



## Caracterização Mineralógica e Gemológica das Opalas de Buriti dos Montes – Piauí Mineralogical and Gemological Characterization of Opals from Buriti dos Montes – Piauí

Daniela Vasconcelos Machado<sup>1</sup>; Jurgen Schnellrath<sup>2</sup> & Joedy Patricia Cruz Queiroz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia,  
Av. Athos da Silveira Ramos 274 - Cidade Universitária - Ilha do Fundão, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>2</sup>Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT), Av. Pedro Calmon 900,  
Cidade Universitária, Ilha do Fundão, 21941-908, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mails: [dvasconcelos@id.uff.br](mailto:dvasconcelos@id.uff.br); [jurgen@cetem.gov.br](mailto:jurgen@cetem.gov.br); [joedypatricia@yahoo.com.br](mailto:joedypatricia@yahoo.com.br)

DOI: [http://doi.org/10.11137/2020\\_2\\_415\\_425](http://doi.org/10.11137/2020_2_415_425); Recebido: 01/02/2020 Aceito: 29/05/2020

### Resumo

A opala é um mineral polimorfo de sílica, onde o teor de água pode chegar até 20% em sua composição. Na gemologia, se destaca pela sua variedade de cores e pelo fenômeno de jogo de cores. A estrutura das opalas pode variar desde amorfa (opala -A), baixa cristalinidade (opala -CT) até alta cristalinidade (opala -C). Dada a importância da opala na gemologia e na região de Buriti dos Montes - Piauí, a pesquisa tem o objetivo de contribuir com uma caracterização gemológica e mineralógica das opalas das regiões de Tranqueira e Riacho do Meio. Foram analisadas opalas brancas e opalas laranjas a avermelhadas, também conhecidas como opala de fogo na gemologia. A caracterização de onze amostras foi baseada nas determinações da cor, densidade (d) e índice de refração (IR), análises de Espectroscopia Raman, Fluorescência de Raio-X (FRX) e Difração de Raio-X (DRX), realizada nos laboratórios do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Através dos resultados obtidos, as opalas de Buriti dos Montes foram classificadas como do tipo -CT (cristobalita-tridimita), de cristalização incipiente não totalmente amorfa. Destaca-se a amostra BM9, que apresentou na espectroscopia Raman picos não definidos e na análise de DRX a presença de caulinita em sua formação. Tais resultados sugerem que a opala encontra-se em estágio inicial de formação associada à caulinita, com características amorfas. A técnica de espectroscopia Raman foi aqui empregada com a finalidade de corroborar com o entendimento sobre o grau de cristalinidade das opalas de fogo, sendo tal técnica não utilizada em trabalhos anteriormente realizados na região.

**Palavras-chave:** Opala de Fogo; Espectroscopia Raman; Cristobalita-Tridimita

### Abstract

Opal is a polymorphic silica mineral, where the water content can reach up to 20% in its composition. In gemology, it stands out for its variety of colors and the phenomenon of color play. The structure of opals can vary from amorphous (opal-A), low crystallinity (opal-CT) to high crystallinity (opal-C). Given the importance of opal in gemology and the region of Buriti dos Montes - Piauí, the research has the objective to contribute to a gemological and mineralogical characterization of orange opals in the regions of Tranqueira and Riacho do Meio. White and orange to red opals, also known as fire opal in gemology, were analyzed. Eleven samples were collected, and color, density (d) and refractive index (IR) determinations were performed, and Raman Spectroscopy, X-Ray Fluorescence (XRF), and X-Ray Diffraction (XRD) analyzes were performed in laboratories of the Mineral Technology Center (CETEM). Through the results obtained, the opals of Buriti dos Montes were classified as type -CT (cristobalite-tridymite), with incipient crystallization, not totally amorphous. The BM9 sample stands out, which showed undefined peaks in Raman spectroscopy and in the XRD analysis, the presence of kaolinite in its formation. Such results suggest that the opal is in an early stage of formation associated with kaolinite, with amorphous characteristics. The Raman spectroscopy technique was used here in order to corroborate the understanding of the degree of crystallinity of fire opals, and this technique is not used in works previously carried out in the region.

**Keywords:** Fire Opal; Raman Spectroscopy; Cristobalite-Tridymite

## 1 Introdução

O Brasil encontra-se entre os principais países produtores de gemas, onde estas são grandemente apreciadas no mercado internacional devido a sua qualidade e variedades (Oliveira *et al.*, 2020). A exploração de gemas apresenta grande importância econômica no país, tornando necessário a caracterização gemológica com o intuito de avaliar os minerais para a comercialização. Além disso, a caracterização gemológica gera dados atualizados que permitem o reconhecimento e a diferenciação entre gemas e imitações.

A opala se encontra no grupo das gemas mais apreciadas em todo o mundo devido a sua beleza e raridade, principalmente quando apresenta jogo de cores, aumentando seu valor comercial. Na mineralogia, a opala é um polimorfo da sílica hidratada ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), sendo reconhecida como uma fase intermediária entre a sílica amorfa, biogênica e a calcedônia, com teor de água variando de 1 a 20 % (Brum *et al.*, 2009; Giuliano, 2015; Fröhlich, 2020). Varia de transparente a quase opaca e destaca-se pela enorme variedade de cores que pode exibir. Comumente são divididas em dois grupos: as opalas comuns (sem jogo de cores) e as opalas preciosas (com jogo de cores e bem mais raras) (Pimentel, 2007). Opalas de cores laranjas a avermelhadas são conhecidas como opala de fogo, e é grandemente apreciada no mercado gemológico. A estrutura das opalas pode variar desde uma mistura de cristobalita-tridimita, sendo estas de baixa cristalinidade conhecidas como opalas -CT, até cristobalita, com alta cristalinidade, chamada de opala -C, sendo estes polimorfos da sílica, onde a tridimita é estável em temperaturas mais baixas do que a cristobalita. (Jones & Segnit, 1971). Opalas que não apresentam cristalinidade (amorfas) ou apresentam estrutura extremamente desordenada, são conhecidas como opala -A. A utilização da opala está ligada principalmente à indústria de joias e artesanato mineral como objetos ornamentais.

A classificação das opalas segundo a cristalinidade auxilia no entendimento da formação deste mineral e na compreensão do seu valor gemológico. A opala -C, estruturas bem ordenadas, é comumente associada a lavas e fluxos hidrotermais tardios e as opalas -CT podem estar associadas as argilas e agrupam a maior parte das opalas comuns, raramente com jogos de cores. A maior parte das

opalas que apresentam jogo de cores encontram-se no grupo das opalas -A, associadas, por vezes, as argilas (Jones & Segnit, 1971).

O Piauí é o estado brasileiro onde se encontram as mais importantes jazidas de opala, situadas nos arredores dos municípios de Pedro II e Buriti dos Montes, estando estes depósitos dentro da Bacia do Parnaíba (Vidal *et al.*, 2018). Outras ocorrências brasileiras encontram-se no Rio Grande do Sul, Bahia, Minas Gerais, Rio Grande do Norte e Ceará (Pimentel, 2007). Como ocorrência mundial, além da Austrália, podemos citar alguns países como o Peru, México, Iugoslávia, Somália, Madagascar, EUA, França, Turquia, Sérvia, Kazaquistão, Leste da África, Espanha e Hungria.

Por muito tempo, o município de Pedro II foi o único produtor importante de opala preciosa, sendo suas jazidas exploradas desde os anos 60 (Sauer, 1982; Caucia *et al.*, 2009; Vidal *et al.*, 2018). Suas opalas apresentam excelentes propriedades gemológicas sendo consideradas como uma das melhores opalas preciosas do mundo. Já em Buriti dos Montes, a exploração começou de forma intermitente, com a extração de pedras como opala e quartzo. Em regiões como Santana e Tranqueira, a atividade de exploração é feita de maneira rudimentar através da Cooperativa dos garimpeiros locais. No entanto, a informalidade na extração e falta de informação quanto a qualidade e gênese destes depósitos, não permitem a prospecção de novas jazidas e o estabelecimento de um certificado que permita sua inclusão no mercado gemológico internacional. Deste modo, vemos a necessidade de estudos focados na caracterização destes minerais e na sua qualidade gemológica nesta região.

Em Buriti dos Montes são encontradas ocorrências de opala laranja (conhecidas como opalas de fogo), principalmente em depósitos primários, na forma de vênulas e veios encaixados discordantemente em arenitos pertencentes ao Grupo Serra Grande, integrante da Bacia Sedimentar do Parnaíba (Gomes, 2002). Informações geológicas a respeito da ocorrência e pequenos registros das opalas na região devem-se a Rosa (1988) e Johnson & Koivula (1998). Gomes (2002) foi um dos pioneiros e principal estudo científico das características gemológicas das opalas laranjas da região. No entanto, poucos estudos são, ainda, encontrados na localidade.

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização gemológica como também química e mineralógica das opalas laranja de duas regiões localizados no município de Buriti dos Montes, com o intuito de agregar informações a respeito do potencial gemológico e sua aplicabilidade. A técnica de espectroscopia Raman, não utilizada em trabalhos anteriores nestas localidades, foi utilizada a fim de contribuir para um melhor entendimento sobre a cristalinidade das opalas.

## 2 Área de Estudo

### 2.1 Localização

O Município de Buriti dos Montes está localizado na microrregião Campo Maior compreendendo uma área de 2.286 km<sup>2</sup>, tendo como limites ao norte os municípios de Pedro II e Milton Brandão, ao sul São Miguel do Tapuio e Castelo do Piauí (Figura 1A). A sede municipal dista cerca de 250 km de Teresina e apresenta altitude de 500 m acima do nível do mar.

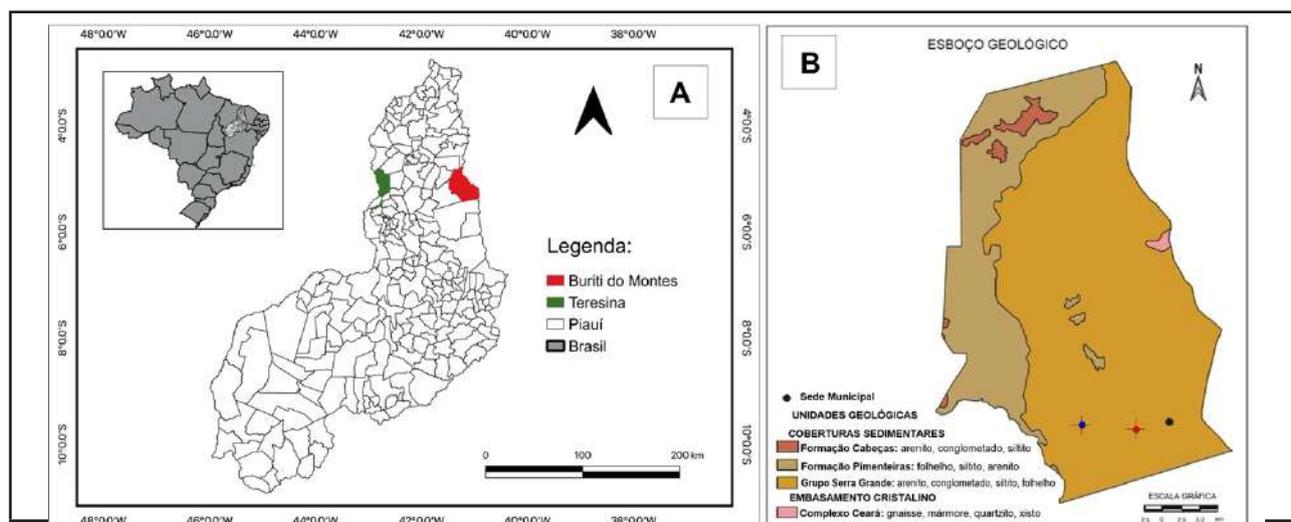


Figura 1 A. Mapa de localização do município de Buriti dos Montes – Piauí; e B. Esboço Geológico com as localidades de Tranqueira (em azul) e Riacho do Meio (em vermelho) (FONTE: adaptado de Aguiar & Gomes, 2004).

### 2.2 Contexto Geológico

O Município de Buriti dos Montes encontra-se dentro do contexto da Bacia Sedimentar do Parnaíba de idades Paleo-Mesozoica (Figura 1B). Geologicamente, cerca de 98% da área do município está ocupada por litologias cujas unidades geológicas pertencem as coberturas sedimentares e 2% da área afloram rochas do embasamento cristalino, pertencente ao Complexo Ceará, que reúne gnaises, mármore, quartzitos e xistos (Aguiar & Gomes, 2004).

A região está estratigraficamente representada pelo Grupo Serra Grande, de idade Siluriana, representado por conglomerados, arenitos e intercalações de siltitos e folhelhos depositados sobre o embasamento cristalino, sobreposto pelo Grupo Canindé, de idade Devoniana, as quais pertencem às Formações Pimenteiras, constituída de arenitos, siltitos e folhelhos, e Cabeças, agrupando arenitos, conglomerados e siltitos (Góes *et al.*, 1990; Neves *et al.*, 1990).

Do Jurássico ao Cretáceo, um magmatismo

básico hipoabissal e extrusivo na forma de soleiras e diques, Formação Sardinha do Grupo Canindé, se estabeleceu na Bacia como consequência da separação das placas Sul-Americana e Africana. Coberturas lateríticas pouco evoluídas, de idade Tercio-Quaternária, sobrepõem-se sobre as rochas básicas e sedimentares (Oliveira *et al.*, 1979; Rosa, 1988). As aluviões ao longo das drenagens são constituídas de matacões e seixos de rochas básicas, sedimentares e lateritos oriundos das unidades anteriormente descritas e de calcedônia, cristal de rocha, ametista e opala.

O contexto geológico dos depósitos de opalas do Piauí está situado nos lineamentos Transbrasilianos e Picos-Santa Inês (Gomes, 2002; CPRM, 2014). De um modo geral, as opalas do Piauí estão associadas às sequências sedimentares em contato com os diques de diabásio (Souza, 1984; Rosa, 1988).

Na região de Buriti dos Montes afloram os sedimentos clásticos do Grupo Serra Grande (conglomerados, arenitos, siltito e folhelhos), cortados por diques básicos (Góes & Feijó, 1994).

Particularmente na área da antiga Mineração Orion afloram arenitos feldspáticos e micáceos com estratificação plano-paralela e cruzada, cortados por vênulas subverticais preenchidas por argilominerais e, localmente opalas (CPRM, 2014).

Segundo Gomes (2002), as opalas de Buriti dos Montes se encontram em veios e vênulas nos diabásios e arenitos, com fraturas preenchidas por oxihidróxidos de Fe e caulinita. Apresentam estágio de cristalinidade variando do tipo amorfo até o tipo cristobalita-tridimita. Aquelas de menor cristalinidade são recomendadas para o uso na joalheria devido sua menor sensibilidade frente às variações de temperatura. Associados as opalas, são encontrados veios de quartzo, calcedônia, barita e hematita (ou goethita).

A gênese das opalas do Piauí foram focos de discussão desde a década de 70. Apenas a partir dos últimos anos com trabalhos realizados por Gomes (2002), Gomes & Costa (2007), Marques (2011) e Marques *et al.* (2012), concluiu-se que as opalas desta região são formadas em decorrência de atividades hidrotermais desencadeadas pela intrusões de diabásios da Formação Sardinha em rochas sedimentares dos grupos Serra Grande e Canindé. No entanto, trabalhos sobre as características físico-químicas dos fluidos hidrotermais que teriam originado esses depósitos de opalas ainda precisam ser elucidados.

### 3 Materiais e Métodos

As opalas utilizadas neste estudo são provenientes das localidades de Riacho do Meio e Tranqueira onde, dentre as amostras brutas coletadas foram selecionadas 11 para a realização da caracterização gemológica e mineralógica. Após a seleção, as amostras foram fotografadas e em seguida, desbastadas, a fim de se obter uma superfície lisa e polida para a realização das análises. Os ensaios e análises descritos a seguir foram realizados no Laboratório de Pesquisas Gemológicas – LAPEGE no Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. A determinação da cor é uma das propriedades físicas mais importantes para a identificação da gema, e foi realizada em luz natural e clara, utilizando a superfície polida recentemente e evitando superfícies oxidadas que altere a cor primária da espécie analisada.

A densidade (d) foi determinada segundo a Equação (1), utilizado uma balança analítica digital de precisão (Mettler Toledo JPJ603C), onde  $P_{ar}$

corresponde ao peso da gema no ar e  $P_{água}$  o peso da gema submersa em água.

$$d = P_{ar} / (P_{ar} - P_{água}) \quad (1)$$

O Índice de Refração (IR) foi determinado através de um refratômetro Schneider RF2 com leitura de índices de refração de 1,30 a 1,81 e filtro monocromático amarelo. A leitura é feita na face espelhada obtida após a amostra ser desbastada e polida.

Para a identificação do mineral e sua caracterização química foram utilizadas as técnicas de espectroscopia Raman e Fluorescência de Raios-X.

A espectroscopia Raman é uma técnica vibracional que usa uma fonte monocromática de luz que incide sobre a face plana do mineral, gerando uma luz de energia diferente da incidente (D’Azevêdo & Schnellrath, 2014). Através da diferença de energia podem-se identificar a maioria das espécies minerais, dentre estas as gemas e pedras preciosas. O espectrômetro Raman utilizado foi o BWS415-785H - GemRam. Fabricante: BWTEK. Possui laser vermelho (785nm) e um banco de dados de fábrica (GemID 1.0, da GemExpert). Faixa de varredura: 175 a 2700  $cm^{-1}$ .

A Fluorescência de Raios-X (FRX) foi realizada através do equipamento Orbis PC SDD da EDAX usando uma área desbastada e polida da amostra, sob condições analíticas de kV:50, uA:500, 30 um-Spot, TC:1,6uSecs. Os valores foram calculados sob forma de óxidos e normalizados a 92%, sendo 8% descontados referente aos elementos leves indetectáveis pela técnica (L.O.I = perda ao fogo; Santiago, 2015; Miranda & Schnellrath, 2016; Santiago *et al.*, 2017).

A Difração de raios-X (DRX) foi realizada no equipamento Bruker-D4 Endeavor, com condições analíticas: radiação  $CoK\alpha$ , com  $\lambda=0.179021$  nm e gerador operando a 35 kV/40 mA, velocidade do goniômetro de  $0,02^\circ 2\theta$  por passo, com tempo de contagem de 1 segundo por passo, coletados de  $5$  a  $80^\circ 2\theta$ .

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Características Gemológicas

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos nas análises de densidade (d) e índice de refração (IR), bem como a identificação da coloração, transparência e localidade das amostras.

ID	Localidade	Coloração	Transparência	d	IR
BM1	Riacho do Meio	Branca	Opaca	2,085	1,449
BM2	Riacho do Meio	Vermelha	Opaca	1,987	1,441
BM3	Tranqueira	Branca	Opaca	1,892	1,428
BM4	Tranqueira	Laranja	Opaca	2,007	1,439
BM5	Riacho do Meio	Amarela	Translúcida	2,006	1,443
BM6	Riacho do Meio	Amarela	Pouco Translúcida	2,023	1,442
BM7	Riacho do Meio	Amarela	Translúcida	2,090	1,450
BM8	Tranqueira	Laranja	Translúcida	2,000	1,439
BM9	Tranqueira	Amarela	Opaca	2,092	1,442
BM10	Tranqueira	Branca	Opaca	1,849	1,424
BM11	Tranqueira	Vermelha	Opaca	2,017	1,438

Tabela 1 Localidade, coloração, densidade (d) e índice de refração (IR) das opalas de Buriti dos Montes.

As opalas de Buriti dos Montes analisadas (Figura 2) apresentaram uma diversidade de cores básicas, variando de branca, amarela, laranja e vermelha. Quanto à diafanidade de modo geral é opaca, com algumas amostras translúcidas. Algumas

amostras estudadas exibiram craqueamento em temperatura ambiente, e nenhuma apresentou jogo de cores. Tais descrições estão de acordo com as descrições realizadas por Gomes (2002).

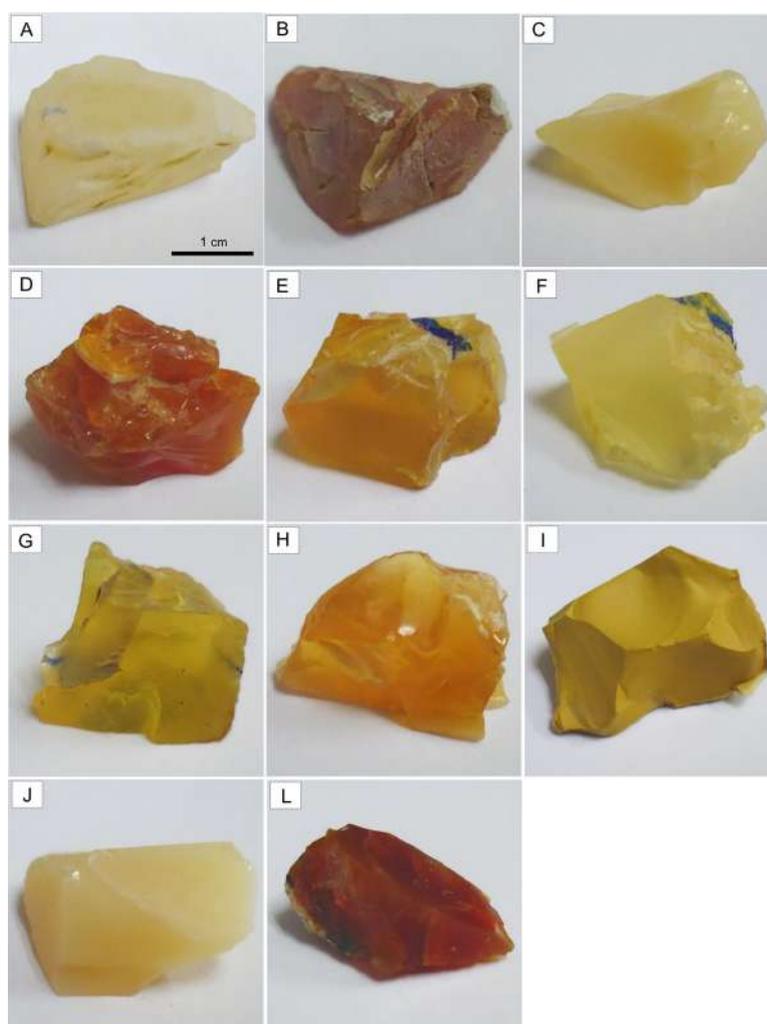


Figura 2 Fotografia das amostras de opala de Buriti dos Montes; A. BM1; B. BM2; C. BM3; D. BM4; E. BM5; F. BM6; G. BM7; H. BM8; I. BM9; J. BM10; e K. BM11.

A densidade da opala varia de 1,97 - 2,22 (Lazzarelli, 2002). As amostras de Buriti dos Montes apresentaram densidade variando de 1,892 – 2,092, estando estes valores mais baixos do que os descrito por Gomes (2002), que relatou densidades entre 2,08 a 2,20. As amostras BM3 e BM10, ambas da localidade de Tranqueira, apresentaram resultados distintos e abaixo do que se esperava com densidade igual a 1,892 e 1,849 respectivamente. Silva (2007) descreve valores de densidade para as opalas igual a 2,130 para a amostra sem craqueamento e 1,950 para a amostra craqueada. De acordo com esses resultados podemos presumir que os baixos valores encontrados nas amostras BM3 e BM10 podem ser um reflexo da interferência do craqueamento encontrado nestas amostras. As demais amostras estudadas encontram-se dentro dos valores tabelados na literatura.

Segundo Miceli & Schnellhath (2013), opalas de fogo geralmente apresentam densidades em torno de 2,00. As opalas de Buriti dos Montes apresentaram densidades próximas deste valor, sendo a maior densidade encontrada na amostra BM9 (igual a 2,092).

Os resultados dos índices de refração variaram de 1,424 – 1,450, apresentando comportamento esperado com valores condicentes com os tabelados (1,420 – 1,470, segundo Lazzarelli (2002). Gomes (2002) registrou valores em torno de 1,455 ( + 0,005, - 0,015).

Correlacionando a densidade e o índice de refração em um gráfico, é possível perceber o comportamento linear entre elas e que os tipos -CT e -C de opala se agrupam em campos distintos, estando as opalas do tipo -CT nos valores mais baixos de densidade e índice de refração (Schnellrath, 2008). Segundo Langer & Florke (1974), quanto menor o índice de refração e densidade, mais hidratada será a opala. Neste trabalho, as opalas apresentaram comportamento linear entre a densidade e o IR, como esperado, e devido aos baixos valores obtido nas análises, as amostras encontram-se dentro do campo das opalas do tipo -CT, com menor cristalinidade e mais hidratadas (Figura 3). As amostras BM3 e BM10 apesar de apresentarem valores distintos dos esperados mantiveram a linearidade entre os parâmetros.

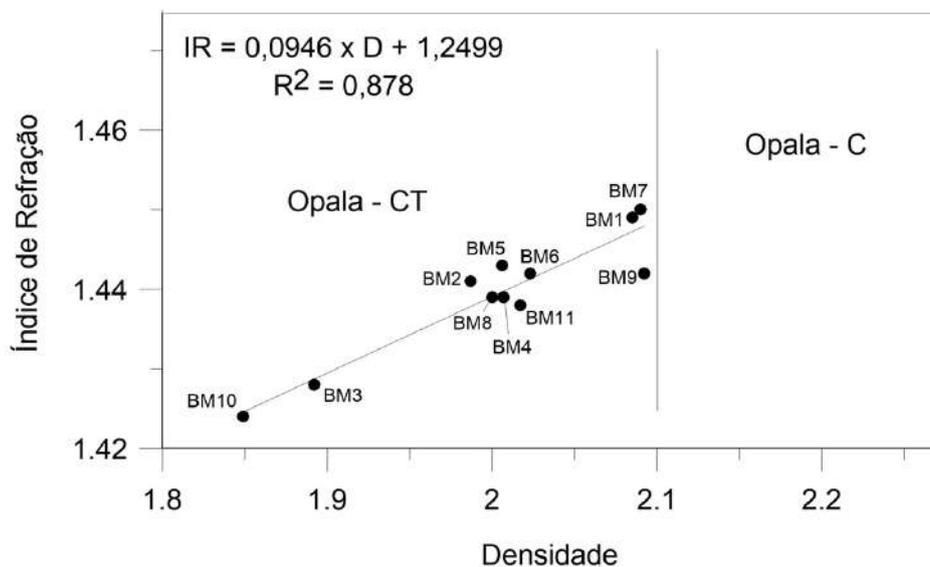


Figura 3 Correlação entre o índice de refração e densidade das opalas estudadas.

#### 4.2 Espectroscopia Raman

Os resultados adquiridos apresentaram espectros com bandas centradas em torno de 350  $\text{cm}^{-1}$ , com arranjo do tipo tridimita (Figura 4). Arranjos do tipo cristobalita são caracterizados

por fortes sinais de Raman em 231 e 418  $\text{cm}^{-1}$ . Os resultados são compatíveis com opalas do tipo -CT (cristobalita-tridimita), de cristalizações incipientes não totalmente amorfas.

As amostras BM7 e BM9 não apresentam picos

bem definidos na banda da cristobalita – tridimita e sugerem que essas amostras apresentam menor grau de cristalinidade e encontra-se em estágio inicial de formação mineralógica. Além disso, estas amostras

apresentaram espectros diferenciados em relação às demais, mostrando uma transição de opala do tipo A (amorfa) para opala do tipo -CT.

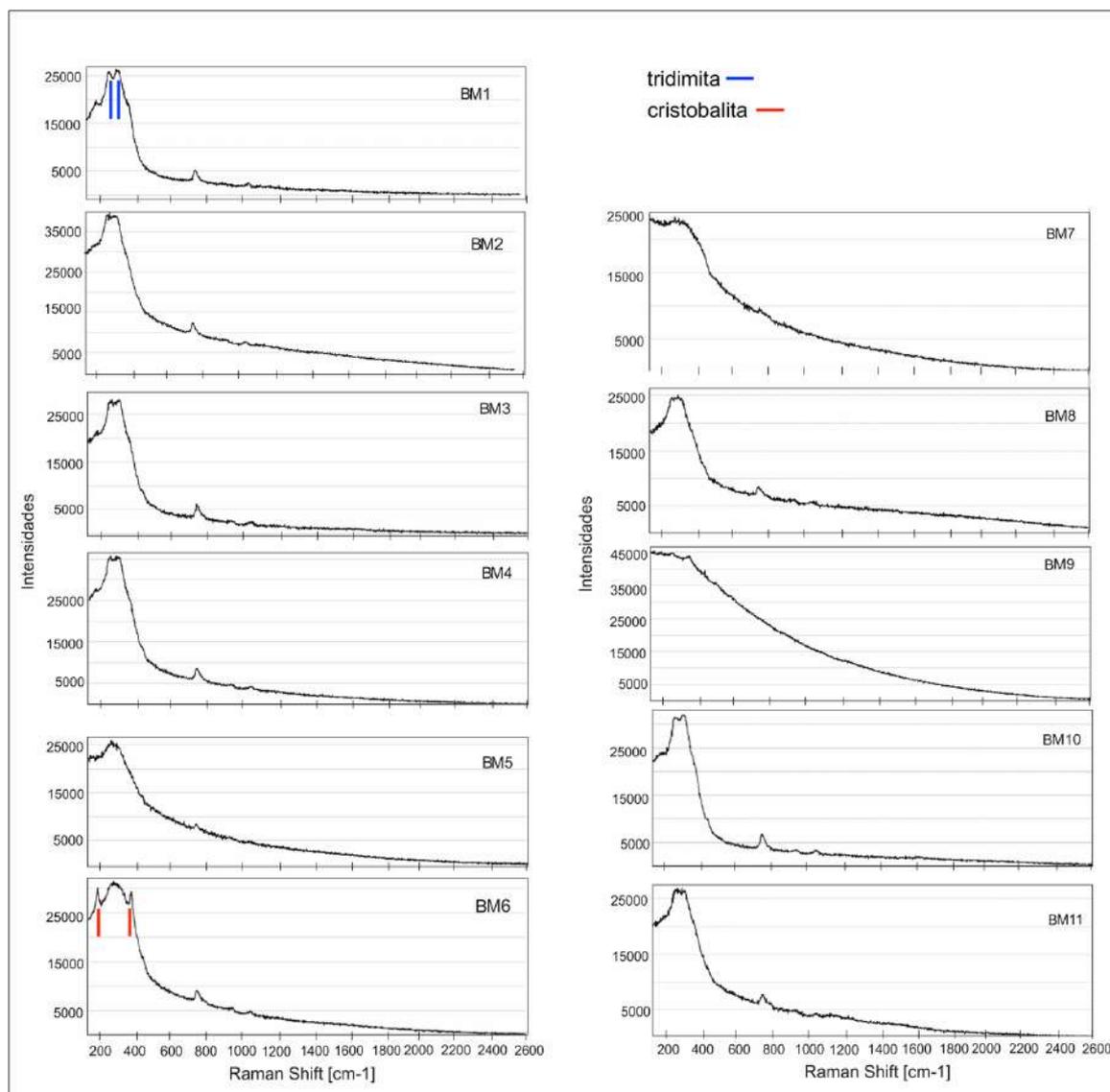


Figura 4 Espectros Raman das amostras de opalas de Buriti dos Montes.

### 4.3 Composição Química

Em geral, as opalas de Buriti dos Montes são compostas de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (Marques, 2014). As análises químicas por Fluorescência de Raios-X mostraram a presença predominante de  $\text{SiO}_2$  em todas as amostras, seguida do  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}$  exceto para a amostra BM9. As médias percentuais, excluindo a amostra BM9, encontradas foram iguais a 89,55% de  $\text{SiO}_2$ , 1,12% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0,16% de  $\text{CaO}$ , 0,06% de  $\text{K}_2\text{O}$  e 0,05% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tabela 2 e Figura 5). Em contraste, encontra-se a amostra BM9 que apresentou uma grande concentração de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (5,25%), seguida de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (8,30%), e a menor

concentração de  $\text{SiO}_2$  (79,89%).

Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,4%) obtidos por Gomes (2002), diferem dos resultados obtidos neste estudo. O mesmo se observa para o teor médio de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,3%), estando acima dos resultados observados neste trabalho. O Fe encontrados nas amostras das localidades de Tranqueira e Riacho do Meio, reforçam as discussões sobre a gênese das opalas na região, onde foram descritas fraturas preenchidas por oxihidróxidos de Fe. Gomes (2002) relatou ainda teores de  $\text{CaO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  na ordem de 0,03%, bem abaixo dos teores médios obtidas na atual análise.

ID	SiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
BM1	89,14	0,13	0,08	0,07	0,78	92,00
BM2	89,64	0,15	0,11	0,15	1,25	91,99
BM3	89,34	0,10	0,05	0,01	1,01	92,00
BM4	90,06	0,11	0,02	0,03	1,18	92,00
BM5	89,29	0,14	0,07	0,04	1,10	91,99
BM6	90,29	0,20	0,04	0,01	1,12	92,00
BM7	90,01	0,25	0,07	0,01	1,47	91,99
BM8	89,16	0,18	0,07	0,02	0,77	91,99
BM9	79,89	0,22	0,14	5,25	8,30	91,98
BM10	89,08	0,17	0,06	0,02	1,19	91,99
BM11	89,53	0,14	0,05	0,13	1,34	92,00
*Média	89,55	0,16	0,06	0,05	1,12	92,00

Tabela 2 Composição química das amostras de Buriti dos Montes. \*A média não leva em consideração a amostra BM9.

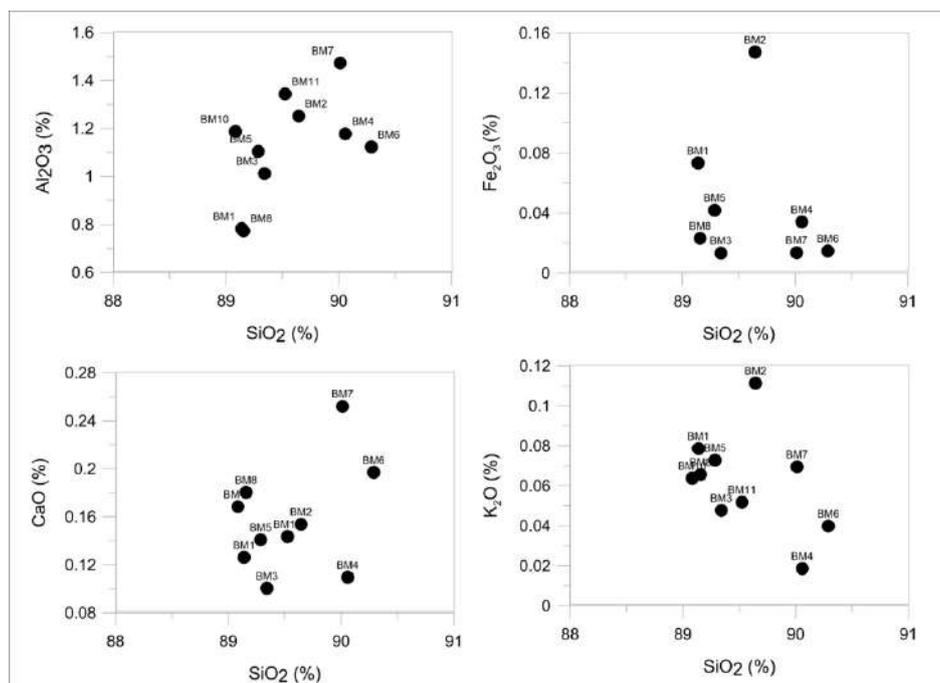


Figura 5 Diagramas biplot com as variações dos principais elementos maiores entre as amostras analisadas.

#### 4.4 Características mineralógicas

As amostras foram submetidas à análise cristalográfica por difração de raios-X (DRX), que é uma das principais ferramentas analíticas utilizadas na identificação microestrutural de uma amostra. A Figura 6 mostra os padrões de DRX obtidos para as amostras de opala de Buriti dos Montes. A DRX é uma técnica destrutiva, optando-se, portanto, a não realização da análise nas amostras BM7 e BM8.

A partir dos difratogramas obtidos, observa-se que as opalas apresentam cristalinidade e presença

de dois picos principais em 2θ iguais a 20,6 e 21,7 correspondendo respectivamente aos picos de α-tridimita e de α-cristobalita (Graetsch, 1994). As amostras foram classificadas como opala do tipo –CT, sendo estes resultados compatíveis com os encontrados por Silva (2007). Gomes (2002) por sua vez, classifica as opalas laranja de Buriti dos Montes como opalas do tipo –A (amorfas) e diversos estágios intermediários de cristalinidade atingindo os tipos –CT (cristobalita – tridimita).

Exceto nas amostras BM1 e BM5, em todas

as amostras foram detectadas a presença de quartzo, e na amostra BM9, foi detectado a caulinita e a hematita. A caulinita encontrada na amostra BM9 corrobora com os resultados obtidos no espectro

Raman, de que esta amostra se encontra em estágio inicial de formação e, complementa sugerindo que a opala ocorre associada à caulinita.

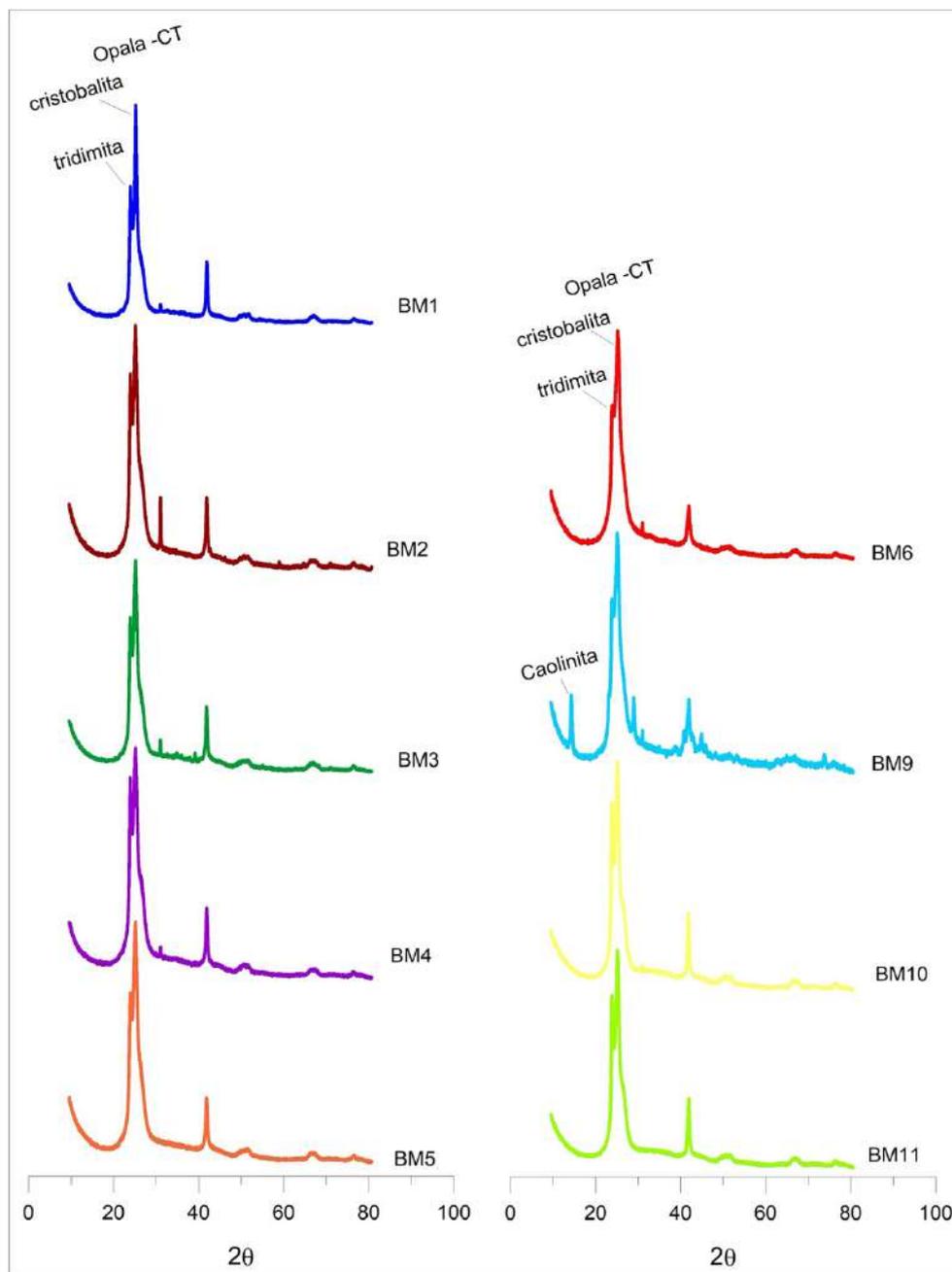


Figura 6 Difratomogramas de Raios-X das opalas de Buriti dos Montes.

## 5 Conclusões

Com base nos resultados encontrados, as opalas estudadas de Buriti dos Montes apresentam características gemológicas compatíveis com os citados na literatura, principalmente com os resultados apresentados por Gomes (2002), com uma diversidade de cores básicas, variando de

branca, laranja a vermelha, sem jogo de cores, Quanto à diafanidade de modo geral é opaca, com algumas amostras translúcidas. A densidade de 1,892 a 2,092 e o índice de refração de 1,370 a 1,470 estão dentro do citado na literatura, mas com algumas amostras abaixo dos valores encontrados por Gomes (2002), o que pode estar associado aos

craqueamentos encontrados nas amostras de menor densidade e índices de refração.

Nas opalas analisadas, a FRX mostrou a presença predominante de SiO<sub>2</sub> variando de 79,89% a 90,29%, com a presença de outros componentes químicos em quantidades menores de 2%. A amostra BM9 da localidade de Tranqueira apresentou alguns resultados distintos em relação as demais amostras, como alta quantidade de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> detectado na FRX e a presença de caulinita e hematita mostrado no DRX. Estes resultados podem ser associados a gênese da opala, onde segundo a literatura a opala da região ocorre através de processos hidrotermais, com fraturas preenchidas por oxihidróxido de Fe e caulinita. De acordo com os resultados do Raman, esta mesma amostra apresenta espectro variando de opala-A para opala-CT, podendo-se associar a processos de estágio inicial de formação, com características amorfas, associada a caulinita.

Os resultados adquiridos através da espectroscopia Raman e DRX, apresentaram espectros compatíveis com opalas do tipo -CT, cristobalita-tridimita, de cristalizações incipientes não totalmente amorfas. A técnica Raman foi aplicada a fim de corroborar com as informações e entendimento do grau de cristalinidade das opalas, não sendo esta técnica utilizada em trabalhos anteriormente realizados na região. O estudo das opalas de Buriti dos Montes foi realizado visando contribuir com informações sobre a caracterização geomológica e mineralógica, agregando conhecimento sobre as gemas da região. Os resultados obtidos neste estudo corroboram com outras pesquisas realizadas na área, caracterizando as opalas de localidades ainda não analisadas. Os resultados aqui obtidos podem ser utilizados para agregar informação em estudos futuros para um aprofundamento das discussões sobre a qualidade gemológica e gênese destas opalas.

## 6 Agradecimentos

Este estudo foi financiado e apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

## 7 Referências

Aguiar, R.B & Gomes, J.R.C. 2004. *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do*

*Piauí: diagnóstico do município de Buriti dos Montes*. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 22p.

- Brum, T.M.M; Augustin, A.H.; Juchem, P.L. & Hartmann, L.A. 2009. Opala no Rio Grande do Sul, Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE DESIGN E GEMOLOGIA DE PEDRAS, GEMAS E JÓIAS DO RIO GRANDE DO SUL, 1, Soledade, 2009. Resumo expandido, Soledade, UPF.
- Caucia, F.; Ghisoli, C. & Adamos, I. 2009. A study on the characteristics of some C- and CT opals from Brazil. *Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 185(3): 289-296.
- CPRM (Serviço geológico do Brasil). 2014. *Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil - Opalas de Pedro II e Buriti dos Montes, Estado do Piauí*.
- D’Azevêdo, R.G.B. & Schnellrath, J. 2014. Espectroscopia raman de baixo custo aplicada à gemologia: otimização e ampliação do banco de dados. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - CETEM, 22, Rio de Janeiro, 2014. Resumo expandido, Rio de Janeiro, CETEM.
- Frohlich, F. 2020. The opal-CT nanostructure. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 533.
- Graetsch, H. 1994. Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals. In: HEANEY, P.J.; PREWITT, C.T. & GIBBS, G.V. (eds.). *Silica physical behavior, geochemistry and materials applications*. Reviews in Mineralogy, 29, p. 209 – 232.
- Giuliano, W.S. 2015. *Caracterização de opala do Rio Grande do Sul por MET, MEV e DRX*. Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), 63p.
- Góes, A.M.O. & Feijó, F.J. 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8(1): 57-68.
- Góes A.M.O.; Souza J.M.P. & Teixeira, L.B. 1990. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. *Boletim Técnico da Petrobras*, 4(1): 56-64.
- Gomes, E.R. 2002. *Mineralogia e Gemologia da Opala Laranja de Buriti dos Montes (Piauí – Brasil)*. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Dissertação de Mestrado, 89p.
- Gomes, E.R. & Costa, M.L. 2007. Opalas do Piauí, Pedro II – Buriti dos Montes (Parte II). *Diamond News*, 8: 54-59.
- Johnson, M.L. & Koivula, J. 1998. Cat’s-eye opal from Tanzania. *Gems & Gemology. Gem News*: 138-140.
- Jones, J.B. & Segnit, E.R. 1971. The nature of opal I. Nomenclature and constituent phases. *Journal of the Geological Society of Australia: An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia*, 18(1):

- 57-68.
- Langer, K. & Florke, O.W. 1974. Near infrared absorption spectra (4.000 - 9.000 cm<sup>-1</sup>) of opals and the role of “water” in these SiO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O minerals. *Fortschr Miner*, 52: 17-51.
- Lazzarelli, H. N. 2002. Blue Chart - Gem Identification: Natural / Treated / Synthetic / Imitation.
- Marques, G.T. 2011. *Inclusões sólidas em opalas laranja de Buriti dos Montes (Piauí – Brasil): morfologia, mineralogia e composição química*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), 75p.
- Marques, G.T.; Costa, M.L.; & Gomes, E.R. 2012. As fascinantes inclusões sólidas das opalas laranja de Buriti dos Montes (PI). *Diamond News*, 37: 45-52.
- Marques, G.T. 2014. *Opalas gemológicas do Piauí: gênese revelada por microtermometria e minerais associados*. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Dissertação de Mestrado, 84p.
- Miceli, R.S. & Schnellrath, J. 2013. Nova metodologia para distinção entre opalas-c e cristobalita. *In: JORNADA DO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INTERNA – CETEM*, 3, Rio de Janeiro, 2013. Resumo expandido, Rio de Janeiro, CETEM.
- Miranda, B.R. & Schnellrath, J. 2016. Desenvolvimento de um método para análise do teor de ouro em joias empregando a fluorescência de raios-x. *In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - CETEM*, 24, Rio de Janeiro, 2016. Resumo expandido, Rio de Janeiro, CETEM.
- Neves, C.A.; Silva, A.B.; Góes, A.M. & Lima, M.P. 1990. *Projeto de Exploração, Bacia do Parnaíba*. Petrobras (Relatório Interno), Belém, 24p.
- Pimentel, P.C. 2007. *Caracterização de opalas-CT coloridas de qualidade gema*. Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), 45p.
- Oliveira, J.C.; Cardoso C.E.T.; Quinho J.S. & Amorim, H.J. 1979. *Projeto Opala em Pedro II* (Relatório Final). DNPM/CPRM, Recife.
- Oliveira, I.G.; Carneiro, L.S.; Saraiva, C.E.R.; Mattos, I.C. & Neri, T.F.O. 2020. Caracterização gemológica das Turmalinas de Quixeramobim. *Anuário do Instituto de Geociências/UFRJ*, 43(1): 207-217.
- Rosa, D.B. 1988. Les gisements d’opales nobles de la region de Pedro II, dans l’Etat de Piauí (region nord-est du Brésil). Th, Docteur, INPL-ENSG, Nancy, 327p.
- Santiago, C.S. 2015. *Caracterização mineralógica e gemológica das ocorrências de opala verde, localmente com efeito olho-de gato, na região de Socotó, Bahia*. Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), 79p.
- Santiago, C.S.; Miranda, B.R. & Schnellrath, J. 2017. Otimização de um método de fluorescência de raios-X para análise de ouro em joias. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE OURIVESARIA E DESIGN DE JOIAS*, 1, Belo Horizonte, 2017. Resumo expandido, Belo Horizonte, p. 173-185.
- Sauer J.R. 1982. *Brazil, paradise of gemstones*. Rio de Janeiro, Geological Institute of America.
- Silva, E.E. 2007. *Caracterização Gemológica e Mineralógica de Opalas Preciosas de Pedro II*. Programa de Pós Graduação em Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 53p.
- Schnellrath, J. 2008. Opalas azuis: umas falsas, outras verdadeiras. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 44, Curitiba, 2008.
- Souza, V.C. 1984. *Perfil Analítico da Opala*. Brasília, DNPM.
- Vidal, F.W.H.; Moraes, M.G.N.O.; Freire, L.C. & Santos, C.A.M. 2018. *As Opalas de Pedro II no Piauí e o Arranjo Produtivo Local*. Rio de Janeiro, CETEM/MCTI, 53p.