

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

The Batalha (Piauí) quartz varieties and their relationship to the SiO₂ mineralizations (chalcedony and opals) in the Parnaíba Basin, Brazil

Alan Felipe dos Santos Queiroz¹, Marcondes Lima da Costa², Érico Rodrigues Gomes³

¹ Universidade Federal do Pará; alan.queiroz@ig.ufpa.br; ORCID: 0000-0003-4569-2816

² Universidade Federal do Pará; marcondeslc@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0134-0432

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí; erico.gomes@ifpi.edu.br ORCID: 0000-0002-1942-1396

RESUMO: Várias formações geológicas da Bacia do Parnaíba abrigam diversas ocorrências e depósitos de minerais de sílica (SiO₂), em especial quartzo, calcedônia e opalas. Essas ocorrências e depósitos são encontradas principalmente no município de Pedro II, estado do Piauí. Posteriormente foram encontradas no município de Batalha, ao norte desse estado, novas ocorrências de quartzo, nas variedades hialino, morion, esfumaçado, leitoso e citrino, além de ametistas. Com o intuito de entender melhor as ocorrências de quartzo na região, alguns habitantes nos procuraram para estudar essas ocorrências visando um possível aproveitamento. Os trabalhos envolveram uma etapa de campo com mapeamento e coleta de amostras, seguido da descrição, imageamento e lapidação dos cristais de quartzo visando seu beneficiamento. Os dados de campo mostram que as ocorrências de quartzo estão intimamente relacionadas com uma zona de alteração hidrotermal desenvolvida no contato entre arenitos e diabásio. Os cristais de quartzo ocorrem como agregados drúsicos preenchendo fratura no arenito próximo e/ou como cristais isolados em uma brecha hematítica. A associação geológica e mineralógica dos cristais e das rochas estudadas é relativamente simples e semelhante às ocorrências e depósitos de Pedro II e Buriti dos Montes, ambos situados na borda leste da bacia do Parnaíba.

Palavras-chave: Quartzo esfumaçado. Ametista. Diabásio. Sistema Hidrotermal.

ABSTRACT: The Parnaíba Basin is a geological unit that hosts several occurrences and deposits of SiO₂ minerals, especially quartz, chalcedony and opals, with highlight to the municipality of Pedro II, Piauí state. In the north of Piauí, in the municipality of Batalha, new occurrences of quartz were found, in the hyaline, morion, smoky, milky and citrine varieties, alongside the amethysts already known in the municipality. In order to better understand the occurrences of quartz in the region, some habitants approached us to study these occurrences with the objective of possible use. The work involved a field stage with mapping and sample collection, followed by description, imaging and cutting the quartz crystals. Field data show that the quartz occurrences are closely related to a hydrothermal alteration zone developed in the contact between sandstones and diabase. The quartz crystals occur as druse aggregates filling a fracture in the nearby sandstone and/or as isolated crystals in a hematite-rich breccia. The geological and mineralogical association of the crystals and rocks studied is relatively simple and similar to the occurrences and deposits of Pedro II and Buriti dos Montes, both located on the eastern edge of the Parnaíba Basin.

Keywords: Smoky quartz. Amethyst. Diabase. Hydrothermal System.

1 Introdução

O quartzo é um dos minerais gemológicos mais conhecidos e comercializados no mundo, isto ocorre devido a sua ampla variedade de cores atrelado a elevada dureza, que lhe confere resistência mecânica e durabilidade. O quartzo é um dos minerais mais abundantes no planeta Terra, podendo ocorrer nos mais variados tipos de ambientes geológicos e em diferentes tipos de rochas e/ou sedimentos. É constituído quimicamente pelo dióxido de silício, o qual é conhecido como sílica (SiO_2). É importante ressaltar que o quartzo é um polimorfo de sílica, junto da tridimita, cristobalita, stichovita e coesita, sendo diferenciado desses pela sua forma cristalina. Do ponto de vista cristalográfico, é um mineral do sistema hexagonal, subsistema romboédrico, classe trigonal trapezoédrica, com grau completo de simetria E_3 e $3E_2$, cujo grau mínimo é 32 e onde o eixo cristalográfico “c” coincide com o eixo do sistema ternário (KLEIN & DUTROW, 2012). Em relação às variedades de quartzo, elas podem ser divididas em variedades macrocristalina e microcristalinas, podendo ser diferenciadas a partir da coloração e outras características morfológicas. Dentre as variedades de quartzo mais conhecidas tem-se: ametista, quartzo esfumado (fumê), cristal de rocha (hialino), citrino, quartzo leitoso, quartzo rosa e o quartzo morion.

O Brasil, nesse contexto, é um importante produtor de quartzo, em especial das variedades ametista e citrino, com destaque para o estado do Rio Grande do Sul, além da produção de Alto Bonito no estado do Pará e Brejo das Ametistas no estado da Bahia.

No Rio Grande do Sul, a ametista e o citrino, este último em grande parte produto da calcinação de ametistas de coloração fraca, procedem principalmente dos municípios de Ametista do Sul, Frederico Westphalen, Iraí e Cristal do Sul. Nesta região, essas variedades do quartzo ocorrem como geodos em diversas formas e tamanhos, alojados em bassaltos da Formação Serra Geral, frequentemente associadas à calcedônia, ágata e opala (JUCHEM, 1999; 2014; GILG *et al.* 2003; 2014; COMMINS-FISCHER *et al.*, 2010; DIAS *et al.*, 2019).

Por outro lado, em relação às variedades de sílica hidratada, a exemplo das opalas, o estado do Piauí, se destaca como o maior produtor, tanto na variedade preciosa quanto na laranja, procedentes da produção garimpeira nos municípios de Pedro II e Buriti dos Montes, respectivamente (Sachs *et al.* 2015). Estudos prévios demonstraram que essas opalas estão alojadas em rochas sedimentares, de idade Paleozóica, em contato com rochas máficas intrusivas, de idade Mesozóica, ambas situadas nos domínios da Bacia do Parnaíba (ROSA, 1988; GOMES & COSTA, 1994; OLIVEIRA, 1998; CARVALHO *et al.*, 2010; SACHS *et*

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

al., 2015; MARQUES *et al.*, 2015). As opalas dessa região são frequentemente encontradas com opala leitosa, quartzo em cristais centimétricos ou massas cristalinas, calcedônia e, mais restritamente, ametistas (CARVALHO *et al.*, 2010; MARQUES *et al.*, 2015).

Dentre os outros municípios do Piauí com ocorrências de minerais de sílica, como opala, calcedônia, quartzo hialino, quartzo róseo, quartzo esfumado e ametista, pode-se mencionar Várzea Grande, Nazaré do Piauí, Barras, Paulistana e Batalha (CPRM, 1997). Em Batalha estão localizadas as ocorrências mais importantes de ametista do estado, nos garimpos de Porco e de Veados (CPRM, 1997; OLIVEIRA, 1998). Estudos recentes efetuados por Queiroz *et al.*, (2019), na porção noroeste de Batalha, descrevem novas ocorrências de variedades de quartzo.

O presente trabalho complementa aquele de Queiroz *et al.* (2019), ao detalhar a configuração geológica e mineralógica das ocorrências de quartzo de Batalha, no Estado do Piauí, no sentido de elucidar sua gênese e possível relação com as demais mineralizações de SiO₂, principalmente opala, calcedônia e quartzo hialino, a exemplo da região de Pedro II e Buriti do Montes.

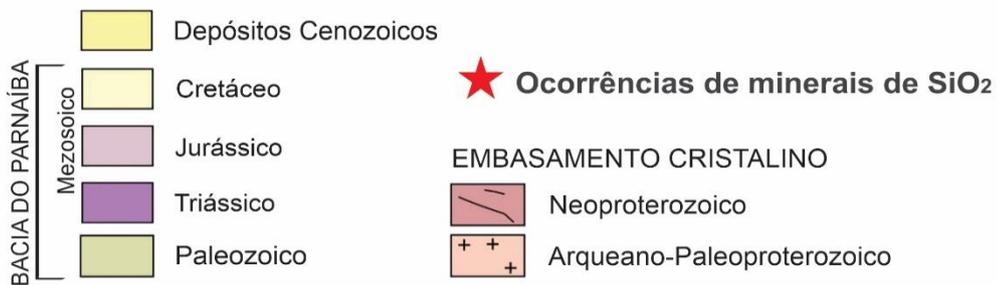
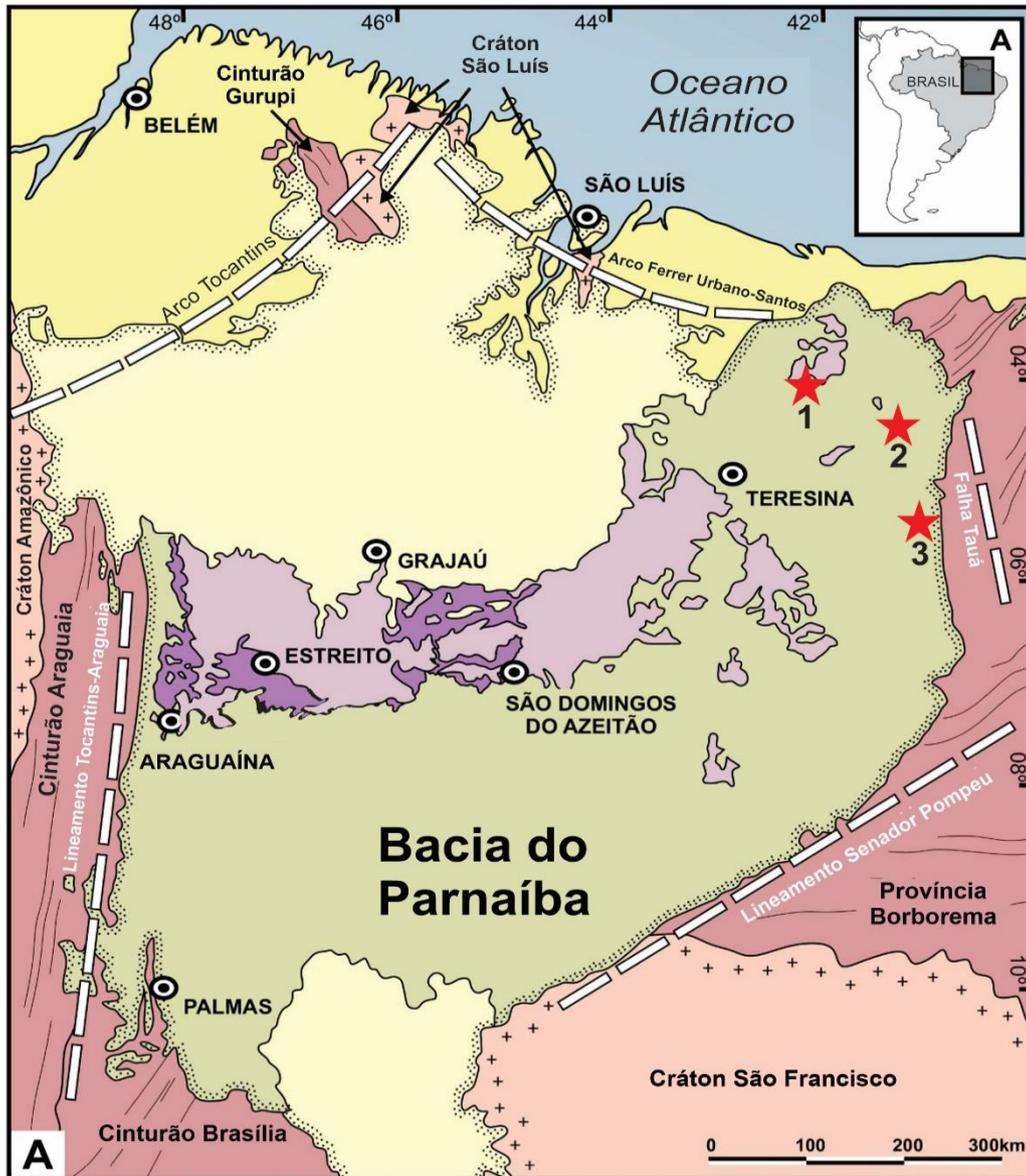
2 Contexto geológico

2.1 Geologia regional e localização das mineralizações

A área de estudo está inserida no contexto da Bacia do Parnaíba (Figura 1). Essa bacia é uma unidade geotectônica que abrange grande parte dos estados do Piauí e do Maranhão, além de algumas porções dos estados do Ceará, Tocantins, Pará e Bahia (GÓES & FEIJÓ, 1994; GÓES, 1995; VAZ *et al.*, 2007). Ela foi preenchida por rochas sedimentares e magmáticas, compartimentadas em 5 Supersequências: Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica (Formação Pastos Bons) e Cretácea (Formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru), todas separadas entre si por discordâncias regionais e recortadas pelo magmatismo básico das Formações Mosquito e Sardinha (VAZ *et al.*, 2007).

Figura 1. Localização das principais ocorrências de minerais de sílica (SiO₂) no contexto da Bacia do Parnaíba. Em A) localização dos principais depósitos e

ocorrências de minerais de sílica. (1) Batalha: quartzo; (2) Pedro II: opala, quartzo e calcedônia; e (3) Buriti dos Montes: opala, quartzo e calcedônia.



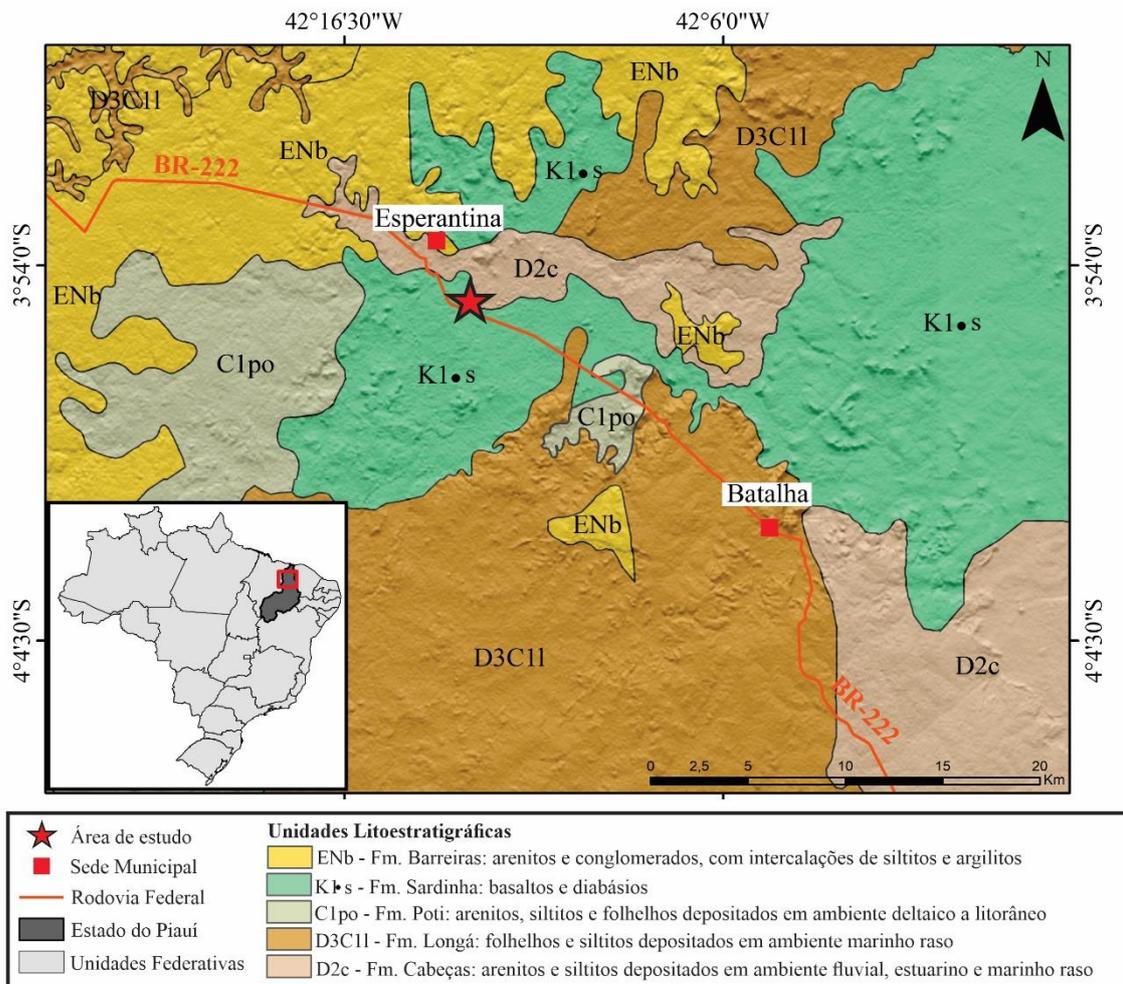
Fonte: Adaptado de Abrantes Jr. *et al.* (2019).

O local de estudo está localizado na porção noroeste do município de Batalha, em uma propriedade particular, próximo à fronteira com o município de Esperantina-PI e a aproximadamente 148 Km a nordeste da capital do estado, Teresina-PI. O acesso ocorre por

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

meio da rodovia federal BR-222 e está próximo à entrada da estrada que dá acesso ao ponto turístico da Cachoeira do Urubu, entre os municípios Batalha e Esperantina (Figura 2).

Figura 2. Mapa geológico simplificado da região de estudo no município de Batalha-Piauí com a indicação das ocorrências de minerais de sílica deste trabalho (indicado pela estrela vermelha).



Fonte: Adaptado de Queiroz *et al.* (2019).

3 Materiais e métodos

As atividades de campo e laboratório foram precedidas por levantamento bibliográfico sobre as mineralizações de quartzo hidrotermal no estado do Piauí e na região de Batalha, seguida da consulta sobre a geologia, distribuição e modo de ocorrência dessas mineralizações. Em seguida se realizou a atividade de campo incluindo mapeamento esquemático dos veios de quartzo e coleta de amostras representativas. Estas, já nos laboratórios, foram descritas e imageadas, geral e em detalhe, o que permitiu selecionar 12

amostras de quartzo, sem inclusões ou fraturas perceptíveis a olho nu, para lapidação (modelamento, corte e polimento) nas instalações do Pólo Joalheiro, em Belém, Pará. As formas escolhidas foram cabochão, gota e navete.

4 Resultados e discussão

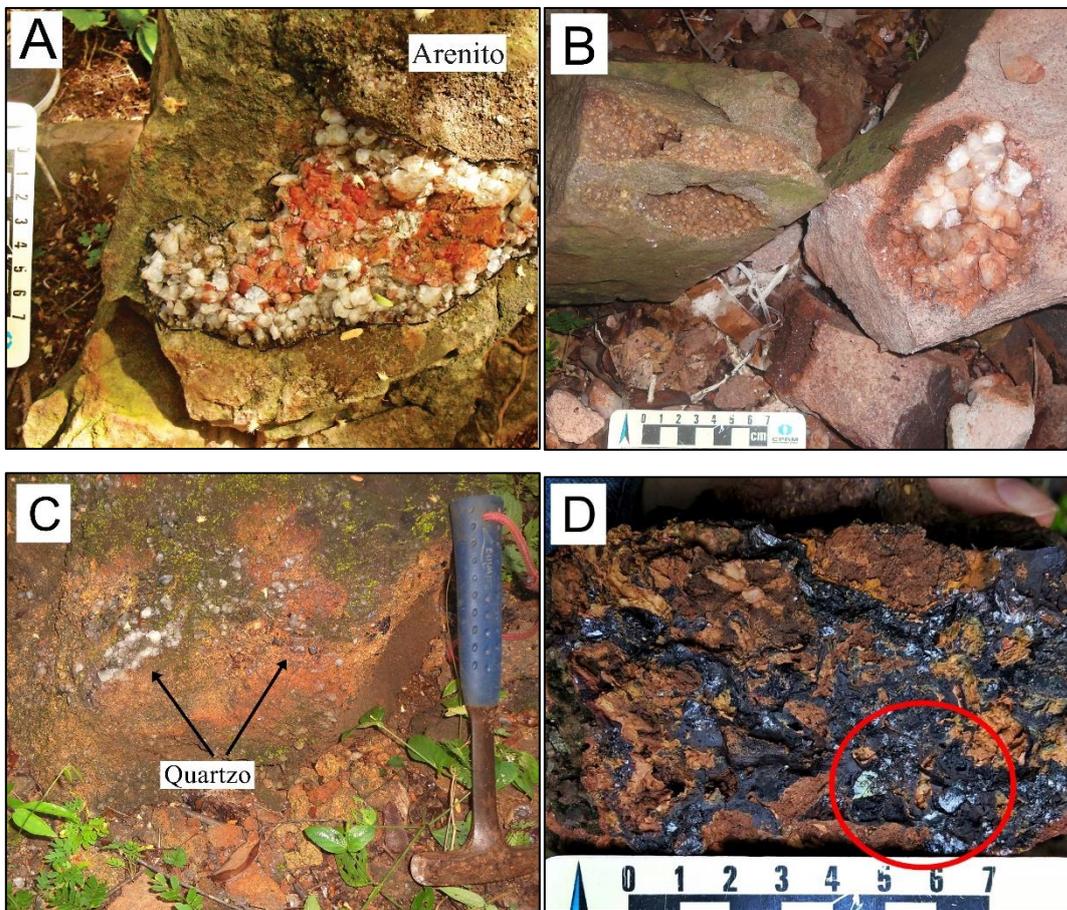
4.1 Modo de ocorrência do quartzo

O quartzo de Batalha ocorre principalmente como veios, preenchendo cavidades e fraturas, hospedados entre as rochas arenosas da Formação Cabeças (Grupo Canindé) e as rochas intrusivas da Formação Sardinha. Os veios e fraturas nessa zona apresentam uma orientação predominante para NE-SW e ENE-WSW. Ocorrem as variedades hialino (por vezes com inclusões de hematita), leitoso, ametista, citrino, fumê e morion, em geral, como agregados drúsicos e/ou como cristais isolados. Conforme foi observado por Queiroz *et al.* (2019), o arenito hospedeiro se apresenta zonado nas proximidades do contato com a rocha intrusiva. Este zoneamento é marcado pelo desaparecimento de estruturas sedimentares, como laminações plano-paralelas e laminações de cruzadas e de baixo ângulo, e pelo aumento progressivo do número de fraturas e de recristalização dos grãos de quartzo, fornecendo um aspecto maciço e endurecido ao arenito. Além dos veios e vênulas constituídos essencialmente por quartzo (Figuras 3A e 3B), há a presença de veios centimétricos de material cinza escuro a marrom avermelhado, brechóide, constituídos por cristais euédricos a subédricos de quartzo e por um cimento de oxi-hidróxidos de ferro (Figuras 3C e 3D).

Figura 3. Aspectos gerais das ocorrências de quartzo em Batalha-Piauí. A) Drusa de quartzo hialino, com porções leitosas e inclusões/películas vermelhas, preenchendo fratura no arenito Cabeças; B) Drusas de quartzo hialino preenchendo cavidades no arenito Cabeças, com destaque para a porção recristalizada do contato entre o arenito e a drusa (seta vermelha); C) Material brechóide, de cor marrom avermelhada, portadora de cristais de quartzo, nas variedades hialino e esfumaçado, ambas com porções leitosas; D) Amostra de

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associa o com as mineraliza es de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

mão da porão cinza escura do material brechóide, hematítico, com destaque para os cristais de quartzo, de brilho vítreo.



Fonte: Adaptado de Queiroz *et al.* (2019).

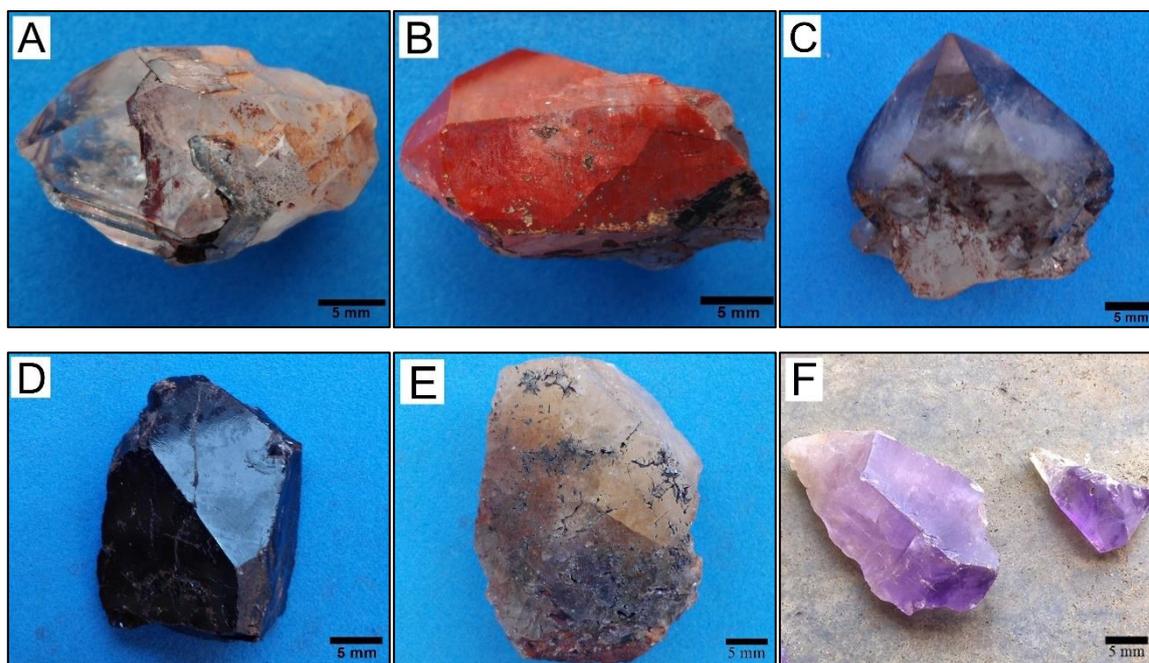
O quartzo exibe cristais incolores e/ou com cores diversas, como branco, vermelho, cinza, preto, amarelo e violeta (Figura 4). Em todos os cristais, a distribui o e a zona o da cor são irregulares e o tamanho dos cristais variam de milímetros a centímetros. Em geral, as formas são predominantemente subédricas, com prismas curtos e termina es romboédricas relativamente desenvolvidas. Nos cristais são bastante frequentes a presença de fraturas, além de inclusões fluidas e sólidas, estas últimas representadas por relictos de arenito, cristais de hematita, goethita e caulinita.

Em rela o a distribui o das variedades, observou-se que os cristais hialinos, leitosos e ametistas estão intimamente associados e ocorrem com mais frequência no arenito, onde apresentam formas subédricas, de hábito drusiforme. Alguns cristais podem apresentar um intercrescimento, onde a base   constituída pela variedade leitosa e a porão apical   constituída pelo hialino e/ou ametista. Apesar da rela o com as variedades leitosa e hialina,

a ametista se apresenta de forma subordinada e restrita no local de estudo. Uma característica marcante nesses cristais é a presença de muitas inclusões de hematita, conferindo, por vezes, uma coloração avermelhada para os cristais (Figura 4B). A ametista, por sua vez, apresenta cristais centimétricos e uma distribuição irregular da cor, com diferentes tonalidades de violeta (Figura 4F).

As variedades esfumaçadas (Figura 4C), morion (Figura 4D) e citrino (Figura 4E) também estão associados e ocorrem com mais frequência no material brechóide, aqui denominado de brecha, onde exibem tamanhos milimétricos a centimétricos, com formas subédricas e desenvolvimento apenas das terminações romboédricas, sem os prismas. Essas variedades estão envolvidas por uma fina película de material hematítico. Internamente os cristais encontram-se muito fraturados, cheios de inclusões e com distribuição irregular da cor, podendo apresentar muitas variações de tonalidade em um mesmo cristal.

Figura 4. Variedades coloridas do quartzo encontradas na fazenda Caraíba, porção noroeste do município de Batalha. Em (A) hialino (incolor); (B) hialino com inclusões de hematita; (C) esfumaçado; (D) morion; (E) citrino e (F) ametista.



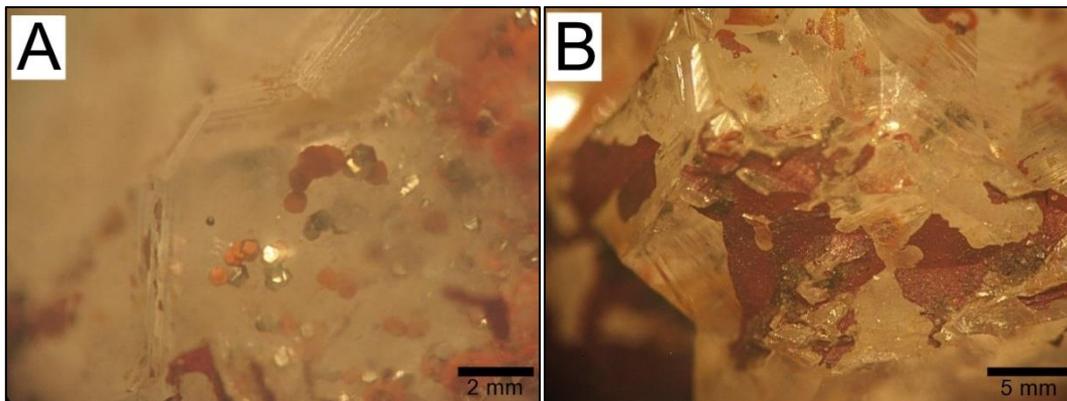
Fonte: Acervo do autor.

Em todas as variedades, a hematita e a goethita são as inclusões sólidas mais comuns, exibindo cores vermelha a cinza, brilho terroso a metálico e hábitos oolítico e/ou botrioidal. Algumas inclusões de hematita se apresentam como cristais romboédricos (figura 5). Foram observadas também algumas inclusões fluidas, com tamanhos e formas irregulares,

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

orientadas, estiradas e com indícios de estrangulamento, entretanto, as mesmas não foram investigadas em maior detalhe neste trabalho. Fraturas e manchas de cor são outras feições internas recorrentes, apresentando-se de forma pontual e/ou orientada e influenciando diretamente na distribuição da cor. As fraturas são abundantes em grande parte dos cristais, sendo comum a presença de películas de hematita nesses planos de fratura (Figura 5B).

Figura 5. Feições internas presentes nos cristais de quartzo. Em A) Inclusões oolíticas e romboedrais de hematita no quartzo; B) Películas de hematita presente na superfície e nos planos de fratura nos cristais de quartzo.



Fonte: Acervo do autor.

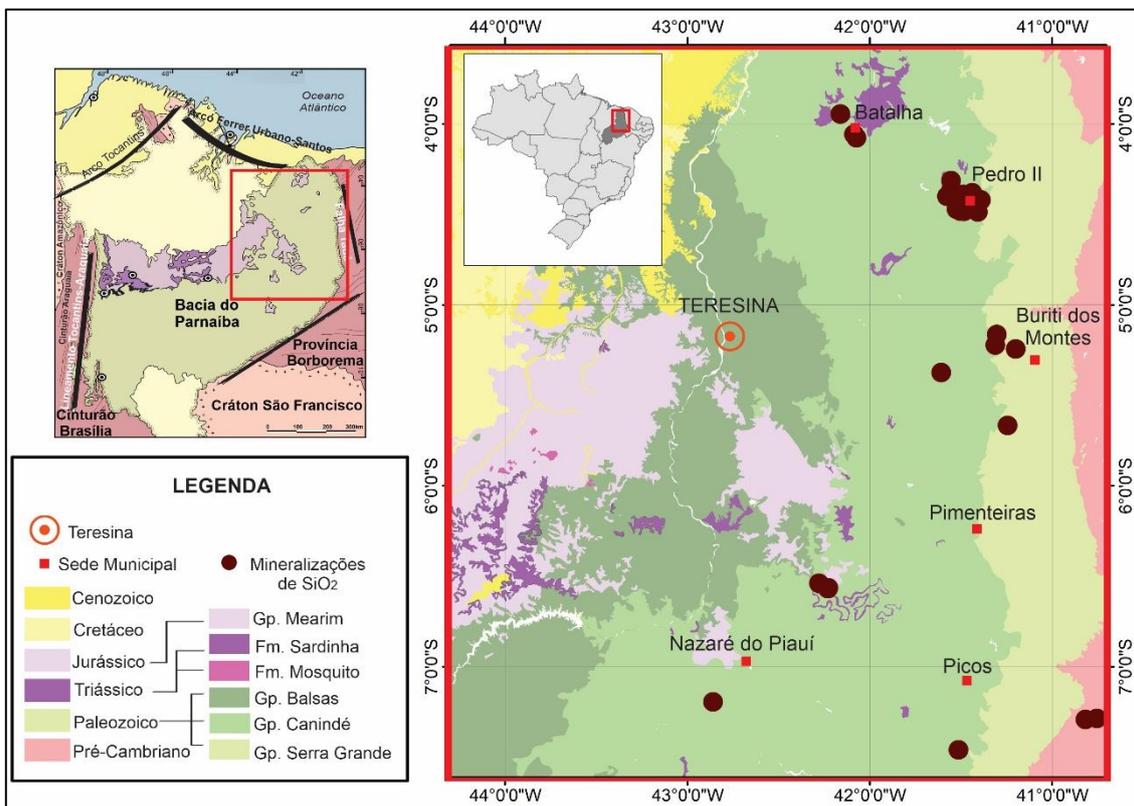
4.2 Mode ocorrência de quartzo no estado do Piauí

A maior parte das mineralizações de quartzo no Piauí está relacionada a uma zona de contato entre as rochas sedimentares arenosas dos Grupos Serra Grande e Canindé e de rochas ígneas máficas, em especial o diabásio da Formação Sardinha, ambos inseridos na Bacia do Parnaíba (Figura 6). Essas mineralizações de quartzo ocorrem como drusas ou agregados drúsicos, preenchendo veios, vênulas, bolsões e/ou cavidades tanto nas rochas sedimentares quanto nas ígneas e geralmente na região próxima ao contato entre as duas. A orientação dos veios e as cavidades é fortemente controlada e apresentam uma direção predominante para NE-SW e ENE-WSW.

A ocorrência dessas mineralizações foi identificada em diversos municípios do Piauí, como em Batalha, Buriti dos Montes, Castelo do Piauí, Campo Maior, Cocal, Esperantina, Pedro II, Piri-piri, etc., e as principais variedades descritas na literatura são o quartzo hialino, rosa, leitoso, ametista e o quartzo rutilado (LIMA & LEITE, 1978; GOMES & COSTA,

1994; OLIVEIRA, 1998; GOMES, 2002). Dentre esses municípios, as maiores e mais conhecidas ocorrências estão localizadas em Batalha, Pedro II e Buriti dos Montes.

Figura 6. Mapa de distribuição das mineralizações de sílica na borda leste da Bacia do Parnaíba, com base nos dados publicados na literatura.



Fonte: Elaboração do autor.

O município de Batalha é conhecido por suas ocorrências e garimpos de ametista, em que cristais de até 60 cm já foram relatados (CPRM, 1997), além das variedades hialino e leitoso, com tamanhos variando de 1 cm até 10 cm, ocorrendo preenchendo veios e fraturas (OLIVEIRA, 1998). Em Pedro II e Buriti dos Montes, por sua vez, são exploradas por garimpagem simples e mecanizada, opalas preciosas e laranja e calcedônias, muito apreciadas no mercado gemológico. Essas mineralizações estão frequentemente associadas com quartzo, nas variedades hialino, leitoso e ametistas, cujos cristais podem conter ainda inclusões de hematita, caulinita e/ou barita. O quartzo nessas mineralizações ocorre de semelhante ao das mineralizações de Batalha, preenchendo veios e cavidades, diferenciando-se apenas pela associação e pelo predomínio das opalas e calcedônias em relação ao quartzo.

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associa o com as mineraliza es de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

4.3 Aplica es

Essas ocorrências de quartzo apresentam potencial para uso como gemas, no artesanato mineral e para colecionadores em decorrência de sua ampla variedade de cores e tamanhos dos cristais. O seu modo de ocorrência geológica, como mencionado anteriormente,   relativamente simples, o que permite sua fácil extra o, em que o alto grau de fraturamento da rocha hospedeira facilita o trabalho dos prospectores.

Para o processo de beneficiamento, constatou-se que a distribui o da cor nos cristais   relativamente regular, porém o alto grau de fraturamento e o grande número inclusões e de películas (Figuras 5A e 5B) contribuem significativamente para a fragilidade mecânica e para a forma o de irregularidades na superfície dos cristais nos processos de beneficiamento, como lapida o e polimento (Figuras 7A, 7B e 7C). Alguns cristais apresentam um bom desempenho após a lapida o e exibiram uma superfície semi-lisa a lisa, com poucas irregularidades (Figuras 7D e 7E).

Figura 7. Amostras de quartzo utilizadas no teste de lapida o. Em A) Amostra jn natura (bruta). B) Amostra de quartzo com forma em caboch o. C) Quartzo com

lapidação em navete. D) Detalhe do brilho vítreo do quartzo e opacidade dos cristais após a lapidação.



Fonte: Acervo do autor

4.4 Gênese das mineralizações

Em termos gerais, os dados aqui apresentados quando comparados com aqueles já publicados para a região do município de Pedro II (GOMES & COSTA, 1994; SACHS *et al.*, 2015) e Buriti dos Montes (GOMES, 2002; MARQUES, 2014), demonstram uma forte semelhança geológica entre si, e ainda com Buriti dos Montes, ambos situados na porção leste da Bacia Sedimentar do Parnaíba. O que sugere mesmo processo genético de formação dessas mineralizações. Dentre as características mais comuns entre essas mineralizações estão a associação de minerais de sílica (SiO_2) com rochas arenosas e um diabásio/basalto hidrotermalizado. É comum junto a zona de contato das mineralizações, zoneamento e recristalização do arenito, em que a zona de maior transformação está próxima ao contato com o diabásio e/ou basalto.

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

O modelo hidrotermal para essas mineralizações em Pedro II e Buriti dos Montes foi proposto principalmente por Gomes & Costa (1994), Gomes (2002) e Marques (2014), o qual é extensível então à região de Batalha, contribuindo para o desenvolvimento das opalas e das variedades macro e microcristalina do quartzo. Segundo este modelo, durante o alojamento dos diques e soleiras de diabásio da Formação Sardinha nos arenitos dos grupos Serra Grande e Canindé houve uma intensa troca de calor do magma com os fluidos aquosos presentes nos poros dos arenitos, proporcionando a criação de um sistema hidrotermal (GOMES & COSTA 1994; MARQUES, 2014). A boa porosidade e permeabilidade dessas rochas atrelada ao conjunto de fraturas desenvolvido por essas intrusões, teriam facilitado a percolação de fluidos aquosos quentes e subsalinos, dissolvendo parcialmente os grãos de quartzo do arenito e enriquecendo o fluido em sílica. Após o resfriamento do fluido rico em sílica (SiO₂), ao saturar-se se precipitou na forma de opala e quartzo micro a macrocristalino (GOMES & COSTA, 1994; MARQUES, 2014).

Ao considerar o modo de ocorrência dessas mineralizações junto dos modelos genéticos propostos e os registros de intrusões máficas em arenitos com alteração hidrotermal associada (GOMES & COSTA, 1994; CPRM, 1997; OLIVEIRA, 1998; CARVALHO *et al.*, 2010; MARQUES *et al.*, 2015; SACHS *et al.*, 2015; MOCITAIBA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018; MILOSKI *et al.*, 2019; 2020), entende-se que esse sistema hidrotermal possa apresentar uma extensão muito maior do que é conhecido até o dias atuais, podendo também apresentar um grande potencial de descoberta de novas mineralizações de SiO₂ por toda a borda leste da Bacia do Parnaíba.

3 Considerações finais

Os dados geológicos e mineralógicos aqui apresentados demonstram uma grande semelhança das ocorrências de quartzo de Batalha com as mineralizações de quartzo, opala e calcedônia de Pedro II e Buriti dos Montes. Ressalta-se aqui a importância do hidrotermalismo na gênese dessas ocorrências, comprovada por evidências de campo, texturais e mineralógicas. A presença de uma distribuição irregular da cor e de inúmeras feições internas nos cristais, como inclusões, fraturas e manchas de cor influenciam negativamente no processo de beneficiamento envolvendo a lapidação desses materiais. No entanto, recomenda-se investigar a utilização desses cristais como matéria-prima para o artesanato mineral. Salienta-se, por fim, que o modo de ocorrência relativamente simples, e

que associa as inúmeras mineralizações na borda leste da Bacia do Parnaíba, abre perspectivas para novas descobertas e exploração comercial, tal como já ocorre na região de Pedro II.

Referências bibliográficas

ABRANTES JR., F.R.; NOGUEIRA, A.C.R., ANDRADE, L.S.; BANDEIRA, J.; SOARES, J.L.; MEDEIROS, R.S.P. **Register of increasing continentalization and palaeoenvironmental changes in the west-central pangaea during the Permian-Triassic, Parnaíba Basin**, Northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 93: 294–312. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.05.006>.

CARVALHO, L.M.; BATISTA, I.H.; FREITAS, L.C.B.; CUNHA, F.L.B. **Recursos Minerais**. In: PFALTZGRAFF, P.A.S. (ed.). *Geodiversidade do estado do Piauí*. Recife, CPRM, 25-36. 2010

COMMIN-FISCHER, A.; BERGER, G.; POLVÉ, M.; DUBOIS, M.; SARDINI, P., BEAUFORT, D.; FORMOSO, M. **Petrography and chemistry of SiO₂ filling phases in the amethyst geodes from the Serra Geral Formation deposit, Rio Grande do Sul, Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences*, 29: 751–760. 2010 <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.10.002>.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Pedras Preciosas PI/MA**. Relatório Técnico Anual. Diretoria de Recursos Minerais, Teresina, CPRM, 10 p. 1997.

DIAS, C.H.; CARNEIRO, M.L.S.; JUCHEM, P.L.; ROMANO, A.W. **Ocorrências de ametista em basaltos do Triângulo Mineiro (Minas Gerais):** descrição e comparações com depósitos similares do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 46 (3): 20. 2019. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.97385>.

GILG, H.A.; KRÜGER, Y.; TAUBALD, H.; KERKHOF, A.M.; FRENZ, M.; MORTEANI, G. **Mineralisation of amethyst-bearing geodes in Ametista do Sul (Brazil) from low-temperature sedimentary brines:** evidence from monophasic liquid inclusions and stable isotopes. *Mineral. Deposita* 49: 861–877. 2014. <https://doi.org/10.1007/s00126-014-0522-7>.

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

GILG, H.A.; MORTEANI, G.; KOSTITSYN, Y.; PREINFALK, C.; GATTER, I.; STRIEDER, A.J. **Genesis of amethyst geodes in basaltic rocks of the Serra Geral Formation (Ametista do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil):** a fluid inclusion, REE, oxygen, carbon, and Sr isotope study on basalt, quartz, and calcite. *Mineral. Deposita*, 38: 1009–1025. 2003. <https://doi.org/10.1007/s00126-002-0310-7>.

GÓES, A.M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, São Paulo, 204 p. 1995.

GÓES, A.M.O. & FEIJÓ, F.J. **Bacia do Parnaíba,** Rio de Janeiro: Boletim de Geociências da Petrobrás, 8 (1): 57-67. 1994.

GOMES, E.R. **Mineralogia e gemologia da opala laranja de Buriti dos Montes (Piauí, Brasil).** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 89 p. 2002.

GOMES, E.R. & COSTA, M.L. **Contribuição à mineralogia, geoquímica e gênese das Opalas de Pedro II (Piauí).** *Geochimica Brasiliensis*, 8 (1): 79-98. 1994.

JUCHEM, P.L. **Mineralogia, geologia e gênese dos depósitos de ametista da região de Alto Uruguai, Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 224p. 1999.

JUCHEM, P.L. **Amethyst mineralization in rhyodacites of the Serra Geral Group.** In: Hartmann, L.A., Baggio, S.B.B. (Orgs.) *Metallogeny and crustal evolution of the Serra Geral Group.* Ed. Instituto de Geociências/UFRGS, Porto Alegre, pp. 321-334. 2014.

KLEIN, C. & DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais.** Bookman. 23rd ed. Porto Alegre. 796p. 2012.

LIMA, E. de A. M.; LEITE, J. F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba**, MME; DNPM; CPRM, Recife: 1978. 16v.

MARQUES, G.T. **Opalas Gemológicas do Piauí: Gênese revelada por microtermometria e minerais associados**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará, 84 p. 2014.

MARQUES, G.T.; COSTA, M.L.; GOMES, E.R. **Orange opals from Buriti dos Montes, Piauí: solid inclusions as genetic guides**. Revista Escola de Minas (REM), 68 (1): 53-59. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672015680203>.

MILOSKI, P.; MENDES, J.C.; ALMEIRA, C.N.; VALENTE, S.C.; MEDEIROS, S.R. **Petrogenesis of continental flood basalts in eastern Parnaíba basin, Brazil: A singular sill occurrence with low- and high-TiO₂ tholeiites**. Journal of South American Earth Sciences, 94: 1-22. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.05.008>.

MILOSKI, P.; VALENTE, S.C.; MENDES, J.C.; ALMEIDA, C.N.; NEGRI, F.A.; MEDEIROS, S.R.; MIRANDA, A.W.; CORVAL, A.; BORGHI, L. **Petrogenesis of the Low-TiO₂ Batalha Suite in the eastern Parnaíba basin, northeastern Brazil**. International Journal of Earth Sciences. 109: 785–807. 2020. <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01829-5>.

MOCITAIBA, L.S.R.; CASTRO, D.L.; OLIVEIRA, D.C. **Cartografia geofísica regional do magmatismo mesozoico na Bacia do Parnaíba**. Geologia USP, Série científica, 17 (2): 16-192. 2017 <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v17-455>.

OLIVEIRA, A.L.; PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A.; OLIVEIRA, D.C. **Petrology of Jurassic and Cretaceous basaltic formations from the Parnaíba Basin, NE Brazil: correlations and associations with large igneous provinces**. Geological Society, London, Special Publications, 472: 273-308. 2018. <http://dx.doi.org/10.1144/SP472.21>.

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

OLIVEIRA, J.C. (ed.). **Recursos Gemológicos dos Estados do Piauí e Maranhão**. Informe de Recursos Minerais. Série Pedras Preciosas, nº 04. Teresina, CPRM, 36 p. 1998.

QUEIROZ, A.F.S.; COSTA, M.L.; GOMES, E.R. **Ocorrências de Quartzo leitoso e esfumado na região de Batalha, Estado do Piauí, Brasil**. Boletim do Museu de Geociências da Amazônia (BOMGEAM), 6: 1-13. 2019. <https://doi.org/10.31419/ISSN.2594-942X.v62019i1a1AFSQ>

ROSA, D.B. **Les gisements d'opales nobles de la region de Pedro II, dans l'estat de Piauí**. These de Docteur. L'Institut National Polytechnique de Lorraine/ Ecole Nationale Supérieure de Geologie de Nancy, 327 p. 1988.

SACHS, L.L.B.; BATISTA, I.H.; BRILHANTE, J.R. BRAGA, I.F.; AMARAL, E.S.; LEITÃO, G.V. **Projeto avaliação dos depósitos de opalas de Pedro II: estado do Piauí**. Informe de Recursos Minerais: Série Pedras Preciosas, 8. 88p. 2015.

VAZ, P.T.; REZENDE, N.G.A.M.; FILHO, J.R.W.; TRAVASSOS, W.A.S. **Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da Petrobras, 15 (2): 253-263. 2007.

Agradecimentos:

À Sra. Rosana de Carvalho Sousa, proprietária da Fazenda Caraíbas (Batalha-PI), pela hospitalidade, apoio nos trabalhos de campo e pela concessão de uma bolsa de iniciação científica ao primeiro autor durante um período de 8 meses e ao CNPq pelo apoio financeiro, por meio da taxa de bancada do segundo autor (Processo 305015/2016-8).
