Silva, 2000). Ocorrendo a oeste da região, separado por um grande batólito granítico da Suíte Intrusiva Borrachudos, tal sequência é provavelmente correlacionável ao Grupo Guanhães, o qual possui idade Rb-Sr (rocha total) de 2652 ± 199 Ma (Teixeira et al., 1990).

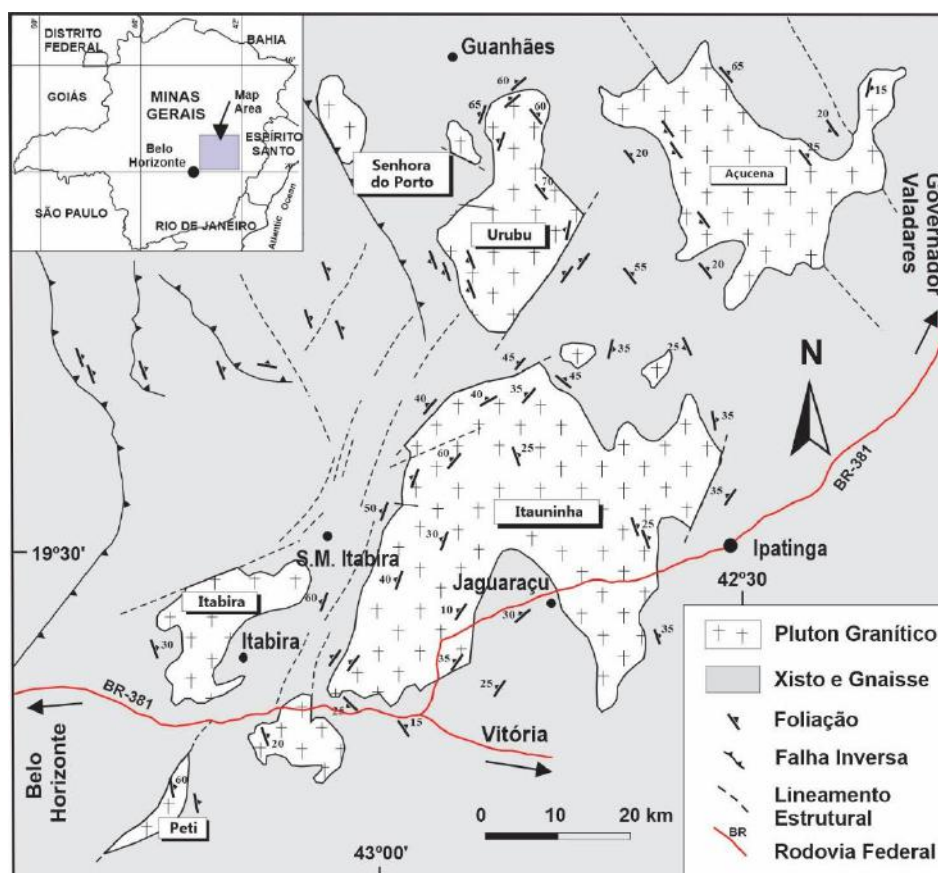
Da maior importância na porção ao sul da PPOB, a Suíte Borrachudos compreende um magmatismo alcalino e anorogênico (tipo A) desenvolvido por volta de 1,7 Ga (Dussin, 1994), que intruiu o embasamento granito-gnássico arqueano. Segundo esse autor, tal suíte formou-se pela fusão crustal induzida por diapirismo mantélico e/ou por magmas derivados do manto, os quais se relacionam à tectônica extensional ocorrida ao final do Paleoproterozoico, associada à abertura do Rife Espinhaço. A principal característica geológica dos pegmatitos do DPSM é a estreita ligação espacial com essas rochas granitoides.

Durante o Neoproterozoico tardio e o início do Paleozoico, no Ciclo Brasileiro (630-490 Ma), desenvolveu-se o Orógeno Araçuaí, que se estende da margem leste do Cráton São Francisco até o litoral atlântico, controlando a estruturação das unidades geológicas pré-existentes (Pedrosa-Soares et al., 2001, 2011). As rochas graníticas intrusivas presentes, incluindo pegmatitos, são agrupadas em cinco “supersuítas”, com base em características geoquímicas e petrológicas, bem como em dados geocronológicos U-Pb, designadas G1, G2, G3, G4 e G5. Tais conjuntos se associam a diferentes estágios de desenvolvimento do orógeno; G1 é pré-colisional (630-595 Ma), G2 é sin-colisional (585-560 Ma), G3 é colisional tardio a pós-colisional (545-520 Ma), e G4/G5 são pós-colisionais (535-490 Ma).

Os pegmatitos na PPOB constituem dois tipos genéticos: (1) anatéticos, formados pela fusão parcial das rochas regionais, e (2) residuais, formados a partir de fusões silicatadas resultantes da cristalização fracionada dos granitos geradores. A distribuição desses tipos de pegmatitos, bem como suas idades e características mineralógicas, levaram ao estabelecimento dos diversos distritos pegmatíticos ao longo do Orógeno Araçuaí. Pegmatitos nos distritos ao norte da província formaram-se como fusões residuais de granitos, principalmente dos tipos G2, G4 e G5. De outro modo, pegmatitos anatéticos, originados da fusão parcial de gnaisses, predominam nos distritos a sul e leste da província, como o de Santa Maria de Itabira (e.g. Correia-Neves et al., 1986; Pedrosa-Soares et al., 2001, 2011; Netto et al., 1998).

De tal maneira, enquanto a pegmatogênese nos outros distritos é evidente, por se associar a granitos intrusivos cujas idades brasileiras são incontestáveis, os corpos encontrados no DPSM ainda constituem objeto de discussões quanto às suas idades de emplacement, por estarem associados em campo a granitos mais antigos, da Suíte Borrachudos (Figura 2). Datações U-Pb (LA-ICPMS) recentes têm apontado para a existência da geração de pegmatitos e veios hidrotermais em duas idades distintas, a mais antiga mesoproterozoica, que podem consequentemente levar ao desmembramento do distrito do âmbito da PPOB (Chaves et al., 2023).

Figura 2 - Distribuição esquemática do magmatismo tipo-Borrachudos a nordeste de Belo Horizonte.



Fonte: Mapa dos autores.

A Figura 2 apresenta a distribuição esquemática do magmatismo tipo-Borrachudos a nordeste de Belo Horizonte, nas proximidades dos municípios de Santa Maria de Itabira, Itabira e Jaguarauçu.

4. Principais Depósitos do Distrito

Os mais importantes depósitos minerais do DPSM, sejam francamente pegmatíticos, sejam em veios pegmatóides quartzo-feldspáticos embutidos nas rochas encaixantes, são aqui incluídos em três campos com afinidades geográficas e mineralógicas, de sul para norte, designados Itabira–Nova Era, Santa Maria de Itabira–Hematita e Ferros–Esmeraldas de Ferros.

4.1 Campo Esmeraldífero Itabira–Nova Era

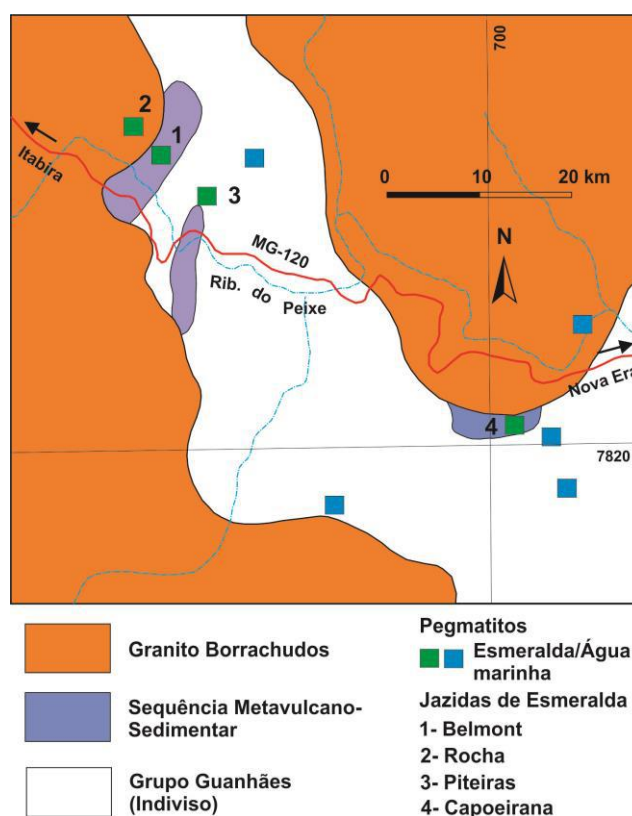
O principal foco de pesquisas nesse campo diz respeito às mineralizações esmeraldíferas, cujos maiores depósitos situam-se numa faixa NW-SE entre as cidades de Itabira e Nova Era, embora também ocorram pegmatitos ricos em água-marinha (Figura 3). Os depósitos de esmeralda, por sua notável importância econômica, têm atraído um grande número de estudos detalhados, como de doutorado (Machado, 1998), dissertações de mestrado (e.g. Souza, 1989; Machado, 1994; Viana, 2004; Delgado, 2007), artigos científicos (e.g. Souza et al., 1992; Preinfalk et al., 2002; Viana et al., 2006; Lynch et al., 2014; Jordt-Evangelista et al., 2016), além de artigos de divulgação gemológica (e.g. Epstein, 1989; Rondeau et al., 2003).

O mais antigo depósito de esmeralda conhecido em Minas Gerais é o de Santana de Ferros, atual município de Ferros, descoberto em 1920 (Cunha, 1961). A localização exata desse depósito foi perdida, embora provavelmente, pelas descrições

gerais contidas no artigo citado, possa corresponder à atual área de lavra de alexandrita da Fazenda Sossego, a oeste do vilarejo de Esmeraldas de Ferros, no aqui designado Campo Pegmatítico Ferros–Esmeraldas de Ferros. Esmeraldas só voltaram a ser encontradas na região em 1978, nas proximidades da estação ferroviária de Oliveira Fortes, município de Itabira.

Tal descoberta deu-se acidentalmente ao se escavar um açude em terras da Família Ribeiro, onde depois viria a se instalar a Mina Belmont, ainda operada por essa família. Nos arredores do vilarejo de Capoeirana (município de Nova Era), esmeraldas também foram encontradas por acaso, em meados de 1988; em cerca de seis meses de lavra mais de 1000 pessoas trabalhavam no local, o tornando provavelmente a principal área de produção da gema a nível mundial (Epstein, 1989). Descobertas mais recentes, através de pesquisa mineral, foram as das minas Piteiras e Rocha. A jazida Piteiras foi descoberta em 1998, e a Mina da Rocha, adjacente à Mina Belmont, iniciou suas operações em 2005 (Rondeau et al., 2003; Lynch et al., 2014). Os referidos achados definiram uma faixa esmeraldífera de grande potencial econômico, aqui designada como Campo Esmeraldífero Itabira–Nova Era (Figura 3).

Figura 3 - Geologia e depósitos pegmatíticos relacionados ao Campo Esmeraldífero Itabira–Nova Era.



Fonte: Parcial e modificado de Souza (1989), Machado (1994, 1998) e Rondeau et al. (2003).

A Figura 3 ilustra a geologia do Campo Esmeraldífero Itabira–Nova Era e depósitos pegmatíticos relacionados a ele, destacando as jazidas de esmeralda de Belmont, Rocha, Piteiras e Capoeirana.

A mineralização nos depósitos Belmont e Capoeirana (Figura 4A-B-C-D) situa-se na zona de contato de uma sequência metavulcanossedimentar intercalada no Grupo Guanhães com rochas graníticas foliadas do tipo-Borrachudos. A mineralização se concentra em xistos metaultramáficos, aos quais se associam corpos pegmatoides e veios de quartzo. As relações de campo indicam uma remobilização dos fluidos hidrotermais pelos corpos pegmatoides, ricos em berílio e oriundos dos granitos. Essa premissa é comprovada pelo fato de que os veios tornam-se mais ricos e abundantes à medida que se aproxima do contato com os granitos (Souza, 1989; Machado, 1994, 1998).

De acordo com Souza (1989), dois fatores essenciais controlaram a mineralização nos depósitos de Belmont e Capoeirana: (1) um controle estrutural, que é indicado pelos contatos falhados entre as duas sequências, bem como pelas fraturas por onde percolaram os fluidos ricos em berílio; (2) e um petrográfico, representado pelas intercalações dos xistos ultrabásicos ricos em cromo, responsáveis pela geração da cor verde intensa imposta ao berilo. Embora não tenha entrado em discussões a respeito, considerando a granitogênese Borrachudos como datada em ~1,7 Ga, tal idade também foi a suposta para a mineralização, o que depois foi sugerido por Machado (1994, 1998).

De modo semelhante, a mineralização em Piteiras concentra-se em um corpo tabular de atitude em torno de N30°W/35°SW, com 2-4 m de largura e dezenas de metros de extensão, composto por xisto ultramáfico rico em flogopita e Mg-hornblenda (Viana et al., 2006). Esse corpo, fortemente cisalhado, é intrudido por corpos pegmatíticos sintectônicos ricos em albita. A rocha encaixante é um paragnaisse bandado que faz parte de uma sequência metavulcanossedimentar, de possível idade arqueana, que foi atribuída por esses autores ao Supergrupo Rio das Velhas. A esmeralda é encontrada nos xistos e em veios de quartzo próximos aos pegmatitos. Somente na Mina da Rocha a mineralização é encontrada internamente aos granitos do tipo-Borrachudos, daí seu próprio nome.

Durante evento tectono-metamórfico regional (Brasiliano?) desenvolveu-se uma zona de cisalhamento numa camada ultramáfica da sequência metavulcanossedimentar, onde a deformação concentrou-se devido ao contraste reológico. Pegmatitos ácidos intrudiram esse corpo ultramáfico durante o cisalhamento e forneceram os fluidos que formaram a esmeralda por meio do berílio e silício neles contidos, em contato com o cromo presente nos xistos máficos. Preinfalk et al. (2002) determinaram uma idade de 1,9 Ga (transamazônica) para os granitoides encaixantes do nível mineralizado, e por conseguinte assumindo que essa seria a idade de uma primeira geração da mineralização esmeraldífera.

Figura 4 - A- Visão geral da área de exploração da Belmont Mineração mostrando à esquerda faixa de afloramentos de gnaisses do tipo-Borrachudos, e à direita faixa de exposição de xistos metaultramáficos. B- Entrada da mina subterrânea ora em operação. C- Veio pegmatóide rico em esmeralda. D- Veio de quartzo rico em esmeralda. E- Descida para o acesso à zona mineralizada no Garimpo de Capoeirana. F- Esmeralda produzida nesta jazida no dia da visita ao garimpo pelo segundo autor.



Fonte: Fotos M.L. Chaves.

A Figura 4 traz ilustrações das principais jazidas do Campo Esmeraldífero Itabira–Nova Era, com uma visão geral da área de exploração da Belmont Mineração, entrada da mina subterrânea de Belmont e do garimpo de Capoeirana e detalhes dos veios ricos em esmeralda, além de um cristal altamente gemológico recuperado na ocasião de visita por um dos autores.

4.2 Campo Santa Maria de Itabira–Hematita

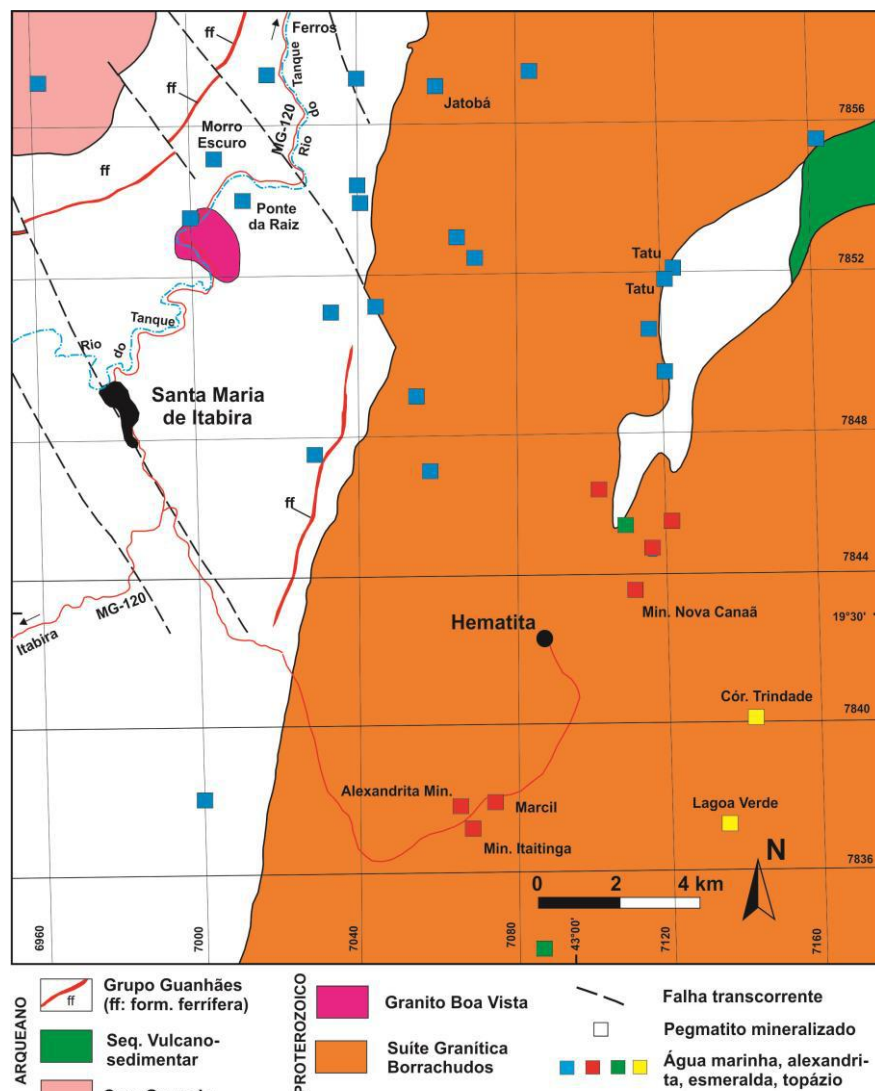
Situado na zona central do DPSM, o campo Santa Maria de Itabira–Hematita (Figura 5) envolve pegmatitos produtores principalmente de água-marinha nos arredores da primeira localidade, e de alexandrita, com menor importância topázio, esmeralda e água-marinha a sudeste, nas imediações do vilarejo de Hematita (município de Antônio Dias).

4.2.1 Depósitos de água-marinha

Esse campo pegmatítico apresenta diversos pegmatitos de grande importância econômica para a produção de água-marinha, destacando-se os depósitos Ponte da Raiz, ou Fazenda do Funil (coordenadas UTM 701195E / 7854045N), Morro Escuro, Jatobá e Tatu. O primeiro, minerado desde a década de 1930, foi estudado com maior detalhe, e zircões do corpo então objeto de lavra foram separados para datações geocronológicas U-Pb, realizadas por Chaves et al. (2023). Cristais gemológicos

de água-marinha, de coloração muito intensa, tornaram esse pegmatito mundialmente famoso na década de 1960, e sua exploração, bem como a de outros próximos, vem ocorrendo com períodos de interrupção desde aquela época.

Figura 5 - Geologia e depósitos pegmatíticos do Campo Santa Maria de Itabira–Hematita.



Fonte: parcial e modificado de Guimarães et al. (1996) – Folha Conceição do Mato Dentro, Oliveira e Leite (2000) – Folha Ipatinga, e Silva (2000) – Folha Coronel Fabriciano.

A Figura 5 ilustra a geologia do Campo Santa Maria de Itabira–Hematita e depósitos pegmatíticos relacionados a ele, predominando depósitos de água-marinha a norte/noroeste da área, e de alexandrita a sul e sudeste.

A geologia da área foi levantada pelo “Projeto Espinhaço” (Guimarães et al., 1996), a oeste, e pelo “Projeto Leste” (Oliveira & Leite, 2000; Silva, 2000), a leste. As rochas mais antigas foram atribuídas ao Grupo Guanhões, compreendendo gnaisses foliados muito erodidos e de possível idade arqueana (Teixeira et al., 1990). A leste da área aflora regionalmente parte de um grande batólito de rochas granitoides pertencentes à Suíte Borrachudos, ali representada pelo “Plúton Itauninha” (Dussin, 1994). Intrusivo em rochas do Grupo Guanhões, aparece um pequeno corpo granítico, pouco foliado, designado como “Granito Boa Vista” por Guimarães et al. (1996), de idade desconhecida (Figura 5).

O Pegmatito Ponte da Raiz (Figura 6A-B) corresponde a dois veios distintos, inferior e superior, subverticais e discordantes (Cassedanne et al., 1995). O inferior tem direção NE e mergulho forte para SE, com espessuras de 5-10 m. O

superior possui direção ~NS e mergulho forte para W, com espessura de 10 m. Ambos são zonados, pouco diferenciados e mostram núcleo de quartzo circundado por pequenos corpos albiticos de substituição. Além de água-marinha e berilo industrial, o corpo inferior tem produzido cristais de topázio cujos pesos ultrapassaram 100 kg (Figura 6C), juntamente com monazita-(Ce), apatita, amazonita, fluorita e columbita (Cassedanne et al., 1995). Esses autores ressaltaram a existência de uma paragênese primária com minerais de bismuto, constituída por cosalita, bismutinita e bismuto nativo, além de uma paragênese secundária variada, com bismutita, piromorfita, cerussita, stolzita, arsenolita e enxofre nativo.

Figura 6 - A- Visão geral da Fazenda do Funil, destacando a Lavra Ponte da Raiz. B- Detalhe local da antiga abertura da mina, inteiramente alagada na atualidade. C- Cristal “gigante” de topázio azul, com 19 x 17 x 11 cm encontrado na lavra.



Fonte: A e B - fotos C.H. Dias, C - Coleção Museu de Ciências da Terra – USP, in Cornejo e Bartorelli (2020).

A Figura 6 mostra uma visão geral da Fazenda do Funil, destacando a Lavra Ponte da Raiz, o local da antiga abertura da mina em detalhe, que encontra-se inteiramente alagada na atualidade, e um cristal “gigante” de topázio azul encontrado na lavra deste pegmatito.

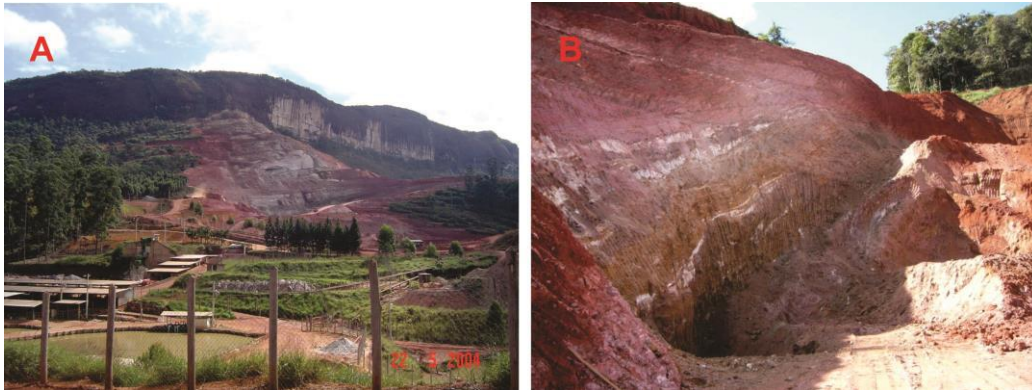
4.2.2 Depósitos de alexandrita

O primeiro depósito de crisoberilo alexandrita do DPSM foi descoberto acidentalmente em 1986, por garotos que brincavam em terras da Fazenda Liberdade, a SW do vilarejo de Hematita (município de Antônio Dias). Conforme informações locais, o pai de um deles levou as amostras achadas para vender em Governador Valadares, onde um comerciante de pedras reconheceu o material e dizendo-se “pronto para ajudar” pediu detalhes sobre o local. Somente três dias depois, cerca de 400 garimpeiros invadiram a área, que logo se transformou na principal produtora dessa variedade gemológica no Brasil e provavelmente no mundo. Anteriormente, o mineral somente era explorado no país no Córrego da Faísca, em Malacacheta, norte do Estado.

Desde o início alvo de inúmeras disputas judiciais, após a retirada total dos garimpeiros a partir da década de 1990 duas principais firmas mineradoras passaram a atuar: a Alexandrita Mineração (Figura 7A) e a Mineração Itaitinga. A alexandrita é lavrada em aluviões dos córregos Liberdade e Bom Sucesso (Proctor, 1988). A camada mineralizada é delgada, com cerca de 50 cm, coberta por uma camada de argila e matéria orgânica que pode alcançar 2 m de espessura. A área trabalhada envolve perto de 1,5 km de comprimento por cerca de 60 m de largura. A produção é toda proveniente deste cascalho basal e juntamente ocorrem crisoberilo comum, esmeralda, água-marinha, granada e quartzo ametista.

Trabalhos mais recentes de exploração têm detectado a presença de alexandrita também no manto de alteração elúvio-coluvial das rochas granitoides encaixantes, do tipo-Borrachudos. Os níveis mineralizados se associam às zonas de contato entre corpos metaultramáficos métricos (Figura 7B), além de pequenos veios pegmatoides, com os referidos granitoides, assemelhando-se assim fortemente às mineralizações de esmeralda do Campo Itabira–Nova Era.

Figura 7 - A- Vista geral da área de lavra aluvionar da Alexandrita Mineração, mostrando ao fundo um grande maciço de granito do tipo-Borrachudos, e logo abaixo área com exposições de rocha metaultramáfica, onde também são recuperadas alexandritas. B- Detalhe da rocha metaultramáfica mineralizada.



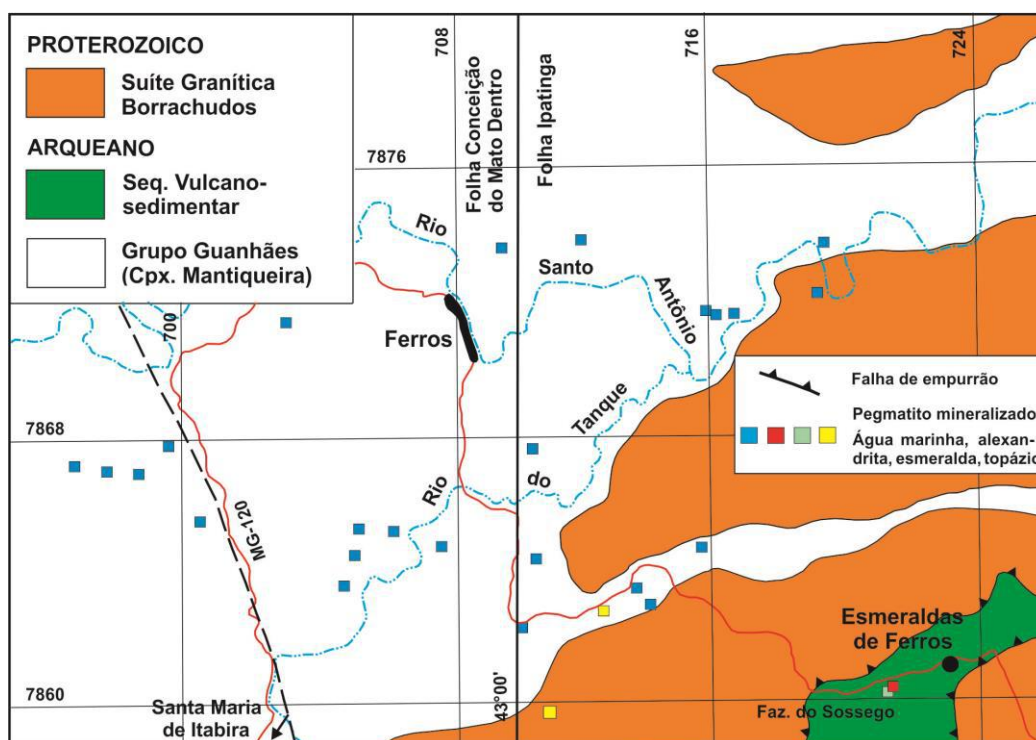
Fonte: Fotos M.C. Silva.

A Figura 7 ilustra uma vista geral da área de lavra aluvionar da Alexandrita Mineração, mostrando ao fundo um grande maciço de granito do tipo-Borrachudos, e logo abaixo área com exposições de rocha metaultramáfica, onde também são recuperadas alexandritas, além da rocha metaultramáfica mineralizada em detalhe.

4.3 Campo Ferros–Esmeraldas de Ferros

Situado ao norte do distrito (Figura 8), o Campo Pegmatítico Ferros–Esmeraldas de Ferros do DPSM possui na atualidade poucas atividades minerárias, mas nem por isso o potencial para minerais de pegmatito deve ser negligenciado, exemplificando-se abaixo dois depósitos.

Figura 8 - Geologia e depósitos pegmatíticos do Campo Ferros–Esmeraldas de Ferros.



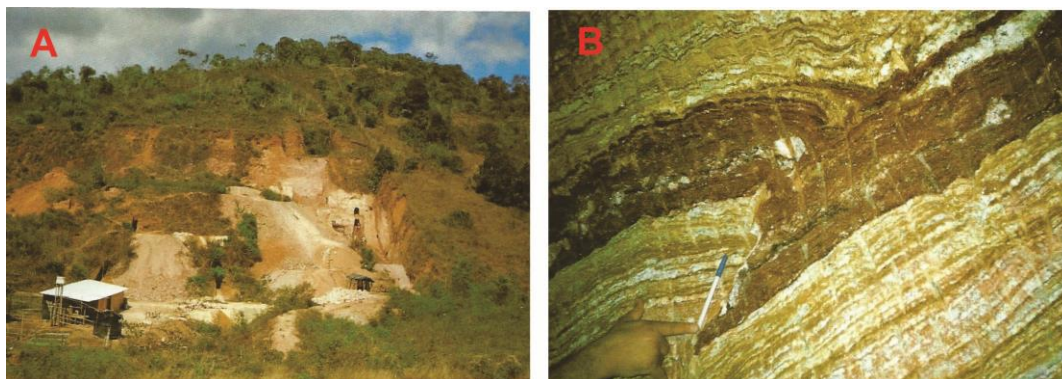
Fonte: parcial e modificado de Guimarães et al. (1996) – Folha Conceição do Mato Dentro, e Oliveira e Leite (2000) – Folha Ipatinga.

A Figura 8 ilustra a geologia do Campo Ferros–Esmeraldas de Ferros e depósitos pegmatíticos relacionados a ele, predominando depósitos de água-marinha distribuídos por toda a área, além de depósitos de topázio a sul e de alexandrita e esmeralda a sudeste, nas proximidades do vilarejo de Esmeraldas de Ferros.

Em 1939 foram produzidos neste campo, numa lavra cuja localização exata se perdeu, dez cristais gigantes de topázio que juntos pesaram cerca de 584 kg, o maior deles pesando mais de 200 kg (Reis, 1941). Segundo esse autor, tal material era homogêneo, bem cristalizado e de coloração levemente azulada, sendo extraído durante a mineração de quartzo com destino aos EUA, em vista dos esforços aliados de atendimento à demanda mineral da II Grande Guerra Mundial.

Fora da zona mineralizada em alexandrita de Hematita, a principal área produtora desta variedade mineralógica é a da Fazenda Sossego, a SW do vilarejo de Esmeraldas de Ferros (Figura 9A) (Karfunkel & Wegner, 1993). Essa localidade é a mesma onde foi descoberto, em 1920, o primeiro depósito esmeraldífero de Minas Gerais (Cunha, 1961). Embora consideradas de menor qualidade gemológica que aquelas de Hematita por serem muito fraturadas, é merecedora de nota sua presença, pelo potencial que representa para novos encontros de alexandrita no DPSM. Outro aspecto importante diz respeito ao fato de que nesta localidade a mineralização e lavra ocorre diretamente na rocha hospedeira alterada, em níveis de flogopitito com 20-50 cm encaixados nos granitoides do tipo-Borrachudos (Figura 9B).

Figura 9 - A- Visão geral da lavra de alexandrita de Esmeraldas de Ferros, mesma localidade do encontro da primeira jazida de esmeralda de Minas Gerais. B- Detalhe sobre o nível metaultramáfico mineralizado, mostrando dobramento decimétrico com vergência para sudeste.



Fonte: Fotos J. Karfunkel.

Na Figura 9 é apresentada uma visão geral da lavra de alexandrita de Esmeraldas de Ferros, além de um detalhe sobre o nível metaultramáfico mineralizado, mostrando dobramento decimétrico com vergência para sudeste.

4.4 Depósitos Isolados

4.4.1 Jaguaráçu

O Pegmatito Jaguaráçu foi descoberto durante a II Guerra Mundial, sendo depois explotado intermitentemente por cerca de 25 anos para berilo industrial e mica (Cassedanne & Alves, 1994). Na década de 1980 ele foi minerado pelo Sr. José Pinto visando minerais de coleção, especialmente cristais de quartzo com inclusões de turmalina negra, drusas de albita variedade cleavelandita, descobrindo-se ainda magníficos cristais do mineral raro de berílio milarita ($\text{KCaAlBe}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{30}\cdot\text{H}_2\text{O}$), os melhores espécimes já produzidos mundialmente. O corpo está localizado na área periférica ao sul da cidade (Figura 1), adjacente a um campo de futebol (coordenadas UTM 736260E / 7825665N).

Esse pegmatito ocorre isolado, hospedado em biotita gnaisse do Complexo Mantiqueira, de idade arqueana, situando-se nas proximidades do “Granito Itauninha”, um plúton pertencente à Suíte Borrachudos (Silva, 2000). As galerias dos serviços antigos encontram-se desmoronadas e o pegmatito atualmente está abandonado e parcialmente coberto por vegetação, aflorando sob uma encosta íngreme (Figura 10A). Segundo Cassedanne e Alves (1994), os trabalhos na mina foram desenvolvidos sobre o corpo de direção W-NW ao longo de mais de 100 m de comprimento, mergulhando fortemente para S-SW, com largura variando entre 5 m em seu segmento oeste e cerca de 20 m a leste.

Associado ao espessamento do corpo observa-se uma variação em sua estrutura mineralógica, de homogênea na parte oeste a mais fracionada a leste, onde os corpos de substituição são comuns (Figura 10B), ocorrendo zonamento e a presença de cristais gigantes de microclínio, quartzo, muscovita, e corpos de substituição de albita onde aparecem fases acessórias mais raras, incluindo microclínio amazonita, o qual foi substituído localmente por ortoclásio adularia, cristais de almandina-espessartita, monazita-(Ce), zircão, magnetita, churchita, euxenita, turmalina azul escura em massas irregulares (Cassedanne & Alves, 1994), além de nódulos formados por uma mistura de cerussita e piromorfita, os quais possivelmente representam a substituição de uma fase pré-existente de algum mineral de bismuto (Foord et al., 1986).

Figura 10 - A- Visão geral do Pegmatito Jaguarapu, com atividades de lavra paralisadas, onde foram coletados zircões para datação U-Pb por Chaves et al. (2023). B- Detalhe de um corpo de substituição onde são encontrados minerais raros.



Fonte: Fotos M.L. Chaves.

A Figura 10 mostra uma visão geral do Pegmatito Jaguarapu e um detalhe de um corpo de substituição onde são encontrados minerais raros neste pegmatito.

Esse pegmatito também é mundialmente famoso por ser a localidade-tipo de dois novos minerais brasileiros, a minasgeraisita-(Y) – $(\text{Bi,Ca})(\text{Y,Lu})_2(\text{Mn})_2(\text{Be,B,Si})_4\text{Si}_4\text{O}_{16}[(\text{OH}),\text{O}]_4$ (Foord et al., 1986) e a carlosbarbosaíta – $(\text{UO}_2)_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Atencio et al., 2012); este último mineral foi descrito contando com a participação do co-autor deste artigo, que previamente conduziu os trabalhos de campo e coleta de zircões para análises nesta localidade.

4.4.2 Fazenda Talho Aberto

As primeiras referências ao pegmatito da Fazenda Talho Aberto remontam a 1909, quando o corpo foi interceptado por um poço utilizado na exploração aurífera (Hussak, 1917). Esse depósito está localizado a cerca de 4 km ao norte da cidade de Rio Piracicaba, antiga São Miguel de Piracicaba, situando-se na extremidade sul do DPSM (Figura 1). Reeves (1966) e Cassedanne (1985) detalharam o corpo de 100 m de comprimento e largura média de 1 m, com direção NE e mergulho para SE, mostrando-se parte concordante e parte discordante da rocha hospedeira. Esta consiste num gnaisse atribuído pelo primeiro autor como pertencente à então proposta “Formação Elefante” (integrante do Supergrupo Minas), a qual, pelo contexto geológico observado em campo, provavelmente se relaciona ao Grupo Guanhães.

Tal depósito produziu os maiores e mais belos espécimes de fenakita a nível global, juntamente com outro próximo, menor (Pé de Serra), encontrando-se atualmente abandonados e aparentemente exauridos. Segundo Cassedanne (1985), foram produzidas nesta localidade cerca de 13 toneladas do mineral, constituindo assim, também, sua mais importante jazida mundial. O co-autor deste artigo realizou prospecção coluvionar sobre a área de rejeitos da antiga mineração, não encontrando mais qualquer vestígio de fenakita. Entre os minerais identificados, parcialmente já observados por Hussak (1917), incluem-se microclínio amazonita, turmalina preta, muscovita, com raros grãos de monazita-(Ce), zircão, columbita-tantalita, xenotímio-(Y), granada vermelha e fluorita.

5. Idade dos Depósitos Esmeraldíferos

Ribeiro-Althoff et al. (1997) admitiram a existência de duas idades de mineralização de esmeralda no Brasil, com base em análises ^{40}Ar - ^{39}Ar e/ou K-Ar em micas das sequências hospedeiras. A mais antiga, paleoproterozoica (Ciclo Transamazônico) incluiria as jazidas de Socotó e Carnaíba (Bahia), enquanto a mais nova, do final do Neoproterozoico (Ciclo Brasileiro) envolveria o depósito de Capoeirana, do DPSM, juntamente com os de Santa Terezinha (Goiás) e Anagé (Bahia).

Preinfalk et al. (2002), no entanto, abordaram exclusivamente os depósitos do DPSM, em estudo mineralógico, geoquímico e geocronológico bastante detalhado, onde foram determinadas idades Rb-Sr de muscovita, microclínio e rocha total das mineralizações de Capoeirana e Belmont, além dos pegmatitos estéreis em esmeralda Ponte da Raiz, Morro Escuro, Caracol, Jatobá e Aleixo. Esses autores também reconheceram a existência de duas faixas de idades de eventos, possivelmente relacionadas aos ciclos Transamazônico e Brasileiro.

Para esses últimos autores, no Paleoproterozoico ocorreriam o metamorfismo do Granito Borrachudos e da unidade designada “Gnaiss Monlevade” (Grupo Guanhães?), além de injeções sin-metamórficas de veios pegmatíticos, com idades ao redor de 1,9-1,8 Ga. A intrusão sin-metamórfica de pegmatitos anatóticos ricos em berílio se daria paralelamente sobre rochas ultrabásicas ricas em cromo, formando uma primeira geração de esmeraldas, bem como alteração metassomática de K-feldspatos originais dos pegmatitos em plagioclásios no Granito Borrachudos. No Brasileiro, em 477 ± 6 Ma, haveria o reequilíbrio isotópico dos minerais dos veios pegmatíticos no Gnaiss Monlevade e a superimposição metamórfica dos pegmatitos antigos; além da formação de uma segunda geração de esmeraldas juntamente com a intrusão de pegmatitos não esmeraldíferos.

Jordt-Evangelista et al. (2016) por sua vez realizaram análises U-Pb LA-ICPMS em titanita de rochas metamórficas do Grupo Guanhães, encaixantes da mineralização esmeraldífera na Mina Piteiras. A idade determinada por tal metodologia foi de 576 ± 7 Ma, sendo também considerada a provável idade de geração das esmeraldas, ou seja, no Ciclo Brasileiro. Assim sendo, considerou-se sua gênese como provavelmente relacionada ao metamorfismo regional associado a esse evento.

6. Considerações Finais

O Distrito Pegmatítico de Santa Maria de Itabira apresenta algumas peculiaridades em relação aos demais distritos da Província Pegmatítica Oriental do Brasil. Além das evidências a respeito de idades mais antigas de suas mineralizações a partir de dados geocronológicos, destaca-se também a mineralogia bastante diferenciada de seus depósitos. Considerando a classificação de Cerný e Ercit (2005), a maior parte dos pegmatitos conhecidos e explorados na província como um todo são do tipo LCT (lítio-césio-tântalo), apresentando minerais de minério destes três elementos e forte presença de turmalinas litíferas. De modo contrário, os pegmatitos do DPSM se caracterizam pela presença de minerais de berílio, com pouca ou nenhuma turmalina, sendo ainda ricos em amazonita, topázio e água-marinha, pertencendo ao tipo NYF (nióbio-ítrio-flúor).

Com base nos estudos levantados no presente trabalho, aponta-se o grande potencial para novas descobertas de depósitos pegmatíticos e/ou hidrotermais neste distrito, por ser ainda o menos conhecido dos distritos em termos geológicos, apesar de ser o mais próximo da capital do Estado e possuir um curso de Engenharia de Minas instalado em um dos municípios da região (João Monlevade).

Como sugestões para trabalhos futuros, incluem-se pesquisas geológicas de detalhe, que poderão revelar mineralizações ainda não conhecidas, bem como atrair novos empreendimentos de mineração no distrito enfocado, trazendo consequentemente desenvolvimento social e econômico, além de estudos de características dos minerais produzidos na região que possam ser associadas a seus locais de origem, permitindo a rastreabilidade principalmente dos minerais gemológicos na cadeia produtiva de joias.

Agradecimentos

A primeira autora agradece ao Programa Institucional de Apoio à Pesquisa (PAPq) da UEMG pelo apoio através de concessão de bolsa de professor orientador. O segundo autor agradece à Faculdade de Geologia-UERJ pela concessão de Bolsa de Professor Visitante - PAPD.

Referências

- Atencio, D., Roberts, A. C., Menezes Filho, L. A. D., Coutinho, J. M. V., Stirling, J. A. R., Venance, K. E., Ball, N. A., Chaves, M. L. S. C., Brandão, P. R. G., & Romano, A. W. (2012). Carlosbarbosite, ideally $(\text{UO}_2)_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a new hydrated uranyl niobate mineral with tunnels from Jaguarapu, Minas Gerais, Brazil: description and crystal structure. *Mineralogical Magazine*, 76 (1), 75-90. <https://doi.org/10.1180/minmag.2012.076.1.75>
- Cassedanne, J. P. (1985). Recent discoveries of phenakite in Brazil. *Mineralogical Record*, 16 (2), 107-109.
- Cassedanne, J. P., & Alves, J. N. (1994). The Jaguarapu Pegmatite, Minas Gerais, Brazil. *Mineralogical Record*, 25, 165-170.
- Cassedanne, J. P., Cassedanne, J. O., Alves, J. N., & Carvalho, H. F. (1995). Le pegmatite à aigue-marine de Ponte da Raiz et a paragéneses Bi-Pb-(As) (município de Santa Maria de Itabira - Minas Gerais). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 67 (2), 183-197.
- Cerný, P., & Ercit, T. S. (2005). The classification of granitic pegmatites revisited. *Canadian Mineralogist*, 43, 2005-2026.
- Chaves, M. L. S. C., Pedrosa-Soares, A. C., Dussin, I. A., & Menezes Filho, L. A. D. (2023). Geocronologia U-Pb (LA-ICPMS) de zircões dos distritos pegmatíticos de Santa Maria de Itabira e São José da Safira (Minas Gerais): populações contrastantes na região da Província Pegmatítica Oriental do Brasil. *Geologia USP, Série Científica* (em submissão).
- Cornejo, C., & Bartorelli, A. (2020). *Coleções Minerais do Brasil*. Solaris. <https://www.ofitexto.com.br/colecoes-minerais-brasil/p>
- Correia-Neves, J. M., Pedrosa-Soares, A. C., & Marciano, V. R. (1986). A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*, 16 (1), 106-118. <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/12028>
- Cunha, O. D. (1961). Esmeraldas da Fazenda do Sossêgo, Santana de Ferros, Minas Gerais, Brasil. *Associação Brasileira de Gemologia*, 25, 9-14.
- Delgado, C. E. R. (2007). *Geologia e petrogênese na região da província esmeraldífera de Itabira, MG*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. ISSN 85-230-0108-6. <https://www.researchgate.net/publication/313078962>
- Dussin, I. A. (1994). *Evolution structurale de la région de l'Espinhaço Meridional, bordure-sud-est du Craton São Francisco, Bresil: tectoniques superposées au proterozoïque*. Tese de Doutorado. Université d'Orléans.
- Epstein, D. S. (1989). The Capoeirana emerald deposit near Nova Era, Minas Gerais, Brazil. *Gems & Gemology*, 25(3), 150-158. <https://www.gia.edu/doc/The-Capoeirana-Emerald-Deposit-near-Nova-Era-Minas-Gerais-Brazil.pdf>
- Foord, E., Gaines, R. V., Crock, J. G., Simmons Jr., W. B., & Barbosa, C. P. (1986). Minasgeraisite, a new member of the gadolinite group from Minas Gerais, Brazil. *American Mineralogist*, 71 (6), 603-607. <https://pubs.geoscienceworld.org/msa/ammin/article-abstract/71/3-4/603/41861/Minasgeraisite-a-new-member-of-the-gadolinite?redirectedFrom=fulltext>
- Gerhardt, T. E., & Silveira, D. T. (2009) *Métodos de Pesquisa*. Editora da UFRGS.
- Gil, A. C. (2018) *Como elaborar projetos de pesquisa*. (6a ed.), Atlas.
- Guimarães, M. L. V., Mourão, M. A., & Grossi-Sad, J. H. (1996). *Mapa Geológico da Folha Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais*. Convênio COMIG/IGC-UFMG, Projeto Espinhaço, 1 mapa. <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>
- Hussak, E. (1917). Uma nova jazida de phenakita no Brasil. *Anais da Escola de Minas de Ouro Preto*, 15, 15-18.
- Jordt-Evangelista, H., Lana, C., Delgado, C. E. R., & Viana, D. J. (2016). Age of the emerald mineralization from the Itabira-Nova Era District, Minas Gerais, Brazil, based on LA-ICP-MS geochronology of cogenetic titanite. *Brazilian Journal of Geology*, 46 (3), 427-437. <https://www.researchgate.net/publication/309089122>
- Karfunkel, J., & Wegner, R. (1993). Das Alexandritvorkommen von Esmeraldas de Ferros, Minas Gerais, Brasilien. *Z. Dt. Gemmol. Ges.*, 42 (1), 7-15.
- Lynch, E. P., Costanzo, A., Feely, M., Blamey, N. J. F., Pronon, J., & Lavin, P. (2014). The Piteiras emerald mine, Minas Gerais, Brazil: fluid-inclusions and gemmological perspectives. *Mineralogical Magazine*, 78 (7), 1571-1587. <https://www.researchgate.net/publication/272417215>
- Machado, G. A. A. (1994). *Geologia da região e aspectos genéticos das jazidas de esmeraldas de Capoeirana e Belmont, Nova Era-Itabira, MG*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/tde-28092015-155303/pt-br.php>
- Machado, G. A. A. (1998). *Jazidas de esmeralda de Capoeirana e Belmont - MG: geologia, petrogênese e metalogênese*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/tde-12112015-110642/pt-br.php>
- Netto, C., Araújo, M. C., Pinto, C. P., & Drumond, J. B. V. (1998). *Projeto Leste – Cadastramento de Recursos Minerais - Pegmatitos*. Convênio CPRM-COMIG, Relatório Final.

- Oliveira, A. A. K., & Leite, C. A. S. (2000). *Folha SE.23-Z-D-II Ipatinga*. Convênio CPRM-Serviço Geológico do Brasil/COMIG, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, 1 mapa. https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/8650/56/Mapa_Ipatinga.pdf
- Paiva, G. (1946). Províncias pegmatíticas do Brasil. *Boletim DNPM-DFPM*, 78, 13-21.
- Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Wiedemann, C. M., & Pinto, C. P. (2001). The Araçuaí-West Congo orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly. *Precambrian Research*, 110, 307-323. <https://www.researchgate.net/publication/232392341>
- Pedrosa-Soares, A. C., Campos, C. P., Noce, C., Silva, L. C., Novo, T., Roncato, J., Medeiros, S., Castañeda, C., Queiroga, G., Dantas, E., Dussin, I., & Alkmim, F. (2011). Late Neoproterozoic – Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí orogen (Brazil) the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources. *Geologic Society, London, Special Publications*, 350, 25-51. ISSN: 2041-4722. <https://doi.org/10.1144/SP350.3>
- Pedrosa-Soares, A. C., Chaves, M. L. S. C., Scholz, R., & Dias, C. H. (2022). PEG2009 Pre-Symposium Field Trip Guide: Eastern Brazilian Pegmatite Province (Minas Gerais). *Estudos Geológicos*, 32 (2), 37-51. ISSN: 1980 -8208. DOI <https://doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v32n2p37-51>
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Preinfalk, C., Kostitsyn, Y., & Morteani, G. (2002). The pegmatites of the Nova Era–Itabira–Ferros pegmatite district and the emerald mineralization of Capoeirana and Belmont (Minas Gerais, Brazil): geochemistry and Rb-Sr dating. *Journal of South American Earth Sciences*, 14, 867-887. <https://www.researchgate.net/publication/232399905>
- Proctor, K. (1988). Chrysoberyl and alexandrite from the pegmatitic districts of Minas Gerais, Brazil. *Gems & Gemology*, 24 (1), 16-35. <https://www.gia.edu/doc/chrysoberyl-and-alexandrite-from-pegmatite-districts-minas-gerais-brazil.pdf>
- Reeves, R. G. (1966). Geology and mineral resources of the Monlevade and Rio Piracicaba quadrangles, Minas Gerais, Brazil. *USGS Professional Papers*, 341-E. https://minedocs.com/21/Arcelor_Brazil-geology_raport-1968.pdf
- Reis, E. (1941). Os topázios de Ferros. *Mineração e Metalurgia*, 6 (31), 39-41.
- Ribeiro-Althoff, A. M., Cheiletz, A., Giuliani, G., Férault, G., Barbosa-Camacho, G., & Zimmermann, J. (1997). Evidences of two periods (2Ga and 650-500 Ma) of emerald formation in Brazil by K-Ar and Ar-Ar dating. *International Geology Review*, 39, 924-937.
- Rondeau, B., Notari, F., Giuliani, G., Michelou, J. C., Martin, S., Fritsch, E., Respinger, A. (2003). La mine de Piteiras, Minas Gerais, nouvelle source d'émeraude de belle qualité au Brésil. *Revue de Gemmologie*, 147, 1-18. <https://www.researchgate.net/publication/288141874>
- Silva, S. L. (2000). *Folha SE.23-Z-D-V Coronel Fabriciano*. Convênio CPRM-Serviço Geológico do Brasil/COMIG, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, 1 mapa. https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/8650/34/Mapa_Coronel%20Fabriciano.pdf
- Souza, J. L. (1989). *Mineralogia e geologia da esmeralda da jazida de Itabira-Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/tde-11092015-124609/pt-br.php>
- Souza, J. L., Mendes, J. C., Silveira Bello, R. M., Svisero, D. P., & Valarelli, J. V. (1992). Petrographic and microthermometrical studies of emeralds in the 'Garimpo' of Capoeirana, Nova Era, Minas Gerais State, Brazil. *Mineralium Deposita*, 27, 161-168. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00197103>
- Teixeira, W., Dussin I. A., Dussin, T. M., Salvador, E. D., Siga Jr., O., & Sato, K. (1990). Interpretação do contexto geotectônico do embasamento na borda leste do sistema Espinhaço, região de Guanhães e Gouveia-MG, com base numa integração do seu conjunto geocronológico U/Pb, Rb/Sr e K/Ar. [Final Proc.]. In Sociedade Brasileira de Geologia, *XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia* (6, p. 2711-2722). Natal, Brasil: SBG.
- Viana, D. J. (2004). *Geologia e petrogênese da jazida de esmeralda de Piteiras, MG*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Viana, D. J., Jordt-Evangelista, H., & Gomes, C. J. S. (2006). Esmeralda da Mina de Piteiras, região de Itabira, MG: geologia e gênese. *Revista Brasileira de Geociências*, 36 (1), 174-178. <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9380/11167>