



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

BACHARELADO EM GEOLOGIA

0440500 – TRABALHO DE FORMATURA (2022)
51 – Caracterização Mineralógica e Gemológica de Opala

Monografia

Ricardo Sutti Oliveira

Orientadora:
Profa. Dra. Eliane Aparecida Del Lama

SÃO PAULO

2022



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente deixo meus agradecimentos à professora Eliane Aparecida Del Lama, que aceitou orientar um projeto com um tema apaixonante, e que se mostrou a melhor orientadora que eu poderia pedir, me ensinando sempre com paciência e buscando produzir um trabalho em conjunto.

Agradeço também ao professor Rainer Aloys Schultz-Güttler por contribuir com amostras para a realização do projeto, ao professor Fabio Ramos Dias de Andrade por contribuir com amostras e ajudar com as técnicas e interpretações do DRX, ao professor Rômulo Augusto Ando e seu orientando Jayr Henrique Marin por disponibilizarem o Laboratório de Espectroscopia Molecular e ajudarem nas análises de espectroscopia Raman, e pôr fim ao Flávio Machado de Souza Carvalho por realizar as análises e interpretações do DRX.

Aos meus familiares eu agradeço o apoio incondicional ao longo desses anos, meu pai Daniel e minha mãe Maria, que sempre procuraram me manter firme na realidade e ao mesmo tempo me permitiram sonhar com qualquer possibilidade de futuro que eu quisesse, aos meus avós Claudina e Luiz, que sempre me fizeram me sentir especial e demonstraram grande interesse em meus estudos, ao meu irmão Paulo e sua companheira Rachel, que buscaram sempre me proteger passando para mim suas experiências e me descontraíam nos dias de jogatina, e à minha irmã Helena e seu companheiro Lucas, por me ouvirem sempre tão atentamente nos momentos difíceis, por tornarem o período de pandemia muito mais leve e por compartilharem as inúmeras risadas e piadas internas que me fazem bem sempre que lembro delas.

Devo lembrar também dos meus amigos de Jundiaí, Luca, Nashiro, Mano, Bellinha e Fábio, que são inesquecíveis para mim apesar da distância. Além deles tenho muito a agradecer ao meu falecido amigo Cicotti, por me ajudar a me tornar uma pessoa melhor e me mostrar o quão interessante a ciência realmente é. Acima de todos agradeço à Ana, uma joia rara que cruzou meu caminho e me ensinou sobre empatia, sobre amor, sobre determinação e sobre confiança mútua e em mim mesmo.

Também preciso agradecer meus colegas de universidade, que tornaram sempre todos os trabalhos de campo em momentos únicos e memoráveis e compartilharam a trilha árdua da graduação ao meu lado.

Sou muito grato também aos amigos da universidade que mudaram minha vida, os Topera, Paulinho, Ana Senna, Tey, Syd, Greg e Pizza, Pau de selfie, Passe, Baby, Min, Dori, Levi, Portera, Jadeu, Jason, Marmita, Bagulho, Chockany, Meska, Mijoleta, Pakita, Pitú, Singanô, Jonas, Bart, Degan, Cérebro, Manú, Marquinhos, Miçanga, Pamonha, Xoppz, Jura, Groza, Dino, Bariri, Bisquete, Samara, etc (perdão se esqueci alguém, são muitas pessoas

especiais pra lembrar), por me acolherem quando ainda estava perdido em São Paulo, me mostrarem novas perspectivas, aguentarem os sofrimentos da universidade comigo, me mostrarem novas maneiras de ver beleza no mundo e me apresentarem formas de amor diferentes das que eu conhecia até então.

Também sou grato aos Batutinhas: Kah, Ikki, Fafa, Teddy, Peska e Lel, amigos recentes, mas já muito especiais que amorteceram o baque da pandemia e se aproximaram em velocidade meteórica da minha intimidade.

E por último, mas talvez mais importante, agradeço aos meus amigos, quase familiares, da Rep da Colina e agregados Prepara, Muriçoka, Lilika, Beiçola, Raissa, Duba, Gouveia e Tolete, por viverem por todos esses anos ao meu lado, por aguentarem meus defeitos e enaltecerem minhas virtudes, por se preocuparem com meu bem-estar, por moldarem meus gostos e se permitirem serem moldados pelas minhas paixões, por me ensinarem e aprenderem comigo, por ampliarem minha criatividade e me mostrarem que a bobeira do mundo também é algo a ser apreciado mesmo nos momentos mais difíceis.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo classificar gemologicamente e mineralogicamente amostras variadas de opala de Capim Grosso (BA), Pedro II (PI), México, brasileiras de origem desconhecida e do acervo do Museu de Geociências da USP, e analisar possíveis características únicas ou características distintas das amostras de diferentes procedências. Para esta caracterização foram obtidos dados de cor, densidade e índice de refração, e utilizadas as técnicas de difração de raios X (DRX) e espectroscopia Raman. A partir da cor, brilho e jogo de cor foi identificada uma grande variedade de opala de fogo, opala nobre e opala comum.

O grupo de Capim Grosso, composto majoritariamente por opala comum da variedade mel, apresenta amostras bastante fraturadas e rica em inclusões, com baixo potencial gemológico. Análises Raman e DRX classificam as gemas do grupo como opala-CT com quartzo.

Amostras de Pedro II variam entre opala nobre, opala de fogo e opala comum. As densidades da opala nobre mostram grande consistência, entre 2,09 a 2,14, sendo essa característica colocada como fator diagnóstico das gemas da região, e as análises de DRX e Raman indicam comportamento amorfo, classificando as gemas como opala-A. O grupo é composto principalmente por opala nobre branca com grande variedade de padrões e cores no jogo de cor. A opala de fogo de Pedro II apresenta inclusões quartzosas comuns, diminuindo o potencial das gemas, apesar da coloração vermelha intensa. As análises Raman e DRX indicam que o grupo possui opala-CT com quartzo, opala-CT sem quartzo e opala-C com quartzo. As variedades de opala comum são da variedade branca de baixo interesse gemológico e não foram analisadas mineralogicamente.

A opala mexicana, com cinco gemas comuns brancas e uma opala de fogo, é classificada como opala-CT sem quartzo.

O grupo de gemas brasileiras de origem não determinada é composto por 4 amostras de opala de fogo, e, pelas características gemológicas, provavelmente sejam oriundas do Rio Grande do Sul, classificadas como opala-CT sem quartzo.

O acervo do museu contém as três variedades gemológicas com grande variedade de características, são identificadas 12 amostras de opala comum branca, uma de opala comum mel, nove de opala de fogo, oito de opala nobre branca, três de opala nobre geleia, uma de opala preta e uma de opala nobre *Boulder*. Além das variedades de opala, 10 amostras foram retificadas como sendo outros materiais, sendo sete amostras de quartzo, duas de material sintético e uma não identificada.

ABSTRACT

This work aims to gemologically and mineralogically classify various samples of opal from Capim Grosso (State of Bahia, Brazil), Pedro II (State of Piauí, Brazil) and Mexico, of unknown Brazilian origin and from the collection of the Museum of Geosciences of the University of São Paulo, and to analyze possible unique or distinct characteristics of samples from these different locations. For this characterization, data on color, density and refractive index were obtained, and X-ray diffraction (XRD) and Raman spectroscopy were used. From the color, brightness and play of color, a wide variety of fire opal, noble opal and common opal was identified.

The Capim Grosso group consists mainly of samples of common honey-yellow opal that are highly fractured, rich in inclusions and of low gemological potential. Raman and XRD analyses classify the group as opal-CT with quartz.

The Pedro II samples vary between noble opal, fire opal and common opal. The noble opal samples present very consistent densities between 2.09 and 2.14, this characteristic being appointed as a diagnostic factor for the gems in the region. XRD and Raman analyses indicate amorphous behavior, classifying the gems as opal-A. The group is mainly composed of noble white opal samples with a wide variety of patterns and colors in the play of color. The Pedro II fire opal has a common presence of quartz inclusions, lowering the gemological potential of the samples despite the intense red color. Raman and XRD analyses classify them as opal-CT with quartz, opal-CT without quartz and opal-C with quartz. The varieties of common white opal are of low gemological interest and have not been mineralogically analyzed.

The Mexican opal group, consisting of five common white opal samples and one fire opal sample, is classified as opal-CT with quartz.

The group of Brazilian gems of unknown origin has four samples of fire opal classified as opal-CT without quartz. Due to their gemological features, their probable origin is in the State of Rio Grande do Sul.

The collection of the Museum of Geosciences contains the three gemological varieties: twelve samples of common white opal, one of common honey-yellow opal, nine of fire opal, eight of noble white opal, three of noble jelly opal, one of noble black opal and one of noble Boulder opal were identified. In addition, ten gems have been reclassified as other materials, seven of them being varieties of quartz, two being synthetic materials and one an unidentified mineral.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. METAS E OBJETIVOS	2
3. FUNDAMENTAÇÃO BILIOGRÁFICA	3
3.1. Pedro II – Piauí.....	3
3.2. Capim Grosso – Bahia	4
3.3. México	5
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	7
5.1. CLASSIFICAÇÃO GEMOLÓGICA	7
5.2. ANÁLISE MINERALÓGICA.....	9
5.2.1 Capim Grosso – Bahia.....	10
5.2.2 Pedro II – Piauí.....	14
5.2.3 Opala mexicana.....	23
5.2.4 Opalas de fogo de origem não determinada	25
5.2.5 Amostras do Museu de Geociências do IGc - USP.....	28
6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	35
7. CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS.....	39
ANEXOS	40
Anexo 1	40
Anexo 2	50

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no mercado gemológico desde o século XVIII, e se mantém nos dias atuais como um dos principais produtores de gemas do mundo (Schumann, 1995), entre elas a opala, um mineral hidratado ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), muitas vezes associada a seu jogo de cores ou *fogo* característico da opala nobre de maior valor comercial (Figura 1A).

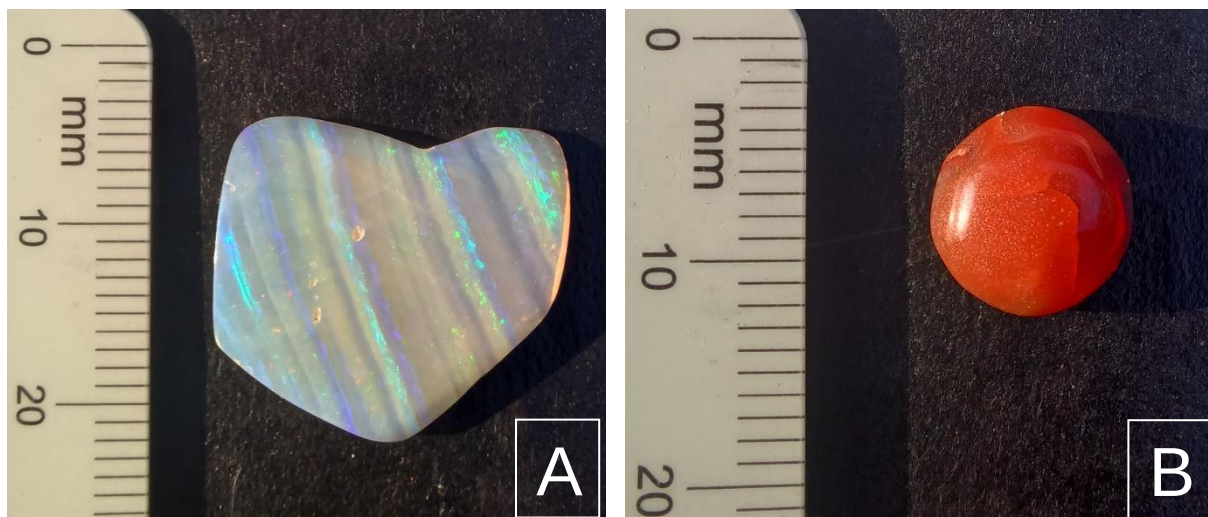


Figura 1 – A: Opala nobre de variedade Geleia Ribbon, Pedro II – PI, amostra 25; B: Opala de fogo, Pedro II – PI, amostra 40.

Mesmo que a opala seja considerada um material amorfo e tenha composição química variável de acordo com o conteúdo de moléculas de água, é considerado como um mineral pela IMA (*International Mineralogical Association*).

Devido ao seu alto teor de água (variando de 3% a 30%), muitas vezes essas gemas podem perder o brilho ou até mesmo rachar com mudanças de temperatura, mas diferentemente de opala de outras nacionalidades, a opala brasileira apresenta um baixo teor de água e uma grande resistência térmica, tornando-a mais valiosa (Gomes et al., 2022).

A densidade esperada de uma opala é entre 1,9 e 2,3, porém, amostras com muitas inclusões ou muito porosas podem apresentar valores não usuais, fazendo-as mais ou menos densas que o esperado, podendo chegar a valores de até 2,5. Na bibliografia existe uma grande variação dos valores do índice de refração, por exemplo, Gomes et al. (2022) sugerem uma janela de 1,435 a 1,455, Sachs (2015) propõem valores entre 1,44 e 1,46 e Schumann (1995) aponta valores de 1,37 a 1,52.

Gemologicamente a opala é dividida em três tipos: Opala nobre (Figura 1A), Opala de fogo (Figura 1B) e Opala comum; e mineralogicamente pode ser classificada de 3 formas: Opala-CT (cristobalita-tridimita), Opala-C (cristobalita) e Opala-A (amorfa), subdividida em Opala-AG (amorfa-G) e Opala-AN (*amorphous network* - hialita), bastante rara. Em

comparação com os dados da opala, a tridimita apresenta densidade entre 2,25 e 2,28 e índice de refração entre 1,468 e 1,484, apresentando diversos polítipos cristalinos mas principalmente triclinica, e a cristobalita apresenta densidade entre 2,32 e 2,36 e índice de refração entre 1,474 e 1,486, de sistema cristalino tetragonal.

A cor da opala nobre tem origem na sua estrutura que é composta por uma rede de esferas de sílica de mesmo tamanho de arranjo hexagonal ou cúbico. Os índices de refração das esferas são muito maiores que os da água, vapor ou ar que preenchem os espaços intersticiais, gerando uma rede de difração ótica tridimensional.

Já a cor da opala de fogo tem origem em nanoinclusões de minerais com ferro. Adicionalmente, seus interstícios são preenchidos pelo mesmo material silicoso das esferas, apresentando certa transparência e ausência de jogo de cores (Gomes et al., 2022).

As variedades coloridas de opala comum podem ter origem em diversas impurezas e inclusões, variando grandemente de depósito a depósito.

Até o século XIX, as gemas de maior qualidade vinham do extremo oriental da Tchecoslováquia. Atualmente os maiores depósitos de opala do mundo e de melhor qualidade encontram-se na Austrália, conhecidos principalmente pela grande quantidade da variedade opala preta (bastante rara), onde se destacam as regiões produtoras de *New South Wales*, *Queensland*, *South Australia* e *Victoria*.

O Brasil atualmente é o segundo maior produtor mundial de opala nobre, acima do Canadá e Etiópia e abaixo somente da Austrália. Assim, este trabalho visa o estudo da opala devido a sua importância no mercado gemológico.

2. METAS E OBJETIVOS

Minerais de depósitos específicos possuem características intrínsecas, associadas a seu ambiente de formação, que são utilizadas para uma caracterização mais detalhada de um mineral ou recurso mineral de um depósito. Para a opala algumas características que podem ser determinantes são: cor, brilho, fogo, densidade, índice de refração, teor de água, composição química, resistência a mudanças de temperatura, entre outras.

Muitos depósitos de opala já foram caracterizados na literatura, logo, é importante verificar se as características propostas na bibliografia são encontradas nas amostras aqui analisadas e se alguma comparação pode ser feita entre os grupos de amostras para melhor entender os possíveis níveis de heterogeneidade que podem ser encontradas nos diferentes depósitos de opala.

Este trabalho objetiva utilizar métodos analíticos para caracterizar mineralogicamente e gemologicamente opala de diferentes gêneses e determinar características marcantes capazes de diferenciarem cada grupo de amostras. Também é objetivo deste trabalho

caracterizar e ratificar (ou não) as amostras de opala do acervo do Museu de Geociências da USP.

3. FUNDAMENTAÇÃO BILIOGRÁFICA

Os depósitos de opala podem ser divididos de acordo com sua rocha encaixante e de acordo com sua origem de formação. Sua formação pode ter origem em hidrotermalismo, em processos intempéricos de rochas sedimentares e em processos biogênicos associados a diatomáceas. Depósitos em rochas vulcânicas têm a tendência de estarem relacionados a processos hidrotermais, enquanto depósitos em rocha sedimentar podem ser associados a qualquer um dos tipos (Simandl et al., 1998).

Segundo Smallwood et al. (1997), a formação de *sílica opalizada* seria uma precipitação de soluções aquosas saturadas em sílica. Inicialmente, o material depositado é formado por partículas coloidais de sílica nanométricas com grupos silenóis agregados em suas superfícies (composto comumente ionizado em soluções aquosas). Então, suas superfícies carregadas negativamente aglomeram-se pela ação de cátions, como ferro e alumínio na solução, e se precipitam como opala. Esse processo também explica a presença de impurezas de íons metálicos encontrados nas gemas. Depois da precipitação, pode vir a ocorrer um processo diagenético, seja por aumento de temperatura ou pressão, que transforma o material amorfo inicial em opala-C e opala-CT.

Neste trabalho serão discutidas amostras de opala de Pedro II (PI), Capim Grosso (BA) e do México.

3.1. Pedro II – Piauí

No Brasil, o depósito de opala mais importante está localizado em Pedro II, no Piauí (Figura 2), mas também é encontrada no Pará, Rio Grande do Sul, Bahia, Minas Gerais, Rio Grande do Norte e Ceará (Pimentel, 2007). Esta autora fez uma ampla caracterização de amostras de opala brasileira comum e nobre utilizando determinação de densidade, índice de cor, índice de refração, e análises de difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura e microdureza. No citado trabalho são utilizadas amostras de opala de diversas cores e origens, buscando-se entender qual a causa das cores da opala comum.

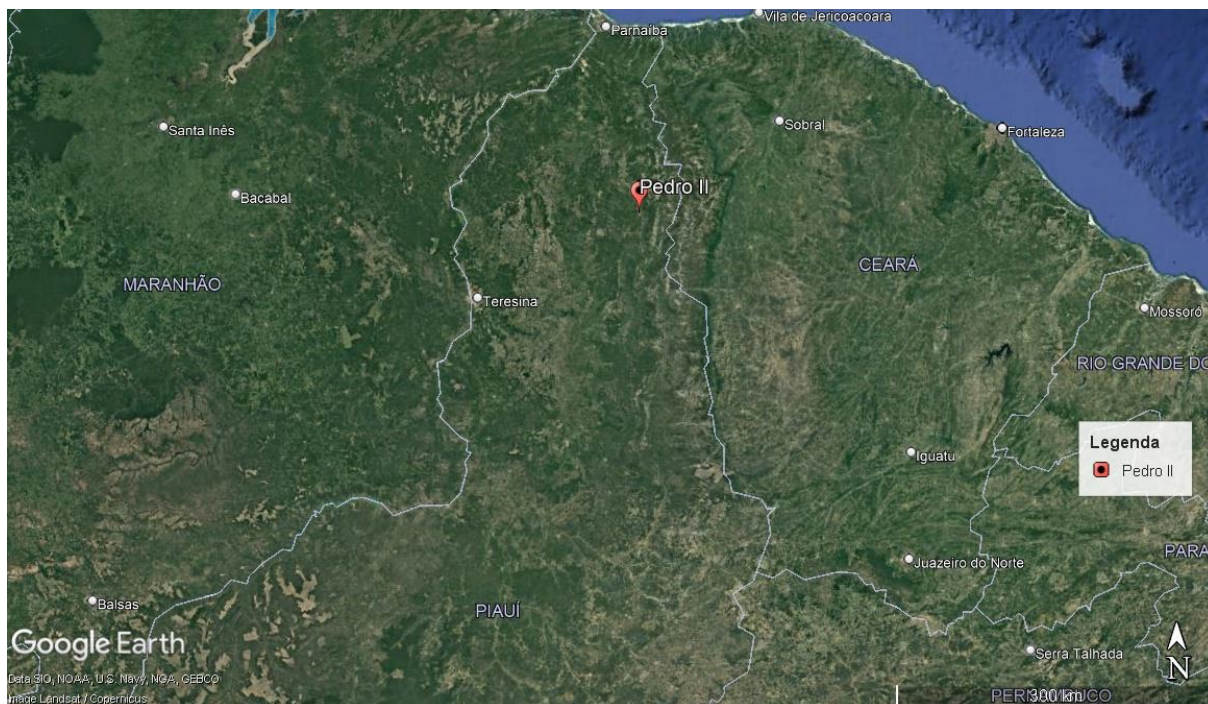


Figura 2 – Localização de Pedro II, no Piauí.

Segundo o Projeto de Avaliação dos Depósitos de Opalas de Pedro II, realizado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM (Sachs, 2015), a formação de opala em Pedro II estaria ligada à migração de fluidos hidrotermais pela intrusão de diabásio nos arenitos da Formação Cabeças. Nestes locais, o fluido teria se acumulado em fissuras no diabásio e também penetrado e precipitado em grãos de argila e areia formando a matriz de rocha.

Machado et al. (2020) caracterizaram a opala de Buriti dos Montes (PI) por meio de determinação de densidade, índice de cor, índice de refração, e análises de espectroscopia Raman, difração de raios X e fluorescência de raios X, a fim de encontrar padrões de comportamento para os depósitos de Buriti dos Montes e Pedro II.

Gomes et al. (2022) discutiram sobre a gênese e caracterizaram os tipos mais comuns de opala de qualidade gemológica encontrados em Pedro II e Buriti dos Montes. Em Pedro II as variedades encontradas são a *light opal*, seguida da opala *boulder*, *boulder* matriz e a rara opala negra, sendo que elas apresentam padrões de cores *pinfire*, *block*, *jigsaw*, *flash fire*, *rolling flash*, entre outras. Já em Buriti dos Montes, a variedade gemológica é a opala de fogo, com variação de cor entre amarelo-claro, amarelo-laranja, laranja-avermelhado, vermelho-escuro e vermelho-amarronzado.

3.2. Capim Grosso – Bahia

A região de Capim Grosso (Figura 3) situa-se nas proximidades do Complexo Caraíba e do Complexo Tanque Novo Ipirá no Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá, um orógeno de

cerca de 800 km de comprimento que se estende de norte a sul da Bahia. O Complexo Caraíba é constituído por ortognaisses granulíticos enderbíticos a charnockíticos, enquanto o Complexo Tanque Novo Ipirá se constitui do Gnaiss Ipirá, rochas calciossilicáticas, quartzitos, grafita xistos e anfibolitos. Barbosa et al. (2003) indicam a ocorrência de sequências magmáticas toleíticas e calcio-alcalinhas, interpretando a região como uma zona de subducção relacionada a um arco magmático ou margem continental ativa. Levando em conta esses fatores e a proximidade com o Bloco do Gavião, composto de rochas plutônicas e sequências vulcanossedimentares, considera-se a ideia que a formação da opala da região tenha origem em hidrotermalismo associado a movimentações orogênicas e intrusões magmáticas arqueanas, de gênese similar às ocorrências de opala verde mais a norte do Estado, em Socotó (Santiago, 2015).

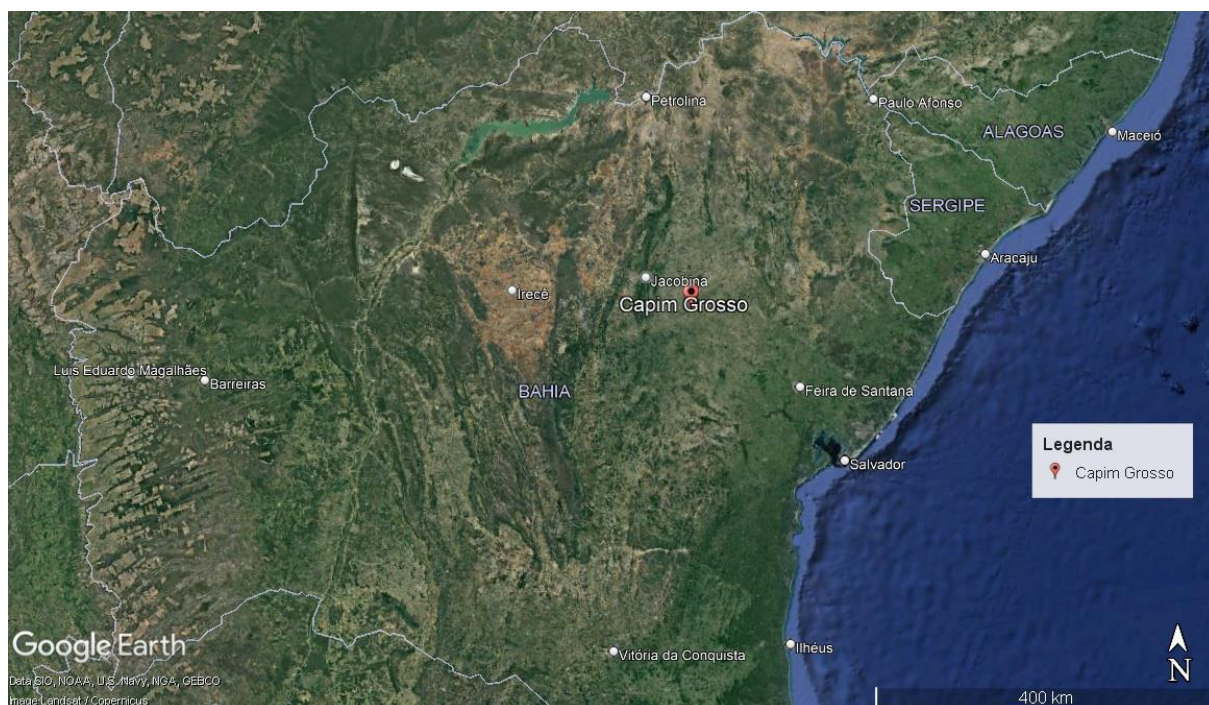


Figura 3 – Localização de Capim Grosso na Bahia.

3.3. México

As amostras mexicanas analisadas neste trabalho não têm sua localização de origem identificada. Ostrooumov et al. (2011) fizeram uma síntese das informações de opalas mexicanas obtidas na última década, considerando principalmente as minas dos estados de Queretaro, Jalisco, Nayarit e Guanajuato. O estudo indica que depósitos de opala no México se constituem principalmente por opala-CT de origem vulcânica. Esta opala se forma pela precipitação direta de soluções supersaturadas em sílica, e se caracteriza por ser uma fase transicional de opala amorfa submetida a altas pressões e temperaturas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras obtidas para este projeto são constituídas por opala brasileira de Pedro II (PI) e Capim Grosso (BA); opala mexicana; e opala do acervo do Museu de Geociências da USP, sendo 59 amostras obtidas para o projeto e 46 de propriedade do museu, totalizando 105 amostras.

Para a classificação gemológica das amostras foram determinados a cor, a densidade e o índice de refração.

A determinação de cor foi realizada a olho nu em local bem iluminado em luz clara natural. É um teste importante, pois, cor é a principal característica para se determinar em qual grupo gemológico a opala se encaixa.

A determinação da densidade relativa das amostras foi realizada com a ajuda de uma balança de precisão. A amostra foi pesada no ar, e em seguida pesada submersa em água, e foi utilizada a fórmula:

$$d = P_{ar} / (P_{ar} - P_{água}),$$

onde d é a densidade relativa, P_{ar} é o peso da amostra no ar e $P_{água}$ é o peso da amostra submersa em água. Este teste foi realizado no Laboratório de Química do IGc-USP.

O índice de refração foi medido com a ajuda de um refratômetro. Esta análise foi realizada no Laboratório de Gemologia do IGc-USP.

Para a classificação mineralógica da opala foram realizadas três análises: a correlação gráfica entre o índice de refração e a densidade, espectroscopia Raman e difração de raios X.

A correlação gráfica entre o índice de refração e a densidade foi realizada de acordo com Pimentel (2007).

A espectroscopia Raman é uma técnica que utiliza um laser de forma a excitar as moléculas do material. A partir da leitura da dispersão de luz incidida é possível captar padrões de mudança de nível energético que são característicos do mineral que está sendo analisado (Estrada, 2007). Desta forma é possível determinar se o material é amorfo, ou composto por cristobalita, ou cristobalita e tridimita. Esta análise foi realizada no Laboratório de Espectroscopia Molecular (LEM) no Instituto de Química da USP, utilizando um Microscópio Raman confocal InVia Renishaw, com geometria de coleção do tipo *backscattering*, com excitação em 785 nm e uma rede de difração de 1.200 linhas/mm no espectro entre 100 cm^{-1} e 2000 cm^{-1} .

A análise de difração de raios X utiliza relações geométricas para analisar a dispersão de raios X pelos elétrons de um material cristalino, por meio da fórmula:

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

onde λ é o comprimento de onda fixo de acordo com a placa de metal do tubo utilizado, θ é o ângulo de incidência medido, n é a ordem de difração dos planos do cristal em questão e d são as distâncias interplanares na estrutura cristalina, que é o que se quer descobrir para a identificação do material (Silva, 2013). Esta análise foi realizada no Laboratório de Difração de Raios X do IGc-USP, utilizando um difratômetro Bruker D8 com raios X com comprimento de onda do cobre $K\alpha$ (1,5406 Angstrom), voltagem de 40 kV, corrente de 40 mA, intervalo angular de 2 a 65° 2θ e velocidade angular de 1 segundo por passo. O preparo das amostras foi feito pela moagem do material com a ajuda de um pilão até atingir granulometria de argila.

5. RESULTADOS OBTIDOS

As descrições das amostras aqui analisadas, bem como o registro fotográfico, encontram-se em anexo.

5.1. CLASSIFICAÇÃO GEMOLÓGICA

As amostras foram classificadas principalmente de acordo com sua cor e jogo de cores.

A opala de Capim Grosso foi classificada majoritariamente como opala mel (Figura 4A), uma variedade de opala comum de cor amarela suave, com exceção de 4 amostras que eram brancas ou apresentavam um amarelo muito fraco, classificadas apenas como comum. De forma geral, as amostras apresentam-se bastante fraturadas e com inclusões leitosas comuns.

A opala de Pedro II foi dividida em 3 tipos: opala nobre, opala comum e opala de fogo. As amostras do tipo comum são todas brancas e bastante fraturadas. As de fogo variaram de laranja a vermelho-escuro (Figura 1B), quase sempre apresentando fraturamentos esbranquiçados e inclusões quartzosas. As amostras de opala nobre são quase todas da variedade branca, com uma única exceção da variedade geleia (transparente com um brilho azulado) e quase sempre possuem jogo de cor verde, mas também são comuns amostras com jogo de cor violeta, vermelho e ocasionais amostras com jogo de cor azul, sendo que quase todas apresentaram mais de um tipo de jogo de cor (Figuras 1A e 2B). Os padrões dos jogos de cores encontradas são condizentes com os descritos por Gomes et al. (2022), variando entre *flash fire* (Figura 4B), *flagstone*, *capotinha* (*pinfire*) e *ribbon* (Figura 1A).



Figura 4 – A: Opala mel, Capim Grosso – BA, amostra 19; B: Opala nobre branca, Pedro II – PI, amostra 22; C: Opala comum branca, México, amostra 46.

O conjunto de opala mexicana foi classificado como opala comum branca (Figura 4C), com exceção de uma única amostra de opala de fogo. Dentre as comum, observou-se a tendência de um padrão interno de variações leitosas bandadas, mas, no geral se mostraram bastante limpas.

As amostras do Museu de Geociências da USP, por não serem agrupadas por localidade, apresentam uma grande variedade de características e classificações, mas, assim como as de Pedro II, apresentam os três tipos de opala. Dentre as variedades de opala comum há uma maioria de opala comum branca, mas com grande variação de transparência, algumas sendo quase opacas e outras quase totalmente transparentes. Também há algumas amostras de opala comum do tipo mel e uma única amostra de opala verde azulada, similar a uma opala geleia, mas sem jogo de cores (VIT82-A20-212/58 – ver anexo). O grupo de opala de fogo das amostras do museu é composto por amostras extremamente limpas, com a coloração variando de um laranja claro até um laranja bastante vívido próximo ao vermelho. O grupo de

opala nobre é o mais variado, com diversos padrões de jogo de cor variando do violeta ao vermelho. A opala nobre branca com padrão de jogo de cor *flash fire* e capotinha (*pinfire*) é a mais comum (8 amostras), também há 3 amostras de opala geleia com padrão de jogo de cor *flash fire*, *broadfire* e capotinha (*pinfire*). Neste grupo destacam-se duas amostras únicas, a primeira é a amostra *Vitrine Efeitos Ópticos*, 137b, classificada como uma opala nobre preta *ribbon*, com padrão de jogo de cor *jigsaw* (Figura 5A), *flash fire* e *block* (Figura 5B); a segunda é a amostra 6/5386-8795, classificada como uma opala *boulder*, e apesar de estar bastante fraturada, ainda apresenta um vívido jogo de cor verde e violeta.

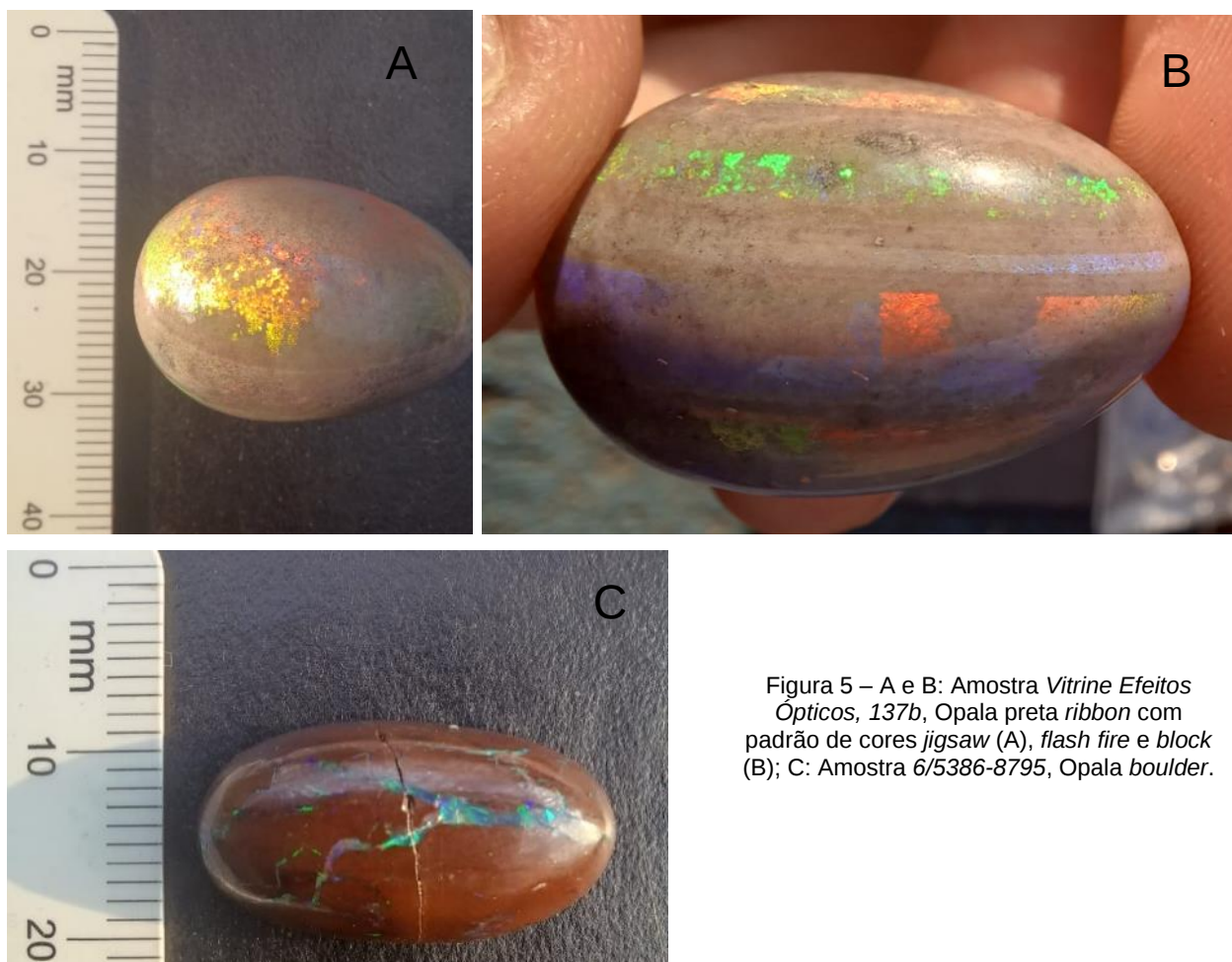


Figura 5 – A e B: Amostra *Vitrine Efeitos Ópticos*, 137b, Opala preta *ribbon* com padrão de cores *jigsaw* (A), *flash fire* e *block* (B); C: Amostra 6/5386-8795, Opala *boulder*.

5.2. ANÁLISE MINERALÓGICA

Os resultados obtidos foram divididos de acordo com os grupos de origem e grupos gemológicos das amostras, contendo as análises de densidade e índice de refração, espectroscopia Raman e difração de raios X (DRX). Devido ao grande intervalo de índice de refração existente na literatura, para as ratificações propostas para as amostras do Museu de Geociências IGc – USP e classificação dos outros grupos aqui estudados, decidiu-se utilizar os parâmetros mais abrangentes, entre 1,37 e 1,52.

5.2.1 Capim Grosso – Bahia

As amostras de Capim Grosso (Tabela 1) apresentaram densidades entre 2,07 a 2,22, com uma maior concentração de amostras no intervalo de 2,11 a 2,19 (Figura 6). Durante a pesagem da amostra 19, houve um ganho gradual de massa por absorção de água, resultando numa diferença de 0,010g no peso da amostra seca, essa diferença mostra a capacidade da opala de absorção do conteúdo de água e a importância da manutenção das condições da opala para fins diagnósticos em gemas da região.

Tabela 1 – Dados de densidade, índice de refração, bandas Raman e classificações gemológicas das amostras de Capim Grosso – BA.

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
Capim Grosso - Bahia				
1	2,20	n. d.	n. d.	Mel
2	2,22	1,44	n. d.	Mel
3	2,19	1,41	130 257 302 a 344 700 780 968 1072 1258	Mel
4	2,16	1,39	n. d.	Mel
5	2,19	1,43	n. d.	Mel
6	2,18	1,52	n. d.	Mel
7	2,19	1,45	n. d.	Comum
8	2,19	n. d.	n. d.	Mel
9	2,13	1,44	n. d.	Mel
10	2,22	1,44	n. d.	Mel
11	2,15	1,46	130 257 302 a 344 700 780 968 1072 1258	Comum
12	2,15	1,47	n. d.	Mel
13	2,17	1,41	n. d.	Mel
14	2,15	n. d.	n. d.	Mel
15	2,16	1,45	n. d.	Mel
16	2,17	1,42	n. d.	Mel
17	2,15	1,46	n. d.	Mel
18	2,14	1,44	n. d.	Comum

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
Capim Grosso - Bahia				
19	2,20	1,47	130 257 302 a 344 700 780 968 1072 1258	Mel
20	2,17	1,46	n. d.	Comum
52	2,07	n. d.	n. d.	Mel
53	2,11	n. d.	n. d.	Mel
54	2,11	n. d.	n. d.	Mel
55	2,11	n. d.	n. d.	Mel
56	2,12	n. d.	n. d.	Mel
57	2,14	1,455	130 257 302 a 344 700 780 968 1072 1258	Mel
58	2,14	1,44	130 211 257 302 a 344 464 503 700 780 968 1072 1258	Mel
59	2,18	1,44	n. d.	Mel

Apenas 20 das 27 amostras puderam ter seus índices de refração medidos, devido ao abaulamento da superfície lapidada, apresentando um intervalo entre 1,39 e 1,52, com 60% das amostras entre 1,44 e 1,46. Para as análises de espectroscopia Raman foram escolhidas as amostras 03, 11, 19, 57 e 58, e para a difração de raios X (DRX) as amostras 03, 11, 19 e 58, pois, estas são representativas do grupo amostral, com densidades, índices de refração e características gemológicas distintas.

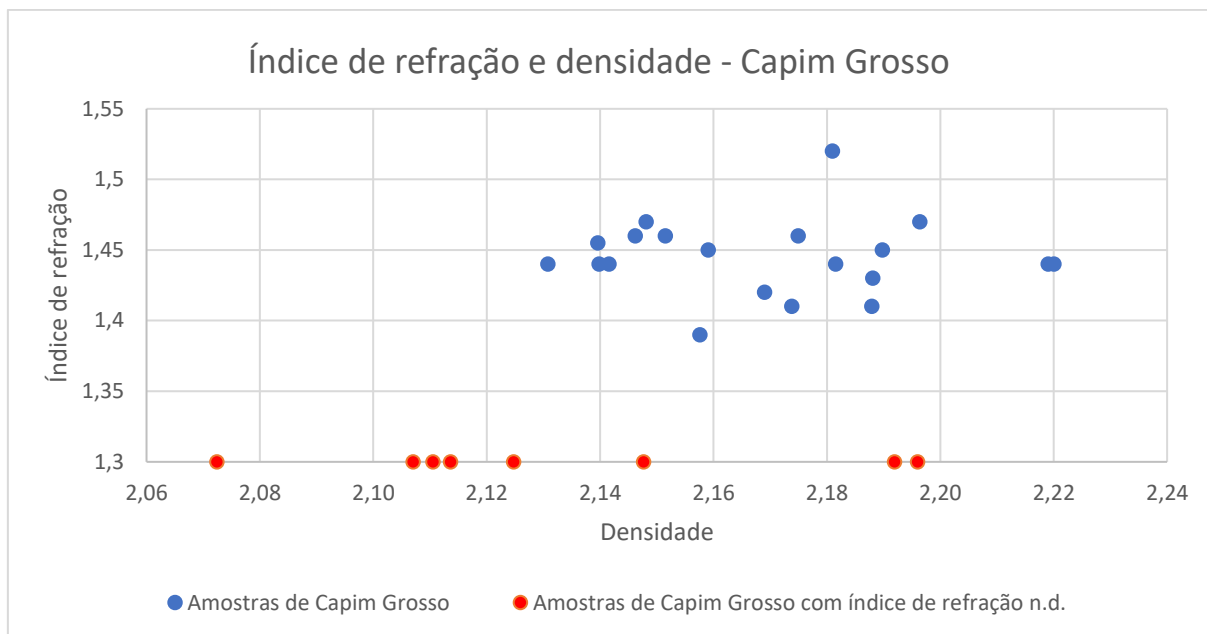


Figura 6 – Gráfico de índice de refração por densidade das amostras de Capim Grosso – BA.

No Raman todas as amostras apresentaram espectros parecidos (Figura 7), podendo-se distinguir: presença de tridimita, interpretada nas bandas em 257 cm^{-1} e numa larga banda de 302 cm^{-1} a 344 cm^{-1} (Smallwood et al., 1997; Ilieva et al., 2007; Ostrooumov, 2007 e Machado et al., 2020); presença de cristobalita por um ombro em 405 cm^{-1} e por pequenos picos em 968 cm^{-1} (Ilieva et al., 2007; Ostrooumov, 2007 e Machado et al., 2020); e a presença de quartzo pelas bandas na região de 115 a 130 cm^{-1} (Ilieva et al., 2007); também se observa um largo corpo entre 300 e 600 cm^{-1} , associado a minerais silicáticos (Ilieva et al., 2007), uma banda em 750 cm^{-1} associada a estiramentos Si-O-Si simétricos, e uma banda em 1072 cm^{-1} , associada a estiramentos Si-O-Si assimétricos, comumente vistas em amostras de opala (Smallwood et al., 1997). A amostra 58 também apresentou bandas adicionais marcantes para quartzo em 464 cm^{-1} e 503 cm^{-1} , podendo indicar, possivelmente, maior grau de cristalinidade. Devido à presença marcante de material amorfo na opala, entende-se que pode existir um alargamento e/ou leve deslocamento das bandas no Raman.

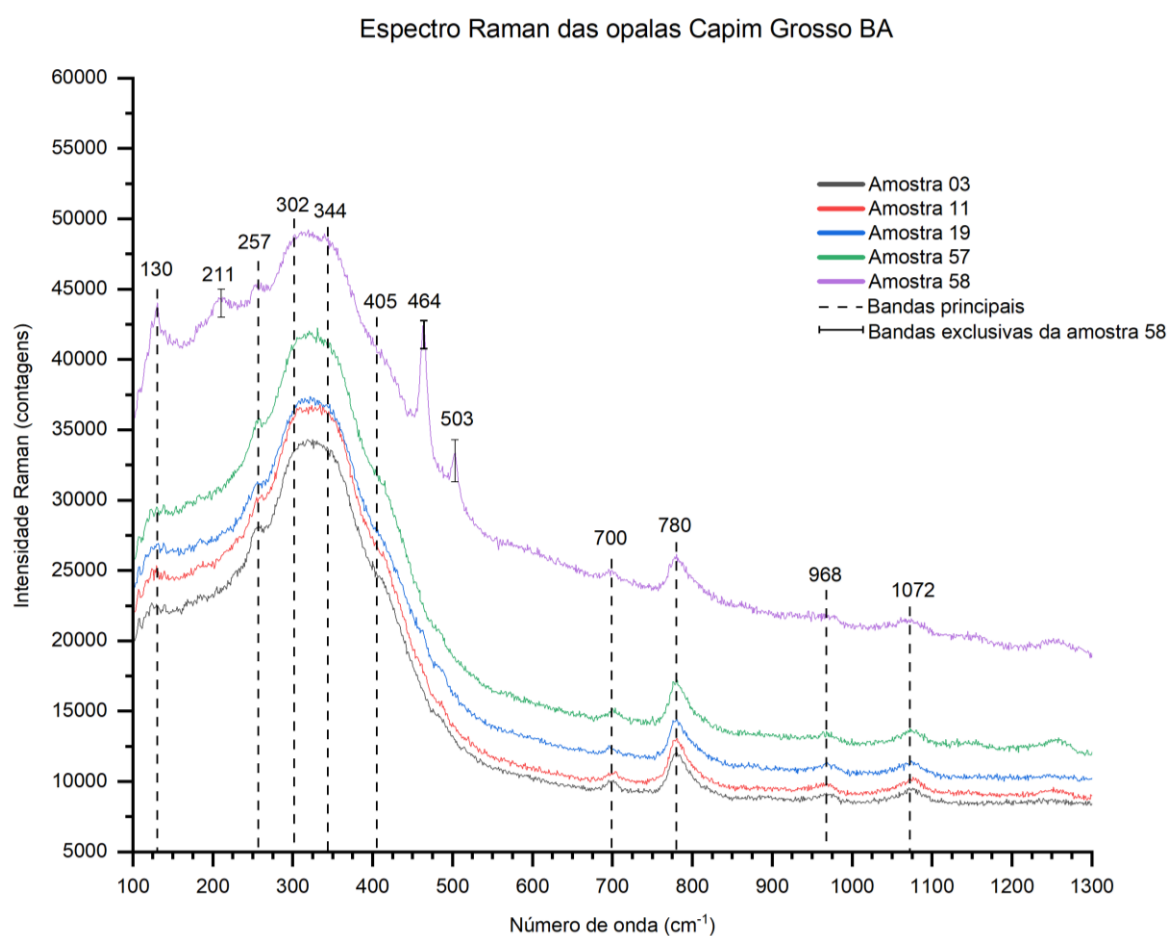


Figura 7 – Espectros Raman das amostras de opala de Capim Grosso – BA (Amostras 03, 11, 19, 57 e 58).

As análises de DRX (Figura 8) apontam resultados concordantes com o observado no Raman, com presença de cristobalita, tridimita e quartzo em todas as quatro amostras, classificando-as assim como opala-CT com quartzo.

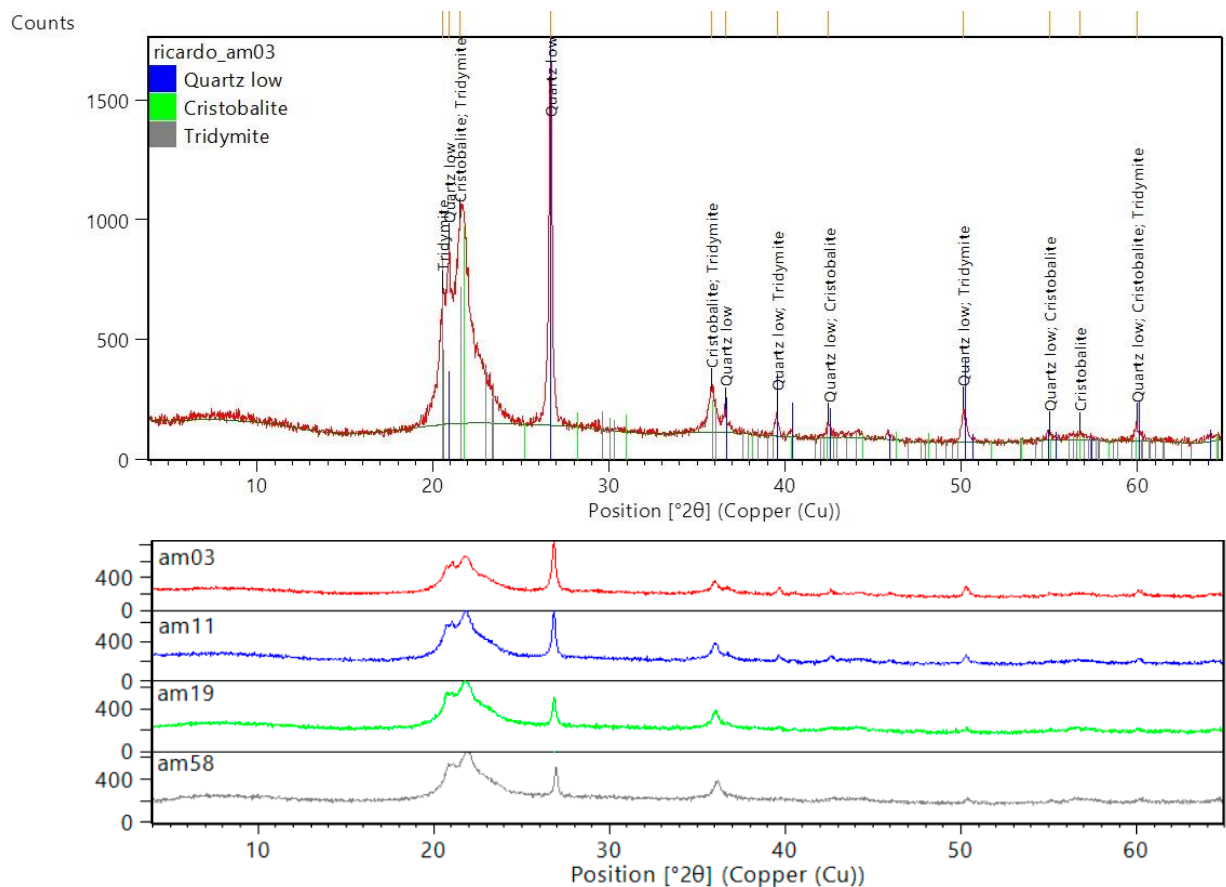


Figura 8 – Difratoograma de raios X em detalhe da amostra 3 e difratogramas simplificados das amostras 03, 11, 19 e 58.

5.2.2 Pedro II – Piauí

Devido à heterogeneidade das amostras de Pedro II, serão divididos os resultados para três grupos de amostras: opala nobre, opala de fogo e opala comum (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados de densidade, índice de refração, bandas Raman e classificações gemológicas das amostras de Pedro II – PI.

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
Pedro II - Piauí				
Opala nobre				
21	2,11	1,45	123 375 a 433 783 962 1069 1351 a 1384	Branca Nobre
22	2,11	n. d.	123 375 a 433 783 962 1069 1351 a 1385	Branca Nobre

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
Pedro II - Piauí				
23	2,10	n. d.	123 375 a 433 783 962 1069 1351 a 1386	Branca Nobre
24	2,10	n. d.	123 375 a 433 783 962 1069 1351 a 1387	Branca Nobre
25	2,14	1,455	123 375 a 433 783 962 1069 1256 1351 a 1388	Geleia Nobre
26	2,09	1,44	n. d.	Branca Nobre
27	2,11	n. d.	n. d.	Branca Nobre
28	2,09	n. d.	n. d.	Branca Nobre
29	2,10	n. d.	n. d.	Branca Nobre
30	2,11	n. d.	n. d.	Branca Nobre
31	2,10	n. d.	n. d.	Branca Nobre
32	2,10	n. d.	n. d.	Branca Nobre
Opala comum				
33	1,99	n. d.	n. d.	Comum
34	2,06	n. d.	n. d.	Comum
35	2,03	n. d.	n. d.	Comum
36	2,01	n. d.	n. d.	Comum
Opala de fogo				
37	2,21	n. d.	n. d.	Fogo
38	2,30	n. d.	113 229 298 374 415 783 1073	Fogo

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
Pedro II - Piauí				
39	2,22	1,435	113 229 298 374 415 783 1073	Fogo
40	1,98	1,44	124 187 309 a 327 400 411 779 974 1075 1172	Fogo
41	2,21	n. d.	165 230 300 358 416 779 1075	Fogo

5.2.2.1 Opala nobre

O grupo de opala nobre (amostras 21 a 32) mostrou resultados bastante similares entre as amostras, a densidade variou de 2,09 a 2,14, mas mais de 90% das amostras entre 2,09 e 2,11; apenas 3 das 12 amostras puderam ter seus índices de refração medidos, com valores entre 1,44 e 1,45, dentro da faixa esperada segundo trabalhos anteriores na região. As amostras selecionadas para a espectroscopia Raman (amostras 21 a 25) são representativas de todas as faixas de densidade encontradas e estão dentre as amostras com índice de refração medido.

O espectro resultante da análise Raman apresentou características extremamente semelhantes às opalas sedimentares vistas em Smallwood et al. (1997). A presença de bandas pouco claras e bastante largas seria esperado para amostras de opala nobre, que tendem a ser associadas à opala amorfa, o que foi aqui ratificado nos espectros Raman (Figura 9). A larga banda principal em 400 cm⁻¹ estaria associada à presença de tridimita, mas a grande maioria dos silicatos apresenta bandas na região entre 300 e 600 cm⁻¹, fazendo com que as bandas muito largas desse material predominantemente amorfo sejam pouco diagnósticas de um mineral específico. Da mesma forma a larga banda em 123 cm⁻¹ seria,

comumente, associada à presença de quartzo, porém, devido à largura da banda não pode ser utilizado como diagnóstico. Também se veem as bandas em 783 cm^{-1} e 1069 cm^{-1} , associadas a estiramentos Si-O-Si simétricos e assimétricos, respectivamente.

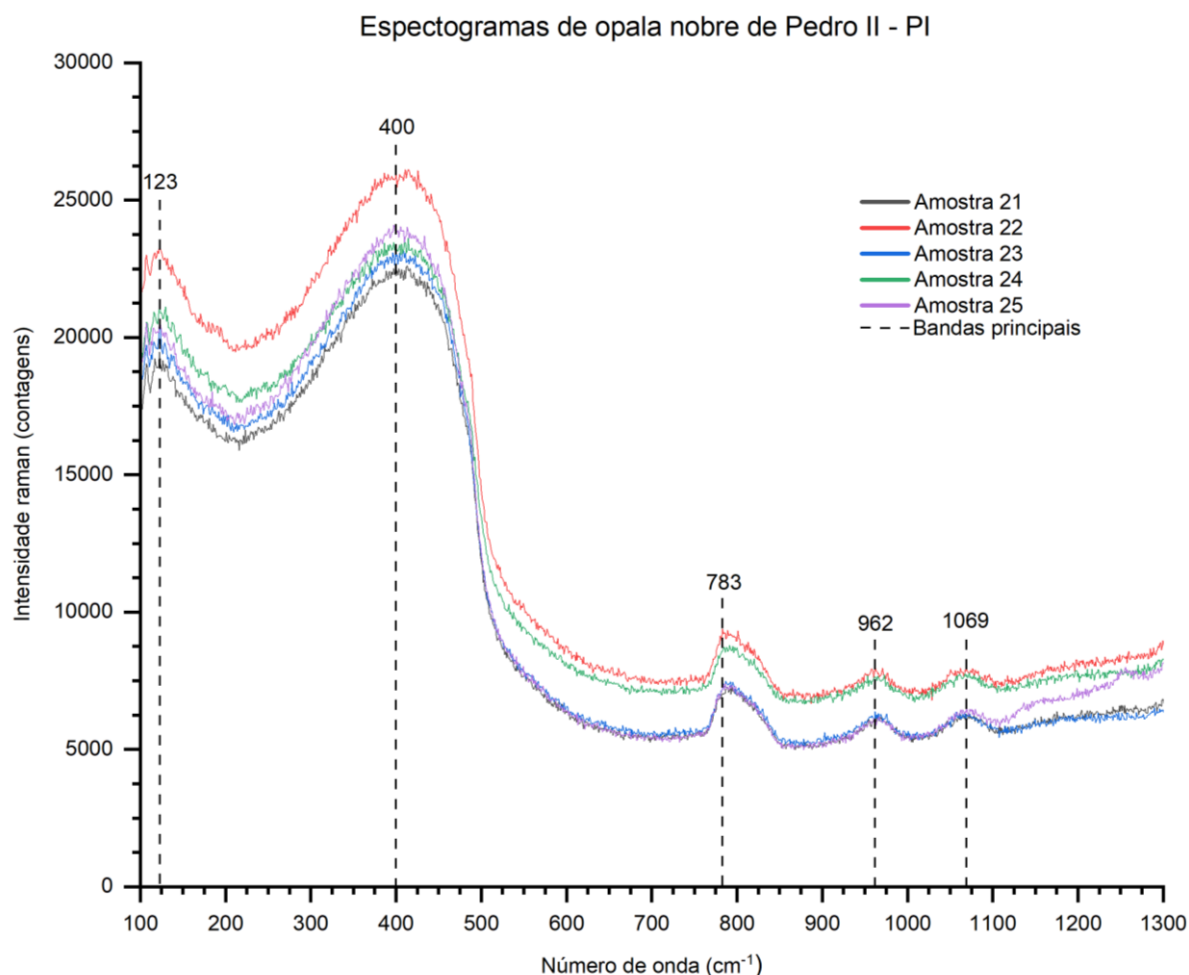


Figura 9 – Espectros Raman das amostras de opala nobre de Pedro II – PI (amostras 21, 22, 23, 24 e 25).

Devido à natureza destrutiva do DRX foi decidido realizar o teste apenas para duas amostras do material gemológico de opala nobre, as amostras 23 e 31, a primeira sendo a única lapidada. Os resultados (Figura 10) mostraram um resultado coerente com o apontado na espectroscopia Raman, um material predominantemente amorfo. No difratograma existe uma elevação na mesma região na qual se veria o principal pico da tridimita, fator que, juntamente com a tendência vista no Raman, possibilita a inferência da existência de pequenas quantidades de material cristalino nessas amostras de opala-A.

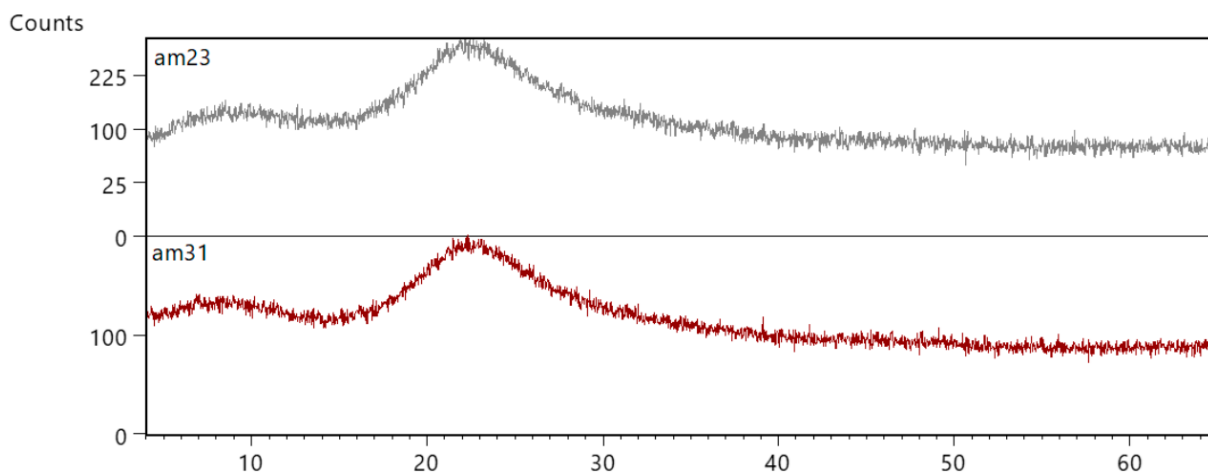


Figura 10 – Resultados da difração de raios X de opala nobre de Pedro II (amostras 23 e 31).

5.2.2.2 Opala de Fogo

As amostras de opala de fogo de Pedro II (37 a 41) apresentam, em sua maioria, uma grande quantidade de inclusões. As densidades das amostras 37, 38, 39 e 41 se mantiveram altas, entre 2,21 e 2,3, porém, a amostra 40 (Figura 11), que apresenta menor quantidade de impurezas, destacou-se nesta característica por apresentar uma densidade de 1,98, consideravelmente menor que as outras amostras, podendo ser na verdade a indicadora mais próxima da densidade característica da opala de fogo de Pedro II. Apenas as amostras 39 e 40 tiveram seus índices de refração medidos, sendo eles 1,435 e 1,440 respectivamente.



Figura 11 – Relação de fotos exemplificando as formas de ocorrência de inclusões nas amostras de opala de fogo de Pedro II (amostras 38, 40 e 41).

Para a espectroscopia Raman e DRX foram escolhidas as amostras de 38 a 41, pois, estas apresentaram dois tipos de inclusões diferentes (Figura 11), cinza-escuras (37, 38 e 39) e brancas (41), ou livre de inclusões (40), e por apresentarem densidades representativas do grupo. As amostras 38 e 39 apresentaram espectros bastante parecidos (Figura 12), com bandas bem desenvolvidas em 230 e 415 cm^{-1} associadas à cristobalita, com pequenas bandas em torno de 300 cm^{-1} associadas à presença de tridimita e uma banda em 113 cm^{-1} , próxima a 130 cm^{-1} , geralmente associada à presença de quartzo, além de bandas bem formadas em 781 cm^{-1} e 1073 cm^{-1} associadas a estiramentos Si-O-Si simétricos e assimétricos, respectivamente. Ambas as amostras 38 e 39 apresentaram análises concordantes no DRX (Figura 13), sendo classificadas como opala-CT com quartzo.

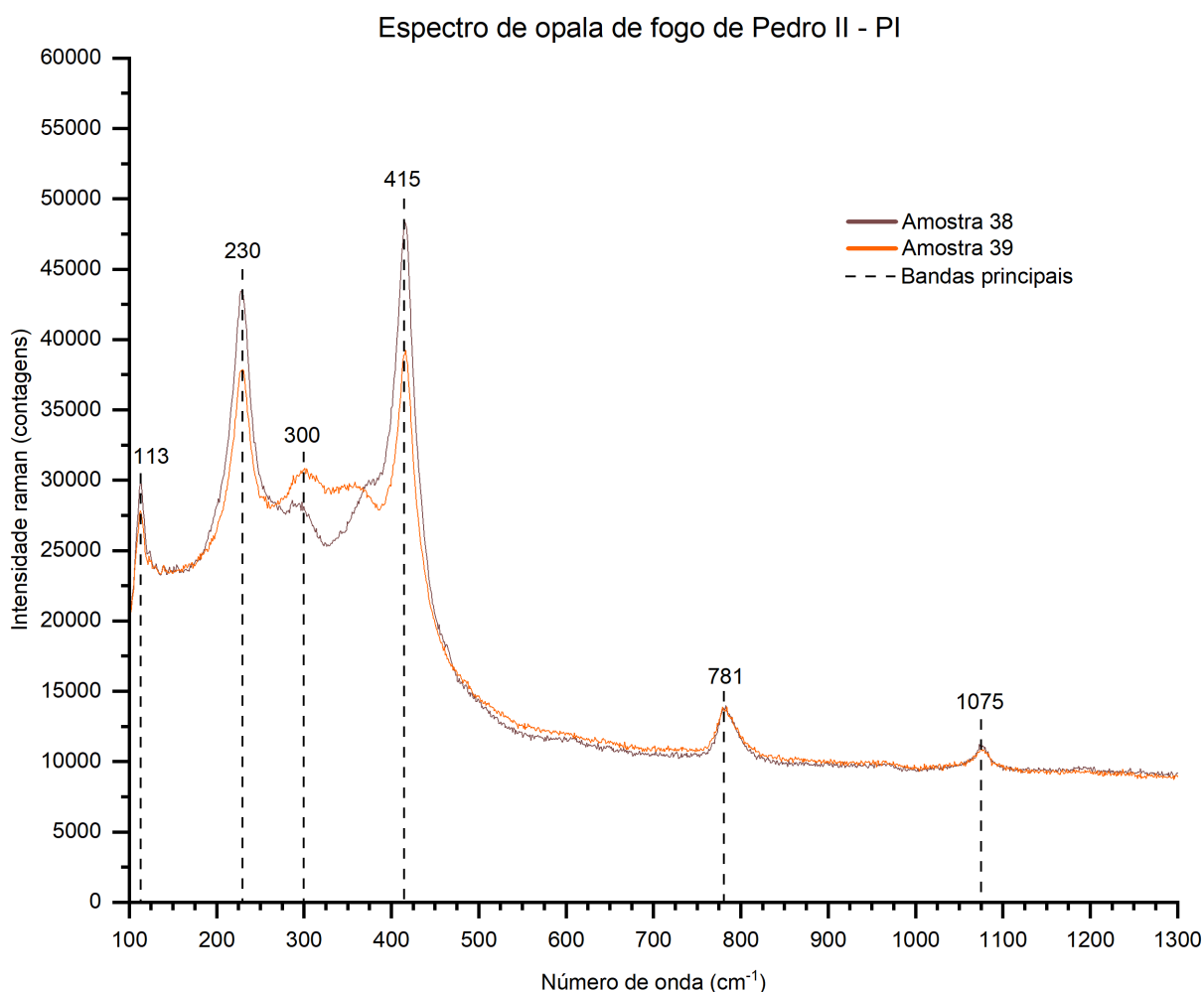


Figura 12 – Espectros Raman das amostras de opala de fogo de Pedro II (amostras 38 e 39).

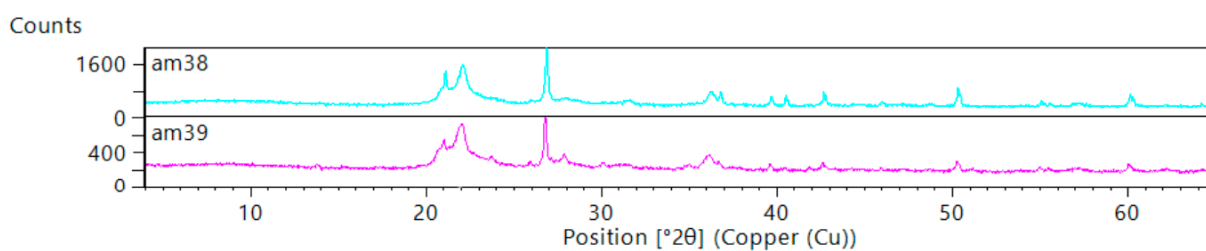


Figura 13 – Resultados das análises DRX das amostras 38 e 39.

A amostra 40 apresenta bandas parecidas às amostras 38 e 39 (Figura 14), mas com intensidades diferentes. Ao contrário das anteriores, a banda em 300 cm^{-1} associada à presença de tridimita se mostra muito mais evidente, enquanto a banda em torno de 415 cm^{-1} associada à cristobalita se mostra muito mais sutil. Também se nota que, apesar de mostrar indícios de uma banda em torno de 124 cm^{-1} associada ao quartzo, ela é bem menos definida que nas amostras 38 e 39. Juntamente com a análise de DRX (Figura 15) é possível afirmar que esta seria uma amostra de opala-CT sem quartzo.

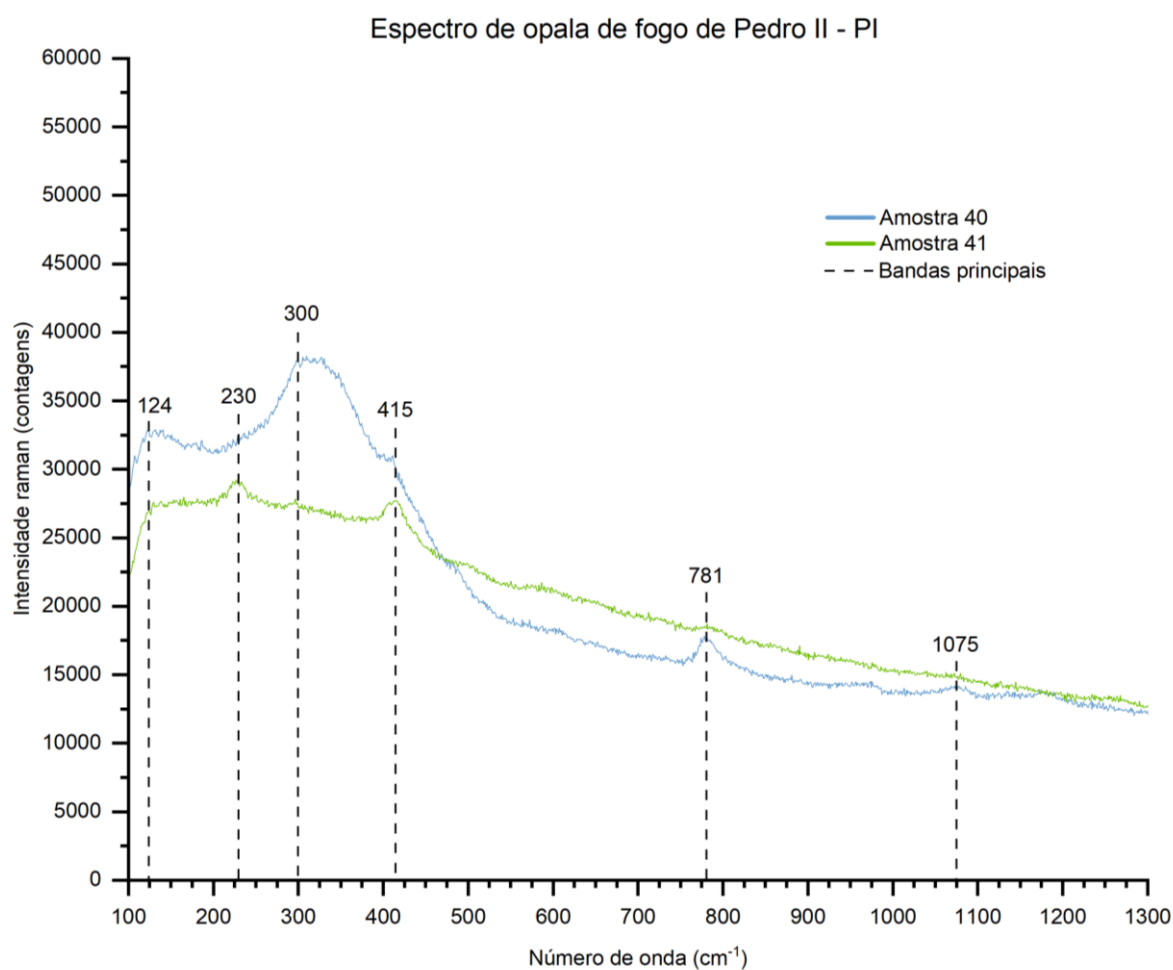


Figura 14 – Espectros Raman das amostras 40 e 41 de opala de fogo de Pedro II – PI.

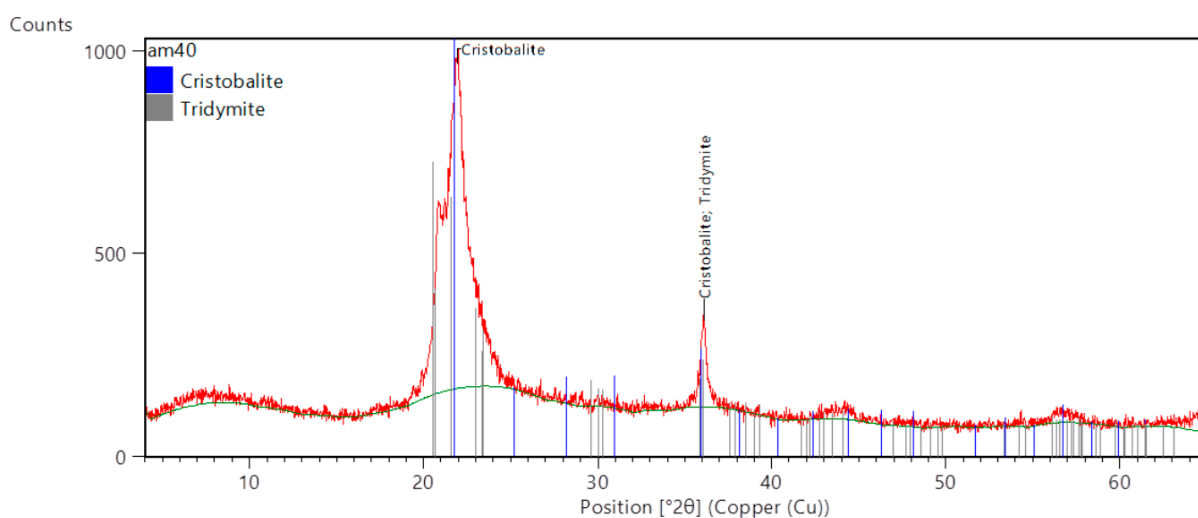


Figura 15 – Difratoograma da amostra 40 (opala de fogo de Pedro II).

A amostra 41 possui um espectro bem diferente das outras três amostras analisadas (Figura 14), com bandas bem mais sutis e um comportamento mais amorfo. Duas pequenas bandas em 226 e 415 cm^{-1} associadas à presença de cristobalita são as únicas bandas evidentes no espectro, existe uma pequena banda possivelmente associada à tridimite em

300 cm^{-1} , mas por conta da pouca expressividade pode ser representativa de um processo intermediário de transformação da opala-C para a opala-CT. Também se veem as bandas de estiramento Si-O-Si simétricas e assimétricas em 781 cm^{-1} e 1075 cm^{-1} .

Um espectro das inclusões brancas da amostra 41 também foi feito (Figura 16), o espectro tem bandas muito bem definidas em 124, 154, 218, 464 e 502 cm^{-1} , todas indicativas da presença de quartzo. Os dados de DRX (Figura 17) são concordantes, mostrando um comportamento de opala-C com quartzo, sendo o quartzo muito provavelmente vindo das inclusões da amostra.

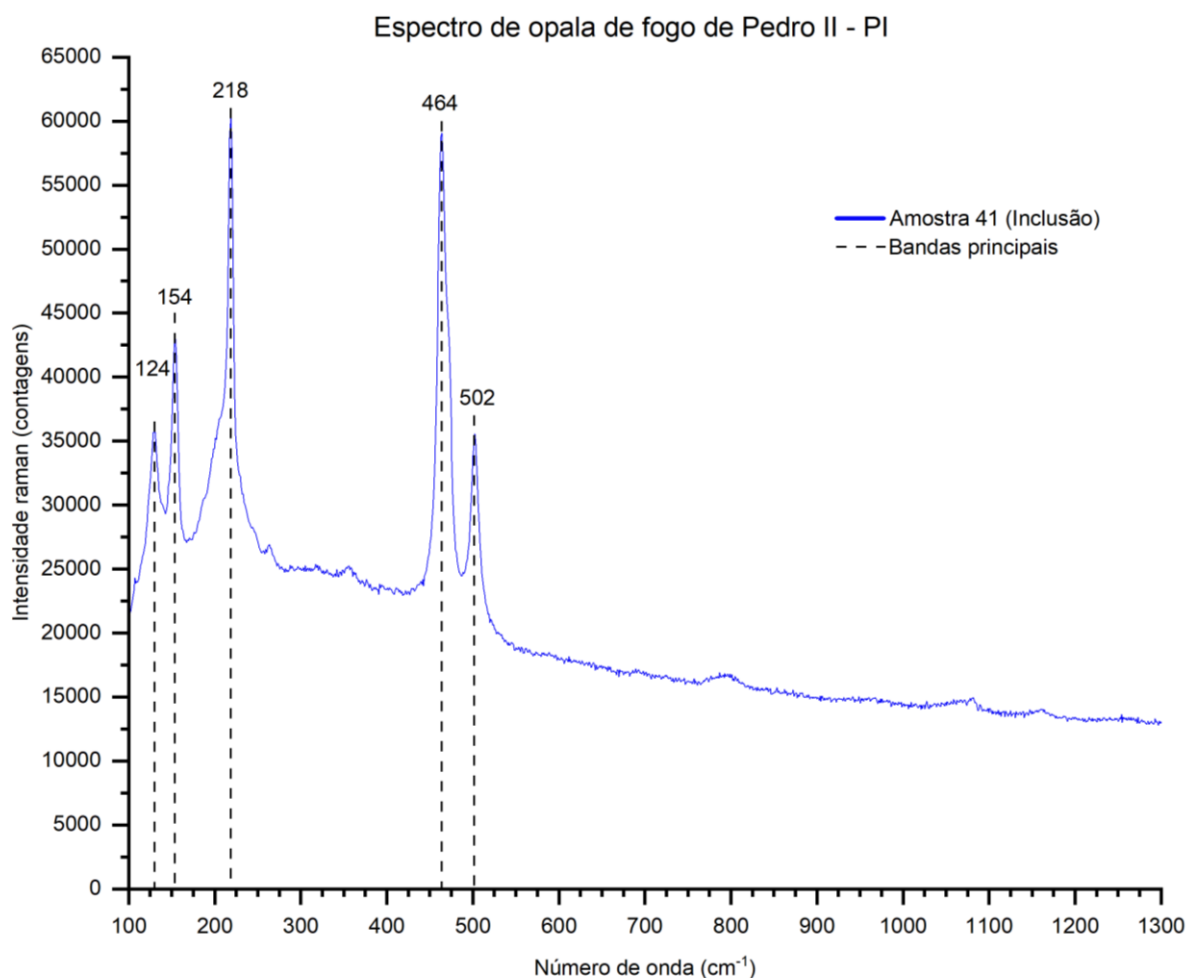


Figura 16 – Espectro Raman das inclusões de quartzo da amostra 41 (opala de fogo de Pedro II – PI).

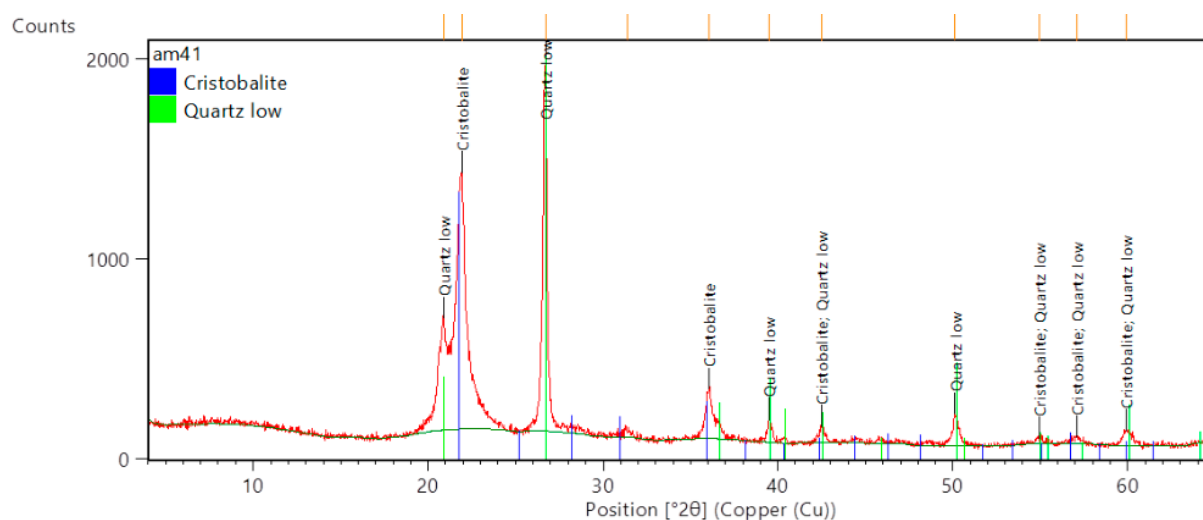


Figura 17 – Resultado da difração de raios X da amostra 41 (opala de fogo de Pedro II).

5.2.2.3 Opala Comum

As amostras de opala comum (33 a 36) apresentaram densidades entre 1,99 e 2,06, por serem amostras brutas não puderam ter seus índices de refração medidos, e devido ao seu baixo interesse gemológico não foram analisadas por espectroscopia Raman ou DRX.

5.2.3 Opala mexicana

Das seis amostras mexicanas (42 a 47), 5 delas mantiveram um padrão de densidade entre 1,90 e 2,08, a única exceção sendo a amostra 45 com uma densidade muito mais alta de 2,63. Nenhuma das amostras pôde ter seu índice de refração medido devido ao abaulamento da superfície (Tabela 3). Foram escolhidas três amostras (42, 43 e 44) mais representativas do grupo para a realização da espectroscopia Raman.

Tabela 3 - Dados de densidade, índice de refração, bandas Raman e classificações gemológicas das amostras do México.

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
México				
42	1,98	n. d.	n. d.	Comum
43	2,02	n. d.	n. d.	Comum
44	2,08	n. d.	n. d.	Comum
45	2,63	n. d.	n. d.	Fogo
46	1,90	n. d.	n. d.	Comum
47	1,98	n. d.	n. d.	Comum

As três amostras apresentaram espectros muito parecidos (Figura 18) na análise Raman, nelas é possível evidenciar uma larga banda entre 298 cm^{-1} a 356 cm^{-1} mostrando a presença de tridimita nas amostras. Na banda principal também podem se observar ombros de menor intensidade nas regiões de 230 cm^{-1} e 415 cm^{-1} , e pequenas bandas em 971 cm^{-1} características da cristobalita. Como em todos os grupos anteriores também se observam uma clara banda em 783 cm^{-1} , associada a estiramentos simétricos Si-O-Si e uma banda em torno de 1075 cm^{-1} , associada a estiramentos assimétricos Si-O-Si, típicas de opala.

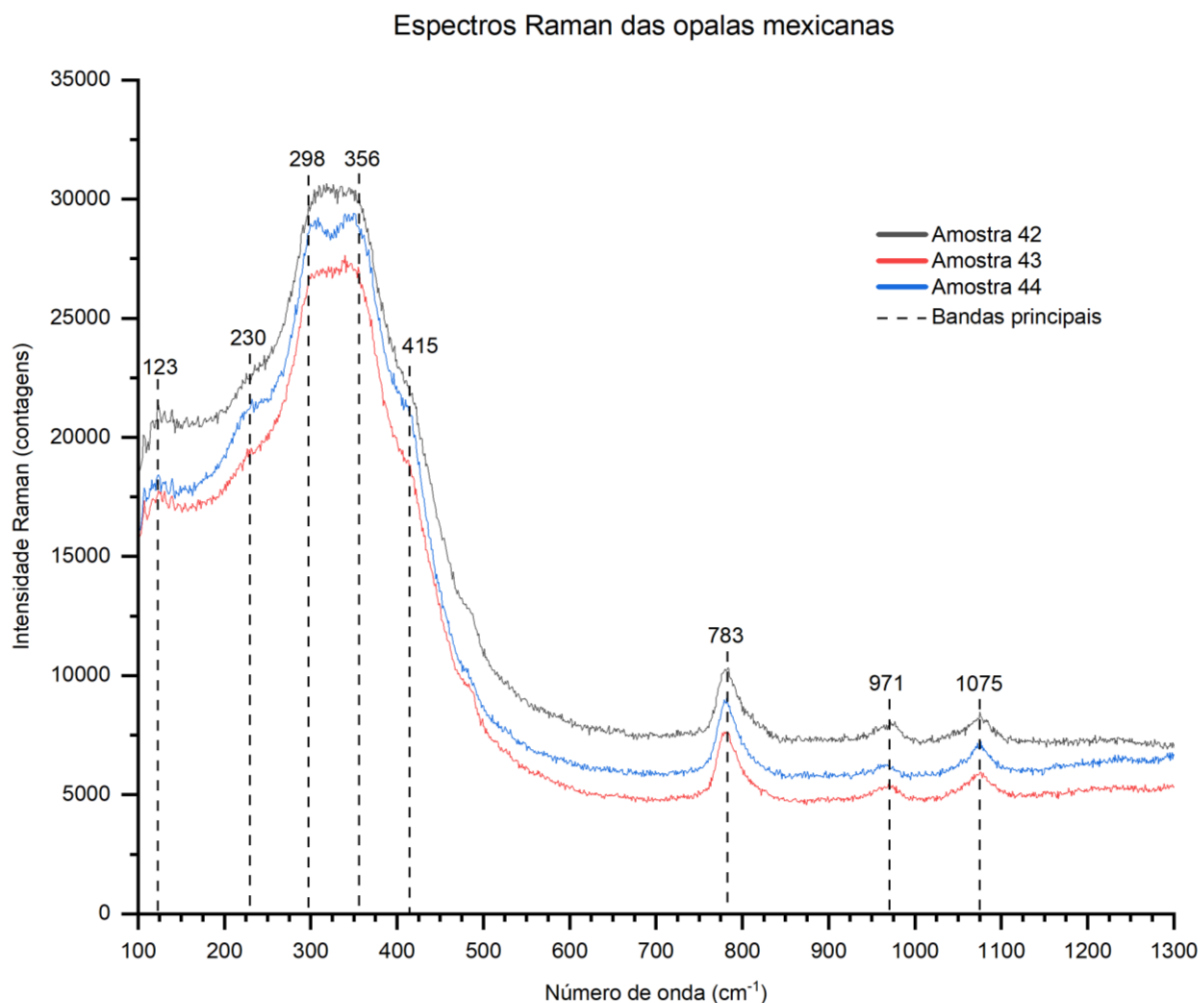


Figura 18 – Espectro Raman das opalas mexicanas (Amostras 42, 43 e 44).

Devido à extrema similaridade dos espectros Raman das amostras, apenas a amostra 43 foi escolhida para a realização de difração de raios X. E de fato apresentou resultado concordante com o Raman, sendo classificada como opala-CT sem quartzo (Figura 19).

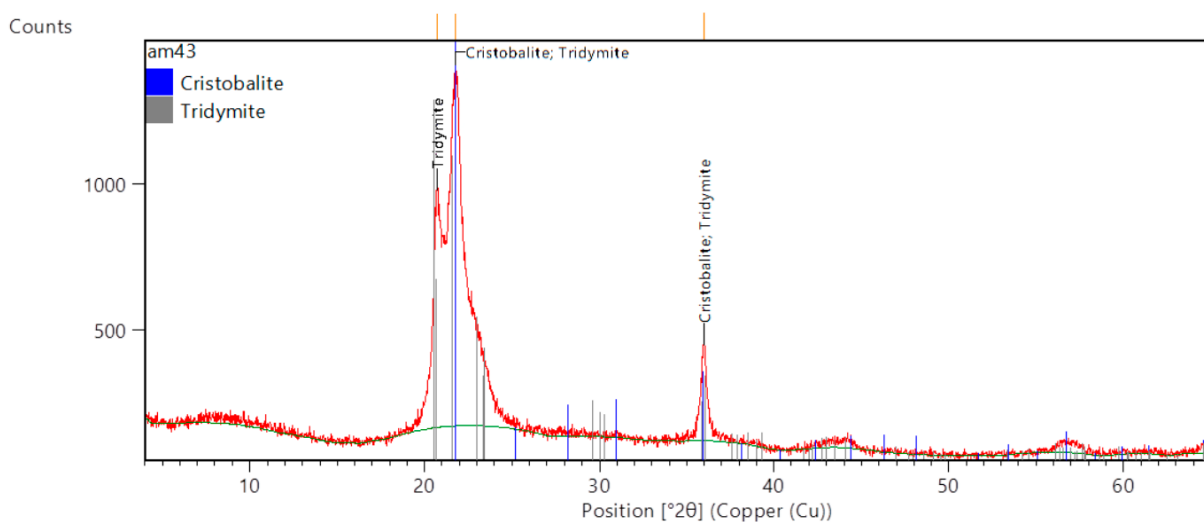


Figura 19 – Difratoograma da amostra 43 (opala comum mexicana).

5.2.4 Opalas de fogo de origem não determinada

A janela de densidades das amostras de opala de fogo (amostras 48 a 51) é pouco abrangente, variando de 1,98 a 2,06. Três das quatro amostras puderam ter seus índices de refração medidos (Tabela 4), motivo pelo qual as amostras 48, 49 e 50 foram escolhidas para a realização do teste de espectroscopia Raman, e, assim como suas densidades, mantiveram grande constância, com duas amostras com índice de refração 1,44 (48 e 49) e uma delas com índice 1,45 (50).

Tabela 4 - Dados de densidade, índice de refração, bandas Raman e classificações gemológicas das amostras de opala de fogo de origem não determinada.

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
Opala de fogo com origem não determinada				
48	2,02	1,44	114 231 417 781 971 1075 1365	Fogo
49	2,00	1,44	114 231 417 781 971 1075 1366	Fogo

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
Opala de fogo com origem não determinada				
50	2,06	1,45	114 231 301 a 360 417 781 971 1075 1367	Fogo
51	1,98	n. d.	n. d.	Fogo

Na análise de espectroscopia Raman, as amostras 48 e 49 apresentaram espectros muito parecidos (Figura 20), enquanto a amostra 50 apresentou algumas singularidades. Os três espectros apresentam bandas muito claras em 231 cm⁻¹ e 417 cm⁻¹ e uma pequena banda em 971 cm⁻¹, associadas à presença de cristobalita, na amostra 50 tais bandas mostraram muito mais proeminência em comparação com as outras duas amostras. Em 301 cm⁻¹ e 360 cm⁻¹ os espectros apresentaram bandas associadas à presença de tridimita, porém, na amostra 50 elas possuem muito menos expressividade. As amostras também apresentaram uma banda em 114 cm⁻¹, muito mais clara na amostra 50; bandas em 130 cm⁻¹ ou próximas são geralmente associadas com a presença de quartzo, porém a diferença de 16 cm⁻¹ e os resultados do DRX indicaram que não seria o caso para tais amostras. Também são observadas as típicas bandas em 781 cm⁻¹ e 1075 cm⁻¹ relacionadas a estiramentos simétricos e assimétricos Si-O-Si.

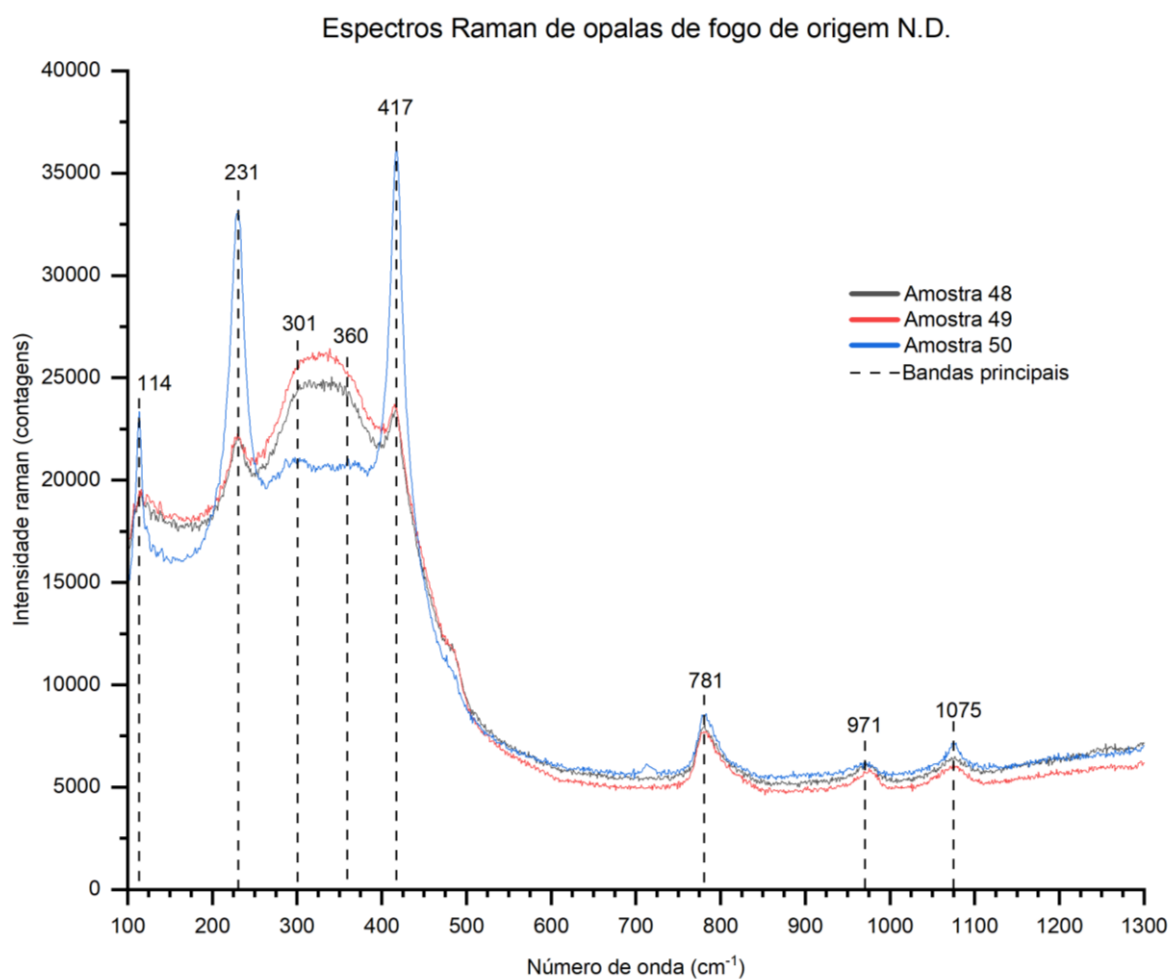


Figura 20 – Espectros de opala de fogo de origem não determinada (amostras 48, 49 e 50).

Por conta da natureza destrutiva do DRX, somente uma das amostras lapidadas foi escolhida para a realização do teste (amostra 50), enquanto a amostra 51, não lapidada, também não foi utilizada porque não teve a análise de espectroscopia Raman realizada. O difratograma da amostra 50 indicou que existe a presença de cristobalita e tridimita (Figura 21). A presença de sinais de cristobalita e tridimita no DRX e no Raman e a ausência de quartzo, classificam as amostras como opala-CT. As diferenças nos espectros das amostras indicam uma possível diferença nas fases de formação entre elas, a maior cristalinidade nas bandas de cristobalita e a menor expressividade das bandas de tridimita na amostra 50 podem mostrar um processo intermediário de transição entre opala-C e opala-CT.

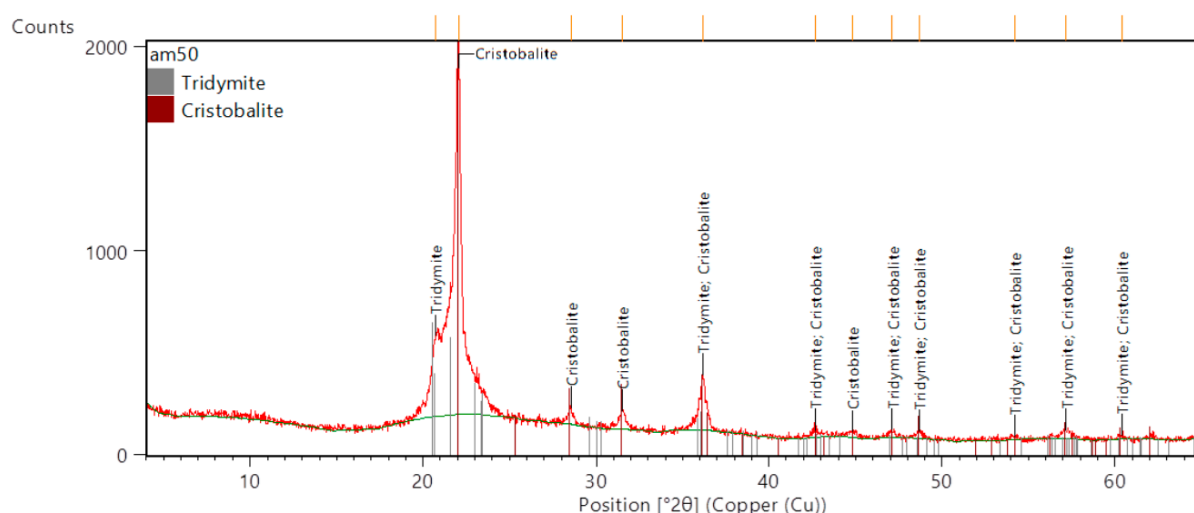


Figura 21 – Difratograma de raios X da amostra 50 (opala de fogo de origem não determinada).

5.2.5 Amostras do Museu de Geociências do IGc - USP

As amostras do museu (Tabela 5) foram divididas de acordo com os três tipos gemológicos encontrados: opala nobre, opala de fogo e opala comum. Cinco amostras tiveram sua origem indicada, Piracuruca (Piauí), e serão discutidas tanto como um grupo singular, quanto dentro dos três grupos gemológicos. Fora os três grupos principais e o grupo de Piracuruca, seis amostras foram retificadas com ajuda das análises Raman, uma foi retificada por suas características gemológicas e três apresentaram densidades muito acima do esperado para opala, portanto, tiveram retificações sugeridas, tais amostras serão discutidas a parte.

Tabela 5 - Dados de densidade, índice de refração, bandas Raman e classificações gemológicas das amostras do Museu de Geociências do IGc – USP.

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
Amostras do Museu de Geociências da USP				
Piracuruca - Piauí				
VIT82-A22-13305	2,14	1,455	n. d.	Nobre
15/5392-13154	2,12	1,455	n. d.	Nobre
18/5390-13305	2,15	1,45	n. d.	Nobre
19/5391-13305	2,13	1,45	n. d.	Comum
31/5396-13154	2,13	1,455	n. d.	Comum
Opala nobre				
Efeitos ópticos nº28-136	2,08	n.d.	n. d.	Nobre
VIT efeitos ópticos nº30-137	2,10	n.d.	n. d.	Nobre
VIT82-A22	2,13	1,46	n. d.	Nobre
VIT82-A25	2,10	n.d.	n. d.	Nobre
3/5403	2,14	1,455	n. d.	Nobre
1//5404	2,13	1,455	n. d.	Nobre

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
Amostras do Museu de Geociências da USP				
Opala nobre				
30/-----	2,21	1,455	n. d.	Nobre
27/5399	2,13	1,45	n. d.	Nobre
14/5401	2,14	1,45	n. d.	Nobre
Vitrine Efeitos Ópticos, 137b	2,10	n.d.	n. d.	Nobre
6/5386-8795	3,07	n.d.	n. d.	Nobre
Opala de fogo				
VIT80-A56-300	2,56	n.d.	n. d.	Fogo
VIT80-A54-200	2,46	n.d.	n. d.	Fogo
VIT80-A57-200	2,58	n.d.	n. d.	Fogo
VIT82-A36-36	2,03	n.d.	n. d.	Fogo
VIT82-A40	2,14	1,45	n. d.	Fogo
VIT82-A39-39	2,01	1,445	n. d.	Fogo
4/5397	2,00	1,44	n. d.	Fogo
3/6694-76	2,14	1,45	n. d.	Fogo
1/5400	1,98	n.d.	n. d.	Fogo
Opala comum				
VIT81-A23	2,14	n.d.	n. d.	Comum
34/5383-1315	2,12	1,45	n. d.	Comum
32/5394	2,13	1,45	n. d.	Comum
2/5389-13154	2,14	1,45	n. d.	Comum
6/5385-12263	2,12	n.d.	n. d.	Comum
33/5408	1,97	1,44	n. d.	Comum
4/5409	2,58	1,48	n. d.	Comum
17/5395	2,15	1,455	n. d.	Comum
8/5387-13243	2,14	1,45	n. d.	Comum
7/6665	2,14	1,455	n. d.	Comum
25/5405	2,00	1,44	n. d.	Comum
Retificações				
7/5382-40	2,60	n.d.	n. d.	n.d.
VIT82-A20-212/58	2,82	n.d.	n. d.	Material sintético
12/5409	2,81	n.d.	n. d.	Material sintético
13/5380	2,63	n.d.	n. d.	Quartzo
15/5406	2,65	1,54	129 208 266 356 394 402 465 809 1159	Quartzo

Amostra	Densidade	IR	Bandas (cm ⁻¹)	Tipo
Amostras do Museu de Geociências da USP				
Retificações				
28/5388	2,65	1,54	129 208 266 356 394 402 465 809 1080 1160	Quartzo
29/5398	2,65	1,54	129 208 266 356 394 402 465 809 1161	Quartzo
36/5402	2,64	1,54	129 208 266 356 394 402 465 697 809 1162	Quartzo
10/5393-00	2,57	1,53	129 208 266 356 394 402 465 503 809 1080 1163	Quartzo
1/5381	2,65	1,54	223 a 289 510 1093 1269 1370 1609 1862	Quartzo com inclusões micáceas

Treze amostras de opala nobre foram analisadas, mostrando uma densidade entre 2,08 e 2,21, sete amostras puderam ter seus índices de refração medidos e apresentaram

valores entre 1,45 e 1,46. A amostra 6/5386-8795, apesar de possuir uma densidade muito alta (3,07), foi classificada como opala nobre *boulder*, isso porque este tipo de opala é caracterizada por ser lapidada juntamente com porções de rocha matriz, mascarando sua verdadeira densidade. De maneira geral este grupo apresentou valores de densidade e índice de refração bastante consistentes.

Apenas nove amostras de opala de fogo foram analisadas, este foi o grupo com maior variação nos valores de densidade medidos: 1,98 a 2,58. As amostras VIT80-A56-300 e VIT80-A57-200 apresentaram valores de densidade pouco acima dos esperados para opala, como seus índices de refração não puderam ser medidos e suas características visuais serem típicas de opala, as amostras não foram retificadas, mas existe a possibilidade que o material seja sintético. Quatro amostras puderam ter seus índices de refração medidos, ao contrário das densidades, os índices apresentaram grande consistência, variando de 1,44 a 1,45.

O grupo de opala comum, representado por 14 amostras, apresentou uma variação de densidade de 1,97 a 2,15, seus índices de refração variam de 1,44 a 1,46. A amostra 4/5409 foi mantida neste grupo, pois, apesar de possuir densidade de 2,58, acima do esperado para opala, possui um índice de refração de 1,48, dentro de valores esperados, e características comumente encontradas em amostras de opala comum, porém não se pode descartar a possibilidade de ser um material sintético.

As amostras de Piracuruca, constituídas por duas amostras de opala comum e três de opala nobre, apresentaram grande consistência em seus valores de densidade, 2,12 a 2,15, e índice de refração 1,45 a 1,455, indicando estas propriedades como bons indicadores diagnósticos para amostras da região.

Amostras que tiveram suas densidades acima do esperado e não puderam ter seus índices de refração medidos não foram selecionadas para a realização do teste de espectroscopia Raman. Uma das amostras, 7/5382-40, apresentou densidade de 2,6, pouco acima do esperado para opala e mostrou um fenômeno óptico de labradorescência (Figura 22), mas apesar disso apresenta densidade menor que o esperado para labradorita (2,68 a 2,72), por apresentar diversas inclusões micáceas, é possível que sua verdadeira densidade tenha sido mascarada, mas a amostra não pôde ser identificada. A amostra 13/5380 apresentou densidade de 2,63, próxima do quartzo e características comuns a amostras de quartzo, por isso sugere-se que seja retificada como quartzo. As amostras VIT82-A20-212/58 e 12/5409 possuem densidade de 2,82 e 2,81 respectivamente, consideravelmente maiores que o esperado para opala e para quartzo, junto a isso ambas as amostras são translúcidas azuladas e sem inclusões, aumentando a possibilidade de que sejam materiais sintéticos tentando imitar a aparência de uma opala *jelly*.

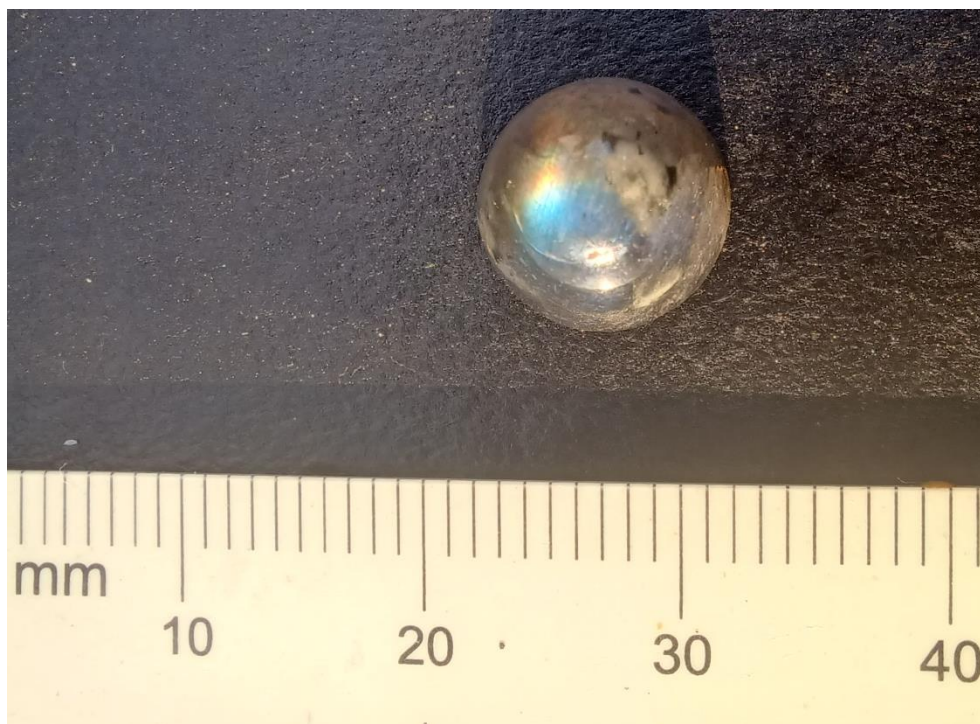


Figura 22 – Amostra 7/5382-40 do Museu de Geociências do IGc – USP.

As seis amostras que apresentaram valores de densidade (2,64 a 2,65) e índice de refração (1,53 a 1,54) maiores que o esperado para opala foram escolhidas para a realização de espectroscopia Raman. As amostras 15/5406, 28/5388, 29/5398, 36/5402 e 10/5393-00, além de apresentarem densidades, índices de refração e características gemológicas parecidas, também apresentaram espectros muito parecidos (Figura 23), neles é possível observar que, assim como o espectro da inclusão da amostra 41, essas amostras apresentaram bandas marcantes em 129 cm^{-1} , 208 cm^{-1} , 465 cm^{-1} e 503 cm^{-1} , todas associadas ao quartzo. Unindo as características das amostras, o mais provável é que todas as cinco amostras anteriormente classificadas como opala comum são na verdade quartzo.

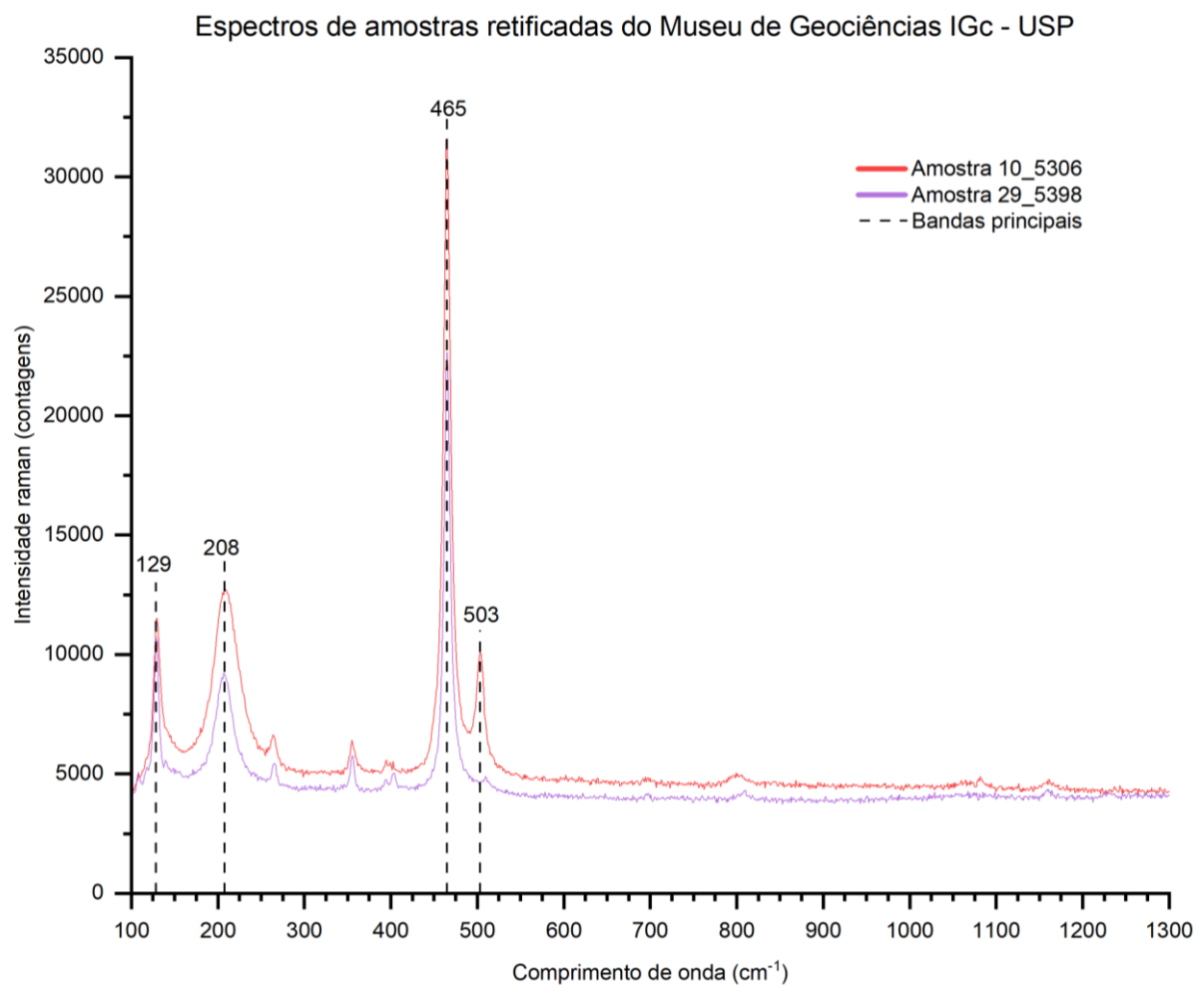


Figura 23 – Espectros Raman das amostras 10/5393-00 e 29/5398, representativas para o grupo de amostras retificadas como quartzo do Museu de Geociências do IGc – USP.

A amostra 01/5381 (Figura 24), mesmo apresentando valores de densidade e índice de refração iguais às outras 5 amostras retificadas apresentou características gemológicas e um espectro Raman únicos. Na figura é possível observar que, contidas num material transparente e incolor, existem diversas inclusões laranja metálicas lamelares pouco orientadas.



Figura 24 – Amostra 01/5381 do Museu de Geociências IGc – USP, retificada como quartzo com inclusões micáceas.

O espectro da amostra 01/5381 (Figura 25) apresentou duas pequenas bandas em 289 cm^{-1} e 510 cm^{-1} que poderiam ser associadas ao quartzo, porém, as bandas mais claras são vistas em um largo corpo que se estende de 1093 cm^{-1} a 1862 cm^{-1} com ápices em 1269 cm^{-1} , 1370 cm^{-1} e 1609 cm^{-1} . Para a espectroscopia desta amostra a potência utilizada teve que ser reduzida para apenas 1%, isso porque a intensidade Raman das bandas acima de 1093 cm^{-1} sobressaía os valores máximos de leitura de intensidade nas potências de 5% e 100% do aparelho, tal comportamento indica que provavelmente as inclusões apresentam conteúdos metálicos consideráveis, a coloração avermelhada sugere a presença de ferro, comum em minerais micáceos. Somando o hábito e brilho das inclusões é bastante provável que sejam inclusões micáceas, porém, com as bandas obtidas no espectro de 100 cm^{-1} a 2000 cm^{-1} não foi possível determinar qual mineral/ais compõem a amostra. Devido à grande quantidade de inclusões, a densidade pode ter sido mascarada, mas o índice de refração indica que o material principal é quartzo, sugerindo que a amostra deve ser retificada como quartzo com inclusões micáceas.

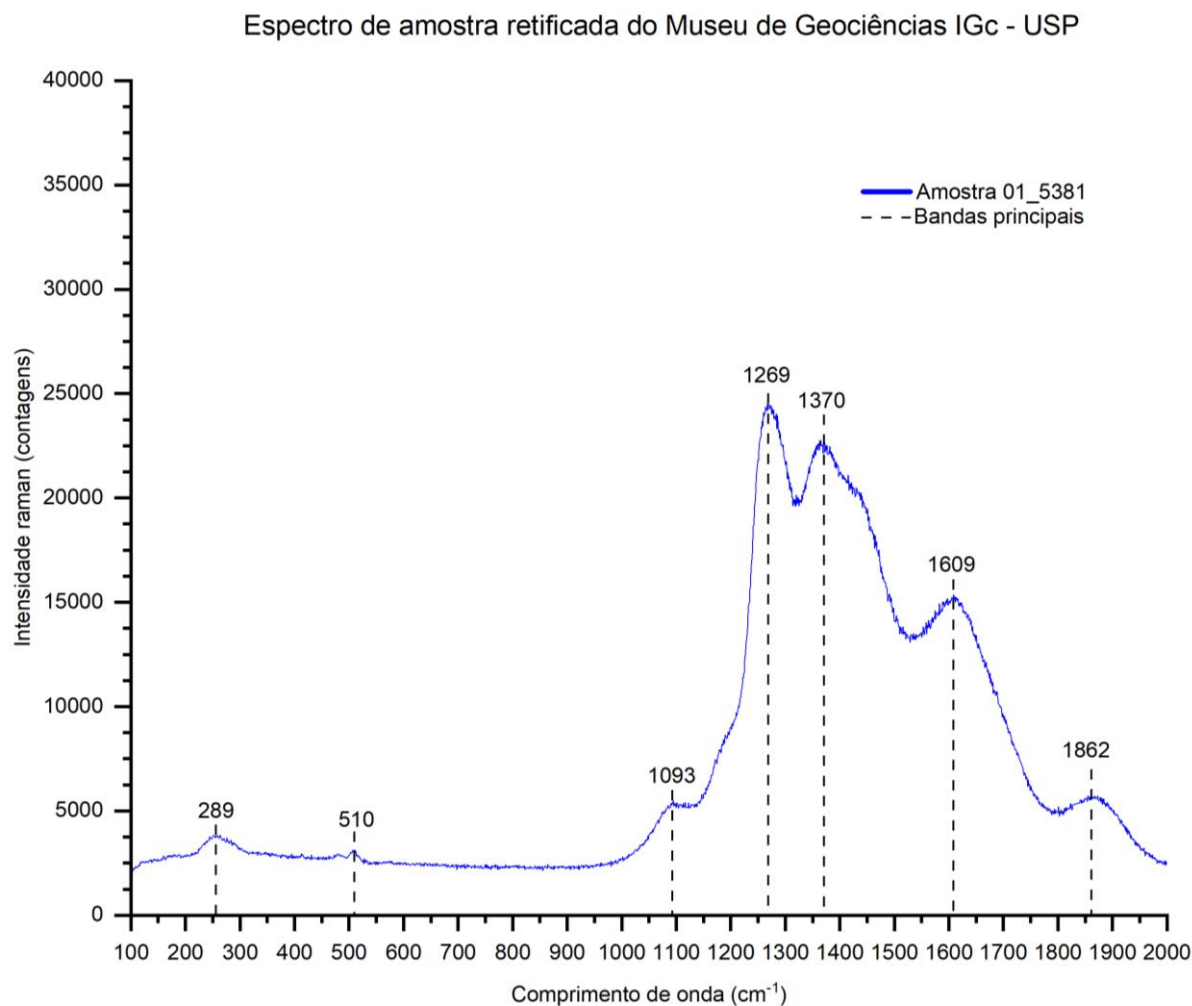


Figura 25 – Espectro da amostra 01/5381 do Museu de Geociências IGc – USP, retificada como quartzo com inclusões micáceas.

6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pimentel (2007) sugere em seus estudos que o comportamento da densidade e índice de refração ocorreriam de maneira linear, sugerindo um método de classificação para opala-CT e opala-C de acordo com tais propriedades, propondo que amostras com densidade superiores a 2,14 e índice de refração superiores a 1,46 seriam opala-C e amostras com densidade entre 2,0 e 2,1 e índice de refração entre 1,44 e 1,45 seriam opala-CT. As amostras analisadas no presente trabalho, em contrapartida, não apresentaram comportamento linear em nenhum dos grupos e, segundo as análises DRX e Raman, houve amostras de opala-CT e opala-C que não se adequam aos intervalos propostos.

Quando comparadas as amostras de opala nobre de Pedro II (PI) com as variadas amostras nobres do museu, observa-se que a opala nobre apresenta valores de densidade numa faixa de 2,08 a 2,21, porém, uma consistência ainda maior pode ser vista nas gemas

de Pedro II (2,09 a 2,14), podendo indicar uma característica intrínseca e diagnóstica para as gemas da região. Em contraparte, os índices de refração apresentaram a mesma janela de valores. Da mesma forma, é possível comparar as amostras de Piracuruca, cidade a cerca de 60 km de Pedro II (Figura 26), e observar que apresentam valores muito próximos dos encontrados em Pedro II (densidade entre 2,12 e 2,14), mostrando que densidade é uma característica consistente em uma região abrangente nas gemas nobres encontradas no norte do Piauí. As amostras de opala comum mostram valores de densidade próximos às nobre, mas menos consistentes, enquanto a opala de fogo apresenta tanto valores mais altos quanto valores mais baixos, muito provavelmente devido à grande quantidade de inclusões.

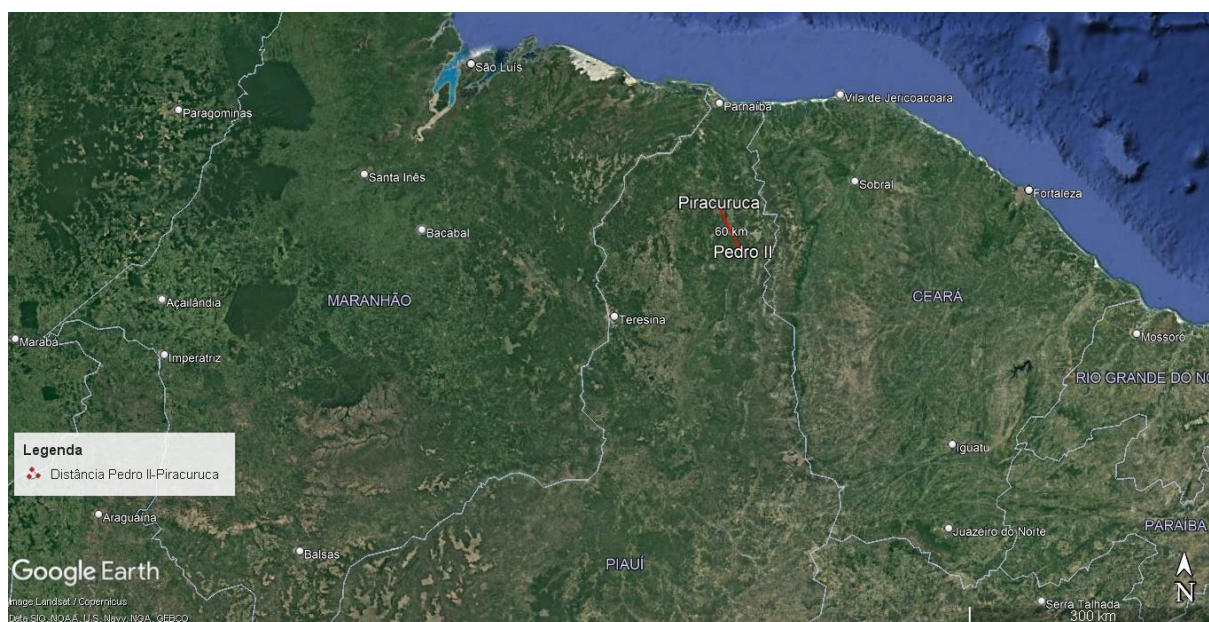


Figura 26 – Distância entre Piracuruca (PI) e Pedro II (PI).

Nos espectros Raman dos diferentes grupos, as bandas em 785 cm^{-1} e 1080 cm^{-1} sempre estiveram presentes, em maior e menor intensidades, indicando que os processos de estiramento Si-O-Si simétricos e assimétricos são comuns em todos os tipos de opala. Dados para indicação de tridimita, cristobalita e quartzo se mostram bastante claras, mesmo apesar do amplo alargamento das bandas recorrente do caráter amorfo intrínseco à opala, indicando a espectroscopia Raman como um método bastante eficaz para a análise de gemas, principalmente por seu caráter não destrutivo. Referências bibliográficas indicam que a espectroscopia Raman também pode ser muito útil para a determinação do conteúdo de água da opala, por meio da identificação da presença de grupos silenóis, porém, tal determinação ocorre por bandas a partir de 3000 cm^{-1} , acima do realizado neste trabalho.

As amostras de opala mel de Capim Grosso (BA) não apresentaram valores de densidade e índice de refração consistentes o suficiente para tais propriedades serem consideradas diagnósticas, logo, sugere-se que sejam olhadas a coloração amarela delicada,

o brilho vítreo em amostras translúcidas ou o brilho ceroso em amostras opacas e as inclusões brancas leitosas como principais características de gemas da região.

A grande variedade de dados físicos e óticos encontrada em gemas de opala de fogo indica a dificuldade de encontrar propriedades únicas para cada depósito. Para as amostras de Pedro II podem ser indicadas a cor vermelho intensa, a grande quantidade de inclusões quartzosas e a opacidade como características importantes para a distinção de gemas da região. Para o grupo de amostras de origem não determinada não foi possível estipular propriedades únicas, sua origem foi inicialmente indicada como sendo de Rondônia, porém, não foi possível encontrar nenhuma citação de jazidas na região, por isso, caso sejam realmente amostras brasileiras, apresentam características muito parecidas com gemas encontradas em jazidas do Rio Grande do Sul, com brilho vítreo resinoso, coloração variando de laranja fraco a laranja-avermelhado intenso, podendo ser transparentes, translúcidas e raramente opacas (Brum e Juchem, 2011).

O acervo de amostras do Museu de Geociências IGc-USP expõe um grande número de belos exemplos de amostras, principalmente quando se refere a amostras de opala nobre. A variedade de tipos e coloração de jogo de cor e a qualidade das gemas é de grande interesse ao público interessado a conhecer as possibilidades gemológicas que a opala apresenta. Das 46 amostras, 10 foram retificadas como não sendo amostras de opala e 7 puderam ter sua verdadeira classificação indicada, todas reclassificadas como variedades de quartzo.

7. CONCLUSÕES

A análise gemológica realizada no presente trabalho mostrou a importância da pesquisa das jazidas de opala no país.

A grande diversidade de cores e tipos de jogo de cor da opala nobre de Pedro II (PI) é uma característica desejada no mercado internacional de gemas. Em adição, a possibilidade de utilização de características de simples identificação, como a densidade, para a distinção de amostras nobres do norte do Piauí, também indica um fator importante para o renome das gemas nacionais na revenda internacional, visto que, segundo Klein e Dutrow (2009), a opala nobre de Pedro II é comumente exportada em sua forma bruta e, depois de lapidada, revendida como sendo opala australiana.

O grande número de inclusões nas amostras de opala de fogo de Pedro II (PI) e opala mel de Capim Grosso (BA) são características geralmente pouco desejadas no mercado de gemas, porém, a coloração vermelha viva e amarela delicada são possivelmente interessantes caso seja possível encontrar locais de extração com gemas livres de inclusões.

As avaliações mineralógicas mostraram a tendência de encontrar um maior número de opala-CT, com exceção da opala nobre, caracteristicamente opala-A.

A utilização de ambos os métodos de difratometria de raios X e espectroscopia Raman permitiu, além de uma avaliação completa das amostras, a comparação das duas metodologias no contexto de um estudo gemológico. O método DRX tem como qualidade principal a precisão dos resultados, porém, seu caráter destrutivo torna seu uso muito limitado quando se refere ao estudo de pedras lapidadas.

Em contraparte, a espectroscopia Raman se mostrou capaz de obter resultados conclusivos sem gerar dano nas amostras. O caráter amorfo da opala dificulta a interpretação dos dados, mas não a impede, e tal característica é presente em um número muito limitado de gemas, fazendo com que o método seja indicado para estudos gemológicos de maneira geral. Outro fator bastante útil neste método é a capacidade de se estudar inclusões de gemas separadamente devido à precisão da área analisada.

REFERÊNCIAS

- Barbosa J. S. E., Sabaté P., Marinho M. M., 2003, O Cráton do São Francisco na Bahia: uma síntese: *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 1, p. 03-06.
- Brum T. M. M., Juchem P. L., 2011, Opala do Rio Grande do Sul: Técnicas não destrutivas aplicadas a gemas do RS, cap. 3, p. 23-48.
- Estrada C. F., 2007, Changing the science of mineralogy: The use of Raman spectroscopy in mineral identification and the RRUFF Project: *Newsletter of the Rocky Mountain Association of Geologists*, 55, 1-8, p. 1071-1075.
- Gomes É. R., Costa M. L., Marques G. T., 2022, As Opalas de Pedro II e Buriti dos Montes, Piauí: *Revista da Academia de Ciências do Piauí* 3.3, p. 123-133.
- Ilieva A., Mihailova B., Tsintsov Z., et al., 2007, Structural state of microcrystalline opals: A Raman spectroscopic study. *American Mineralogist*, v. 92, n. 8-9, p. 1325-1333.
- Klein C., Dutrow B., 2009, *Manual de ciências dos minerais*, p. 589-590.
- Machado D. V., Schnellrath J., Queiroz J. P. C., 2020, Caracterização Mineralógica e Gemológica das Opalas de Buriti dos Montes—Piauí: *Anuário do Instituto de Geociências* 43.2., doi:10.11137/2020_2_415_425, p. 415-425.
- Ostrooumov M., 2007, A Raman, infrared and XDR analysis of the instability in volcanic opals from Mexico. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 68, n. 4, p. 1070-1076.
- Ostrooumov M., Fritsch E., Gaillou E., 2011, *Sociedad Mexicana de Mineralogia A. C., Ópalos mexicanos: investigación mineralógica y resultados durante la última década*. p. 4.
- Pimentel P. C., 2007, Caracterização de opalas-CT coloridas de qualidade gema, Trabalho Final, Instituto de Geociências – UFRJ, CETEM, 44 p.
- Sachs L. L. B., 2015, Projeto avaliação dos depósitos de opalas de Pedro II: estado do Piauí, CPRM/SGB, p. 47-60.
- Santiago C., 2015, Caracterização mineralógica e gemológica das ocorrências de opala verde, localmente com efeito olho-de-gato, na região de Socotó, Bahia.
- Schumann W., 1995, *Gemas do mundo*, livro Técnico, p. 150-153.
- Silva A. L., 2013, Caracterização mineralógica por difração de raios X e determinação de terras raras por ICP-MS de rochas da região sul da Bahia, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia – UFMG, 100 p.
- Simandl G. J., Paradis S., Diakow L. J., Wojdak P. J., 1998, Precious opal in the whitesail range, west-central British Columbia, Canada (NTS 93E/10W and 93E/11E): *Geological fieldwork*, p. 9.
- Smallwood, A. G., Thomas, P. S., Ray, A. S., 1997, Characterisation of sedimentary opals by Fourier transform Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 53, n. 13, p. 2341-2345.

ANEXOS

Anexo 1

Descrições e classificações gemológicas completas de todas as amostras analisadas.

Amostra	Classificação gemológica completa	Descrição
Capim Grosso - Bahia		
1	Mel	Amarela, translúcida, com uma inclusão marrom, pouco fraturada, cabochão
2	Mel	Amarela, translúcida, inclusões leitosas, pouco fraturada, cabochão
3	Mel	Amarela, transparente, uma grande inclusão leitosa, pouco fraturada, cabochão
4	Mel	Amarela-clara, translúcida, inclusões leitosas, medianamente fraturada, cabochão
5	Mel	Amarela, translúcida, inclusões leitosas, pouco fraturada, cabochão
6	Mel	Amarela-alaranjada, translúcida, inclusões marrons, pouco fraturada, cabochão
7	Comum	Branca-amarelada, translúcida, inclusões leitosas, pouco fraturada, cabochão
8	Mel	Amarela, translúcida, inclusões leitosas, pouco fraturada, cabochão
9	Mel	Amarela-clara, transparente, inclusões fibrosas marrons, medianamente fraturada, cabochão
10	Mel	Amarela-clara, translúcida, inclusões leitosas, cabochão

Amostra	Classificação gemológica completa	Descrição
11	Comum	Branca-amarelada, translúcida, inclusões leitosas, cabochão
12	Mel	Amarela-esverdeada, translúcida, inclusões leitosas, pouco fraturada, cabochão
13	Mel	Amarela-alaranjada, translúcida, inclusões marrons e leitosas, medianamente fraturada, cabochão
14	Mel	Branca-amarelada, translúcida, inclusões leitosas, pouco fraturada, cabochão
15	Mel	Amarela-clara, translúcida, inclusões leitosas, poucos pontos sub-milimétricos de fogo violeta, medianamente fraturada, cabochão
16	Mel	Amarela-esverdeada, translúcida, inclusões leitosas e marrons, pouco fraturada, cabochão
17	Mel	Amarela-escura, translúcida, inclusões leitosas, pouco fraturada, cabochão
18	Comum	Branca, transparente, inclusões leitosas e marrons, pouco fraturada, cabochão
19	Mel	Amarela, transparente, inclusões leitosas, cabochão
20	Comum	Branca-amarelada, translúcida, inclusões leitosas, cabochão
52	Mel	Amarela, translúcida, fraturas conchoidais, pouco fraturada, bruta

Amostra	Classificação gemológica completa	Descrição
53	Mel	Amarela, translúcida, inclusões marrons, fraturas conchoidais, pouco fraturada, bruta
54	Mel	Amarela, translúcida, inclusões marrons, fraturas conchoidais, pouco fraturada, bruta, com aspecto de "cera"
55	Mel	Amarela, translúcida, fraturas conchoidais, pouco fraturada, bruta
56	Mel	Amarela, translúcida, acamadada intercalando entre camadas claras e escuras, pouco fraturada, bruta, com aspecto de "cera"
57	Mel	Amarela esbranquiçada, translúcida, fraturada, com inclusões brancas leitosas, cabochão
58	Mel	Amarela escura, translúcida, pouco fraturada, com inclusões leitosas brancas, cabochão
59	Mel	Amarela, translúcida, fraturada, com inclusões leitosas brancas
Pedro II - Piauí		
Opala nobre		
21	Branca Nobre com padrão <i>flash fire</i>	Branca-amarelada, translúcida, fogo verde e violeta com padrão <i>flash fire</i> , cabochão
22	Branca Nobre com padrão <i>flash fire</i>	Branca, translúcida, fogo majoritariamente vermelho com pontos verdes e violetas com padrão <i>flash fire</i> , cabochão em gota
23	Branca Nobre com padrão <i>flash fire</i>	Branca-amarelada, translúcida, com camadas brancas opacas, jogo de cor majoritariamente azul com ocasionais pontos verdes em padrão <i>flash fire</i> , pouco fraturada, arredondada
24	Branca Nobre com padrão capotinha	Branca, translúcida, jogo de cor verde com pontos azuis com padrão capotinha, arredondada

Amostra	Classificação gemológica completa	Descrição
25	Opala <i>Jelly Ribbon</i>	Transparente azulada, camadas com jogo de cor intercalando entre camadas verdes e violetas com alguns pontos avermelhados com padrão <i>flash fire</i> e capotinha, arredondada
26	Branca Nobre com padrão capotinha	Branca, translúcida, jogo de cor vermelho com pontos verdes com padrão capotinha, uma face lapidada
27	Branca Nobre com padrão <i>flagstone</i>	Branca, translúcida, jogo de cor verde e azul difuso com padrão <i>flagstone</i> , pouco fraturada, bruta
28	Branca Nobre com padrão <i>flagstone</i>	Branca, translúcida, uma grande inclusão opaca bege, fraco jogo de cor azulado difuso com padrão <i>flagstone</i> , bruta
29	Branca Nobre com padrão <i>flagstone</i>	Branca, translúcida, inclusões amarronzadas, fraco jogo de cor vermelho e verde com pontos violetas com padrão <i>flagstone</i> , pouco fraturada, uma face lapidada
30	Branca Nobre com padrão capotinha	Branca, translúcida, grandes inclusões quartzosas amarronzadas, jogo de cor verde, vermelho e violeta com padrão capotinha
31	Branca Nobre com padrão <i>flagstone</i>	Branca, translúcida, poucas inclusões marrons, jogo de cor difuso indo de verde a violeta com padrão <i>flagstone</i> , pouco fraturada, bruta
32	Branca Nobre com padrão <i>flashfire</i>	Branca, translúcida, jogo de cor difuso de verde a violeta, pouco fraturada com padrão <i>flash fire</i> , bruta
Opala comum		
33	Comum	Branca-amarelada, transparente, fraturas conchoidais, bastante fraturada, bruta
34	Comum	Branca leitosa, translúcida, fraturas conchoidais, bruta
35	Comum	Branca-amarelada, transparente, fraturas conchoidais, bastante fraturada, bruta

Amostra	Classificação gemológica completa	Descrição
36	Comum	Branca, transparente, bastante fraturada, bruta
Opala de fogo		
37	Fogo	Vermelha, translúcida, uma grande inclusão quartzosa marrom, fraturas esbranquiçadas medianamente fraturada, cabochão
38	Fogo	Vermelha-alaranjada, opaca, inclusões quartzosas marrons, fraturas esbranquiçadas, medianamente fraturada, cabochão
39	Fogo	Vermelha-alaranjada, opaca, uma grande inclusão quartzosa marrom, fraturas esbranquiçadas, medianamente fraturada, cabochão
40	Fogo	Vermelha, opaca, pouco fraturada, cabochão
41	Fogo	Vermelha-escura, opaca, inclusões brancas quartzosas, medianamente fraturada, cabochão
México		
42	Comum	Branca leitosa, transparente, inclusões fibrosas brancas, pouco fraturada, cabochão
43	Comum	Branca-azulada, transparente, poucas inclusões fibrosas brancas, pouco fraturada, cabochão
44	Comum	Branca, translúcida, cabochão
45	Fogo	Laranja leitosa, translúcida, cabochão
46	Comum	Branca, opaca, inclusões fibrosas brancas, cabochão

Amostra	Classificação gemológica completa	Descrição
47	Comum	Branca, opaca, inclusões fibrosas brancas, cabochão
Opala de fogo com origem não determinada		
48	Fogo	Vermelha-alaranjada, transparente, lapidada
49	Fogo	Laranja, transparente, lapidada
50	Fogo	Laranja, transparente, lapidada
51	Fogo	Vermelha, opaca, fraturas conchoidais, pouco fraturada, bruta
Amostras do Museu de Geociências IGc - USP		
Piracuruca - Piauí		
VIT82-A22-13305	Branca Nobre com padrão <i>flash fire</i>	Branca, translúcida, lapidada, com leve jogo de cor verde e azul
15/5392-13154	Branca Nobre com padrão capotinha	Branca, translúcida, lapidada, com jogo de cor verde e vermelha
18/5390-13305	Opala Branca Nobre com padrão <i>flash fire</i>	Branca, opaca, lapidada, com um fraco jogo de cor de verde a vermelho em padrão <i>flash fire</i>
19/5391-13305	Comum	Branca, opaca, com finas camadas translúcidas em meio ao branco leitoso, lapidada
31/5396-13154	Comum	Branca, transparente, lapidada
Opala nobre		

Amostra	Classificação gemológica completa	Descrição
Efeitos ópticos nº28-136	Opala Nobre Branca com padrão <i>flash fire</i>	Branca, translúcida, lapidada, com jogo de cores vermelho e verde com ocasionais pontos azuis e violetas com padrão <i>flash fire</i> , cortada por listras de matriz leitosa
VIT efeitos ópticos nº30-137	Dublet de Opala Branca Nobre com padrão capotinha	Opala branca translúcida, dublet com rocha cinza quartzosa, fraturada, lapidada, com jogo de cor verde
VIT82-A22	Nobre	Branca, translúcida, lapidada, com leve jogo de cor verde e azul
VIT82-A25	Opala Geleia com padrão <i>flash fire</i>	Transparente azulada, cabochão, levemente fraturada, com jogo de cor variando de violeta, a azul a verde
3/5403	Branca Nobre com padrão capotinha	Branca, translúcida, cabochão, com jogo de cor verde e vermelho e alguns pontos violetas em padrão capotinha
1/5404	Opala Geleia com padrão capotinha	Transparente azulada, cabochão, com brilho leitoso, com jogo de cor verde e violeta em padrão capotinha
30/-----	Opala Geleia com padrão <i>flash fire</i> , <i>broad flash</i> e capotinha	Transparente azulada, lapidada, com brilho leitoso, jogo de cor verde e vermelho em padrão <i>broad flash</i> e capotinha e azul <i>flash fire</i>
27/5399	Branca Nobre com padrão <i>flash fire</i>	Branca, transparente, lapidada, uma única fratura branca leitosa, com um leve jogo de cor violeta
14/5401	Branca Nobre com padrão capotinha	Branca, translúcida, lapidada, com jogo de cor verde e vermelha
Vitrine Efeitos Ópticos, 137b	Opala Preta Ribbon com padrão <i>Jigsaw</i> , <i>flash fire</i> e <i>block</i>	Cinza-escuro, translúcido, arredondado oval, com camadas de espessuras variadas com jogo de cores variando de camadas verde e vermelhas e camadas vermelhas e violetas e alaranjadas, em padrão <i>jigsaw</i> , <i>flash fire</i> e <i>block</i> .
6/5386-8795	Opala <i>Boulder</i>	Marrom, opaca, cabochão, fraturada, fraturas preenchidas com opala de forte jogo de cor verde e violeta

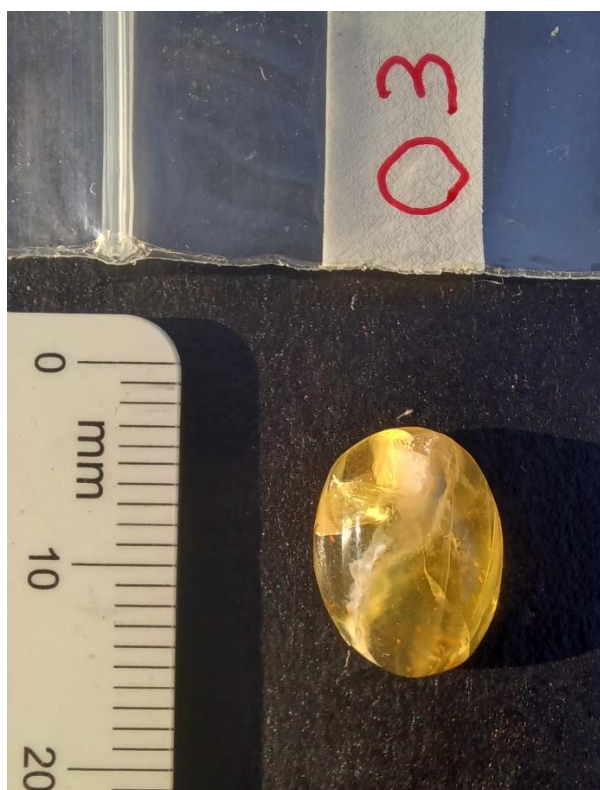
Amostra	Classificação gemológica completa	Descrição
Opala de fogo		
VIT80-A56-300	Fogo	Laranja, transparente, lapidada
VIT80-A54-200	Fogo	Laranja, transparente, lapidada
VIT80-A57-200	Fogo	Laranja, transparente, lapidada
VIT82-A36-36	Fogo	Laranja, transparente, lapidada
VIT82-A40	Fogo	Laranja, transparente, lapidada
VIT82-A39-39	Fogo	Laranja, transparente, lapidada, levemente fraturada
4/5397	Fogo	Laranja, transparente, lapidada
3/6694-76	Fogo	Laranja, transparente, lapidada
1/5400	Fogo	Laranja vivo, transparente, cabochão
Opala Comum		
VIT81-A23	Comum	Branca, transparente, cabochão
34/5383-1315	Comum	Branca, transparente, lapidada, amarelada

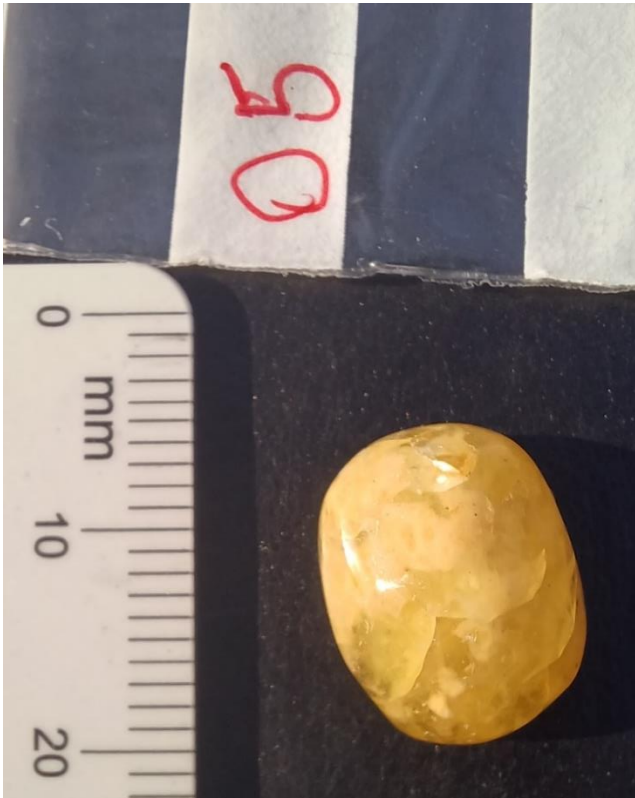
Amostra	Classificação gemológica completa	Descrição
32/5394	Comum	Branca, transparente, lapidada, amarelada
2/5389-13154	Comum	Branca, transparente, lapidada, leve jogo de cor violeta
6/5385-12263	Comum	Bicolor, metade branca opaca, metade amarela-escura com inclusões escuras, cabochão
33/5408	Comum	Branca, transparente, lapidada, levemente fraturada, amarelada
4/5409	Comum	Branca-acinzentada, opaca, cabochão,
17/5395	Comum	Branca, opaca, lapidada
8/5387-13243	Comum	Branca, opaca, cabochão, leve brilho esverdeado
7/6665	Comum	Branca (leitosa), translúcida, cabochão
25/5405	Mel	Amarela-clara, transparente, lapidada
Retificações		
7/5382-40	n.d.	Amostra cinza-escura, translúcida, cabochão, com inclusões brancas micáceas, e labradorescência azulada
VIT82-A20-212/58	Material Sintético	Transparente azul-esverdeada, cabochão, brilho leitoso

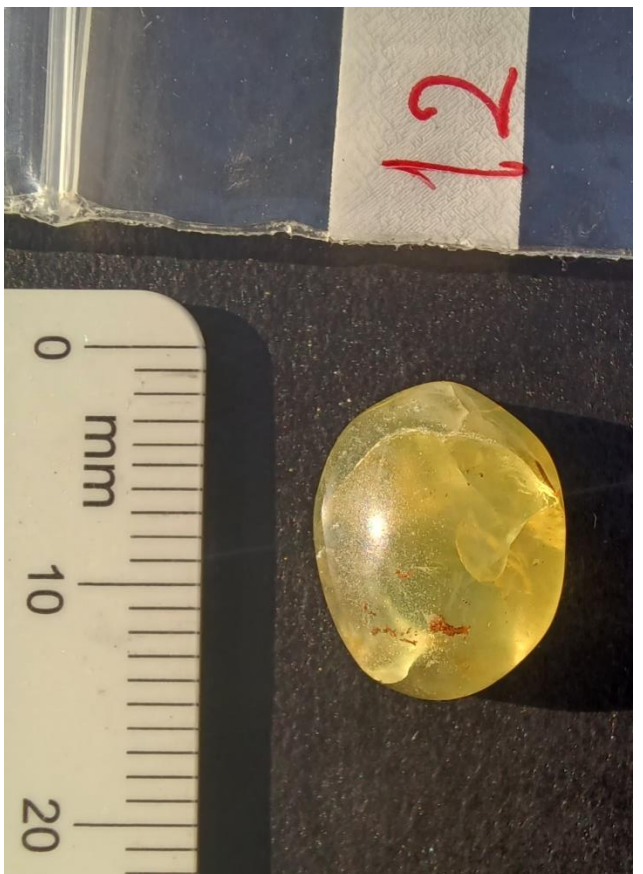
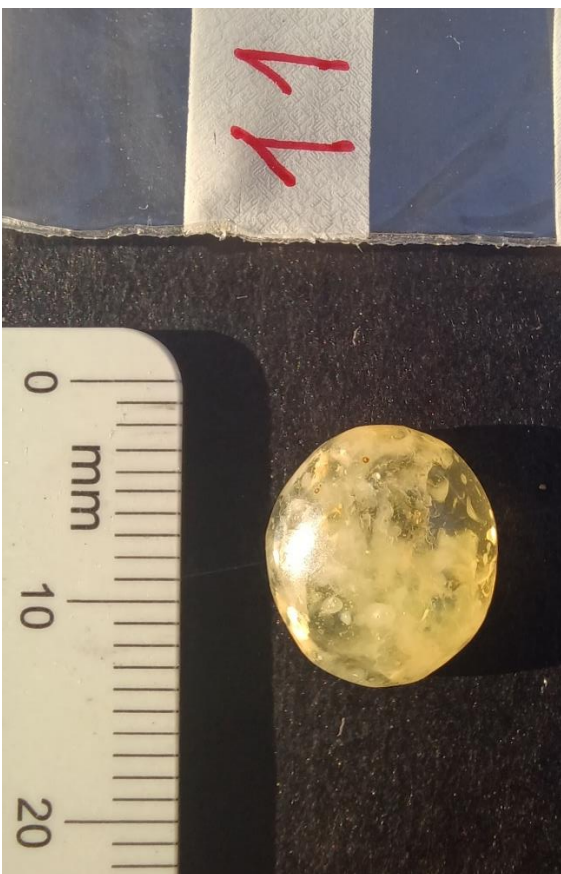
Amostra	Classificação gemológica completa	Descrição
12/5407	Material Sintético	Branca, translúcida, lapidada, com um brilho azulado
13/5380	Quartzo	Branca, translúcida, lapidada, levemente fraturada
15/5406	Quartzo	Amarela-escura, opaca, lapidada
28/5388	Quartzo	Branca, transparente, lapidada
29/5398	Quartzo	Branca, transparente, lapidada
36/5402	Quartzo	Branca, transparente, lapidada
10/5393-00	Quartzo	Branca, translúcida, lapidada, brilho levemente azulado
1/5381	Quartzo com inclusões micáceas	Marrom-clara-avermelhada, translúcida, cabochão, com muitas inclusões micáceas lamelares douradas-avermelhadas

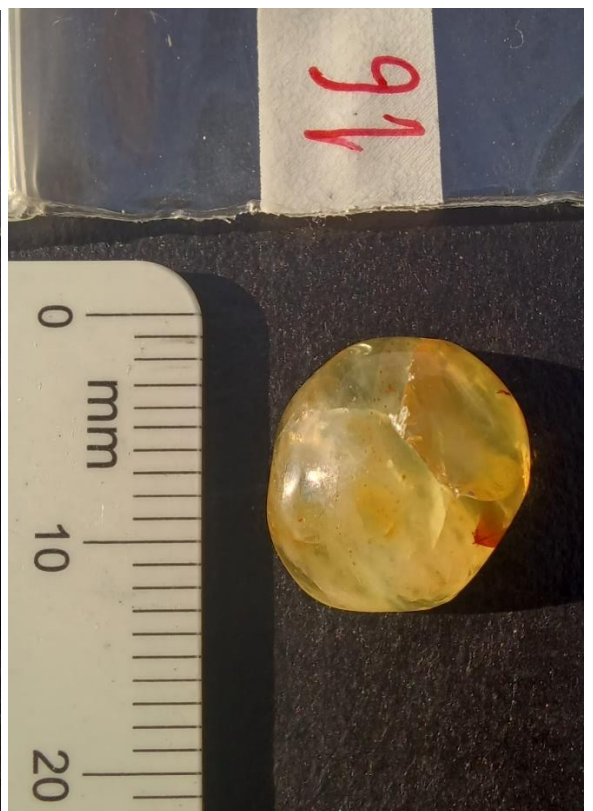
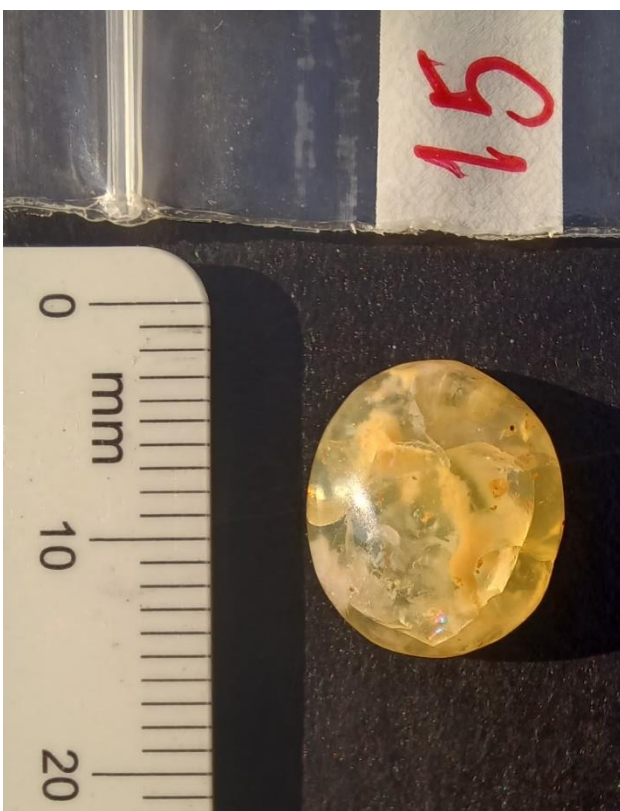
Anexo 2

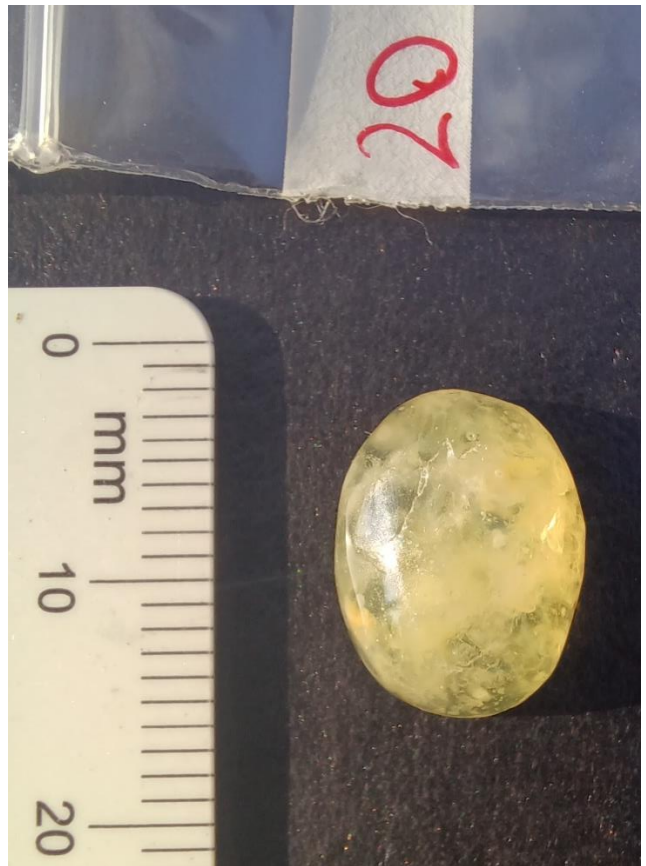
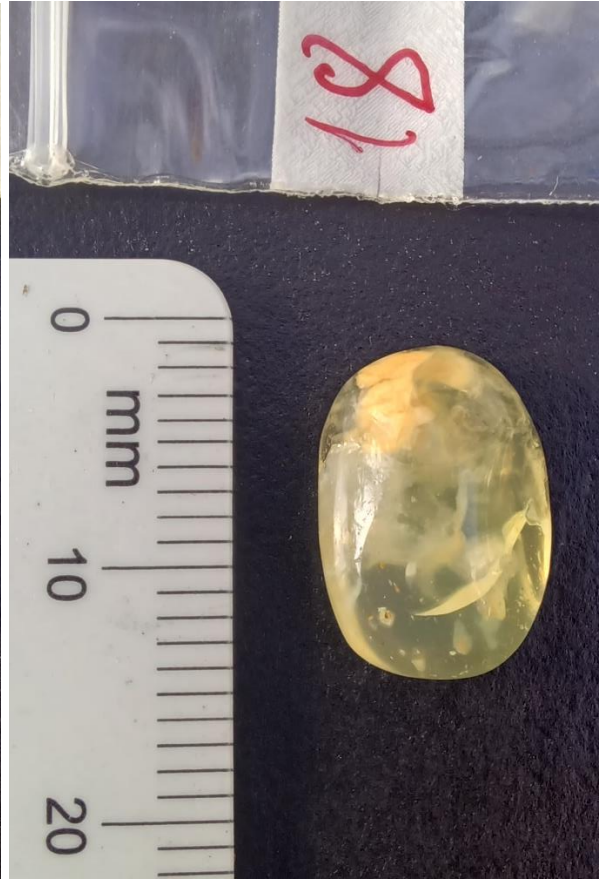
Fotos das amostras analisadas no trabalho.

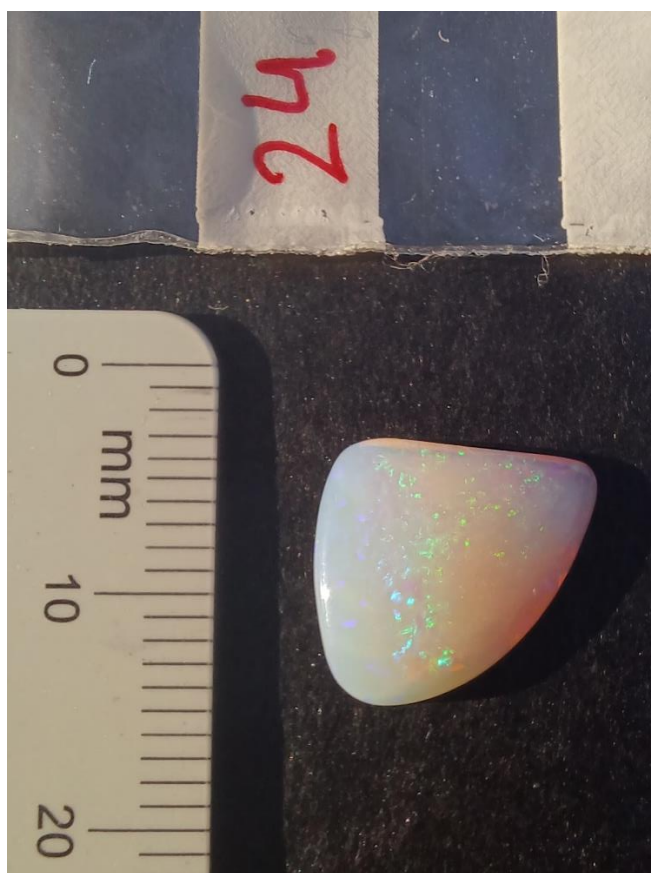
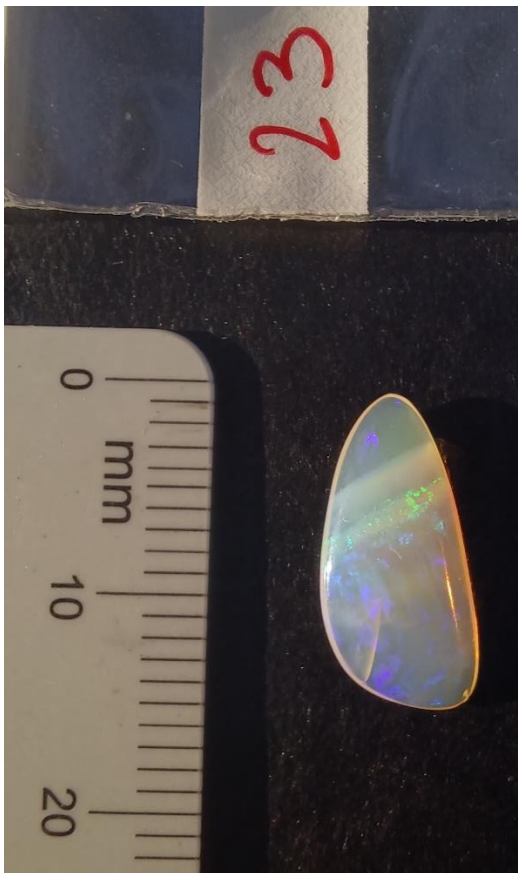
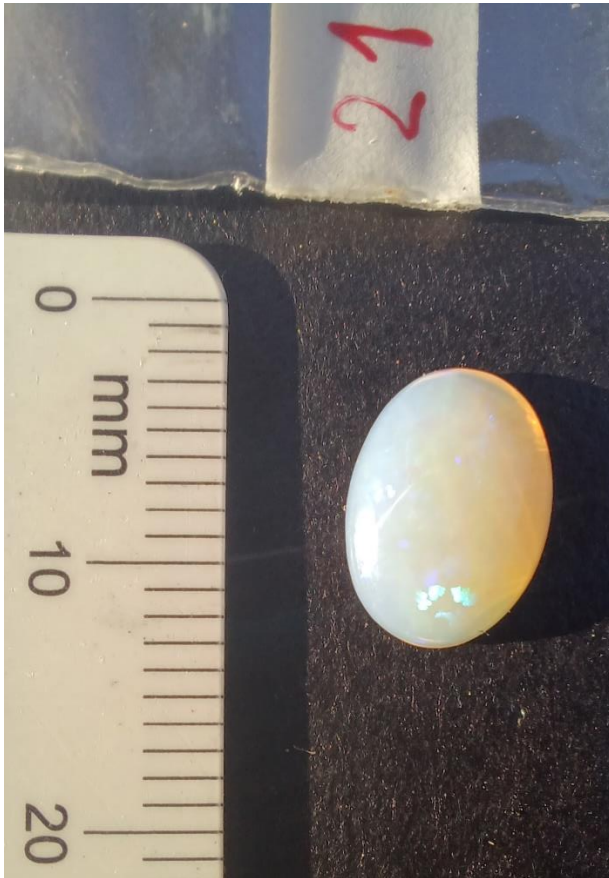


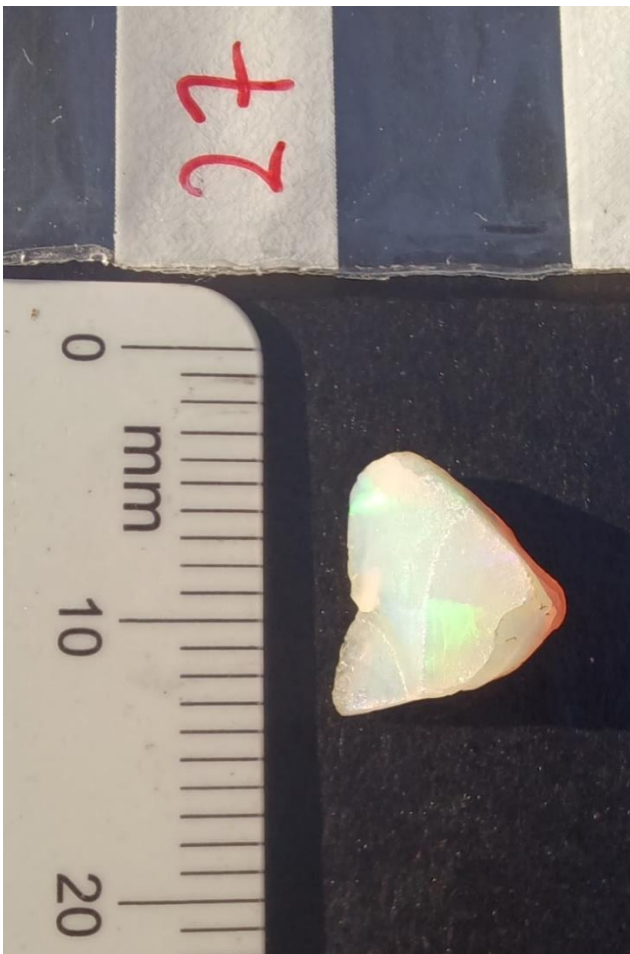
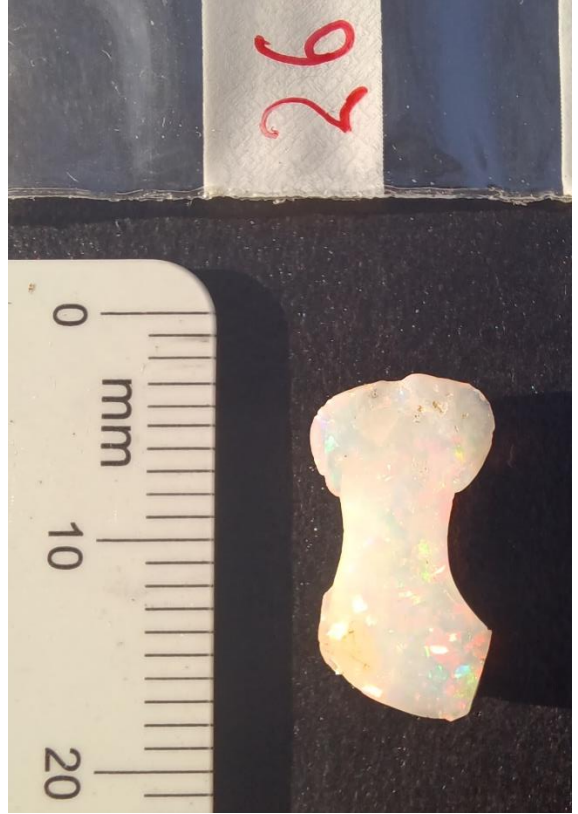
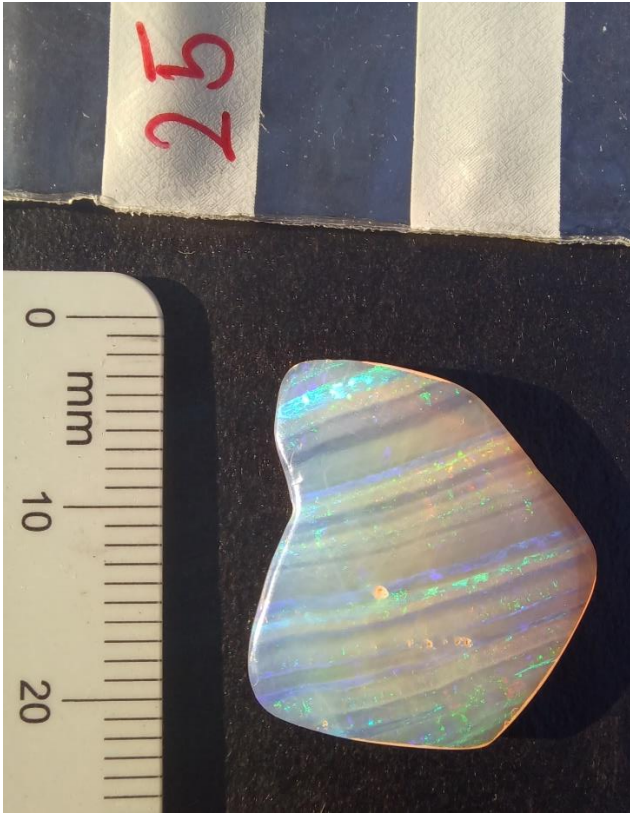


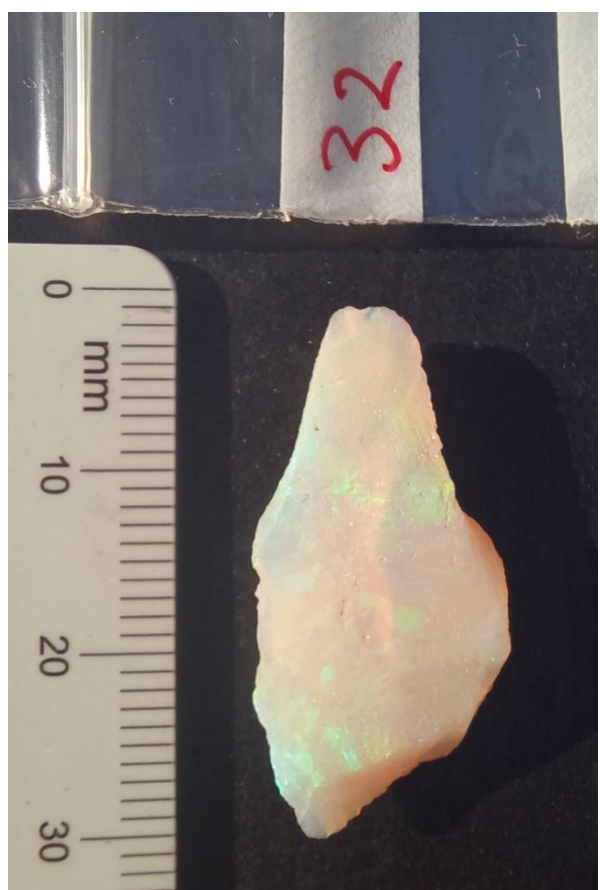
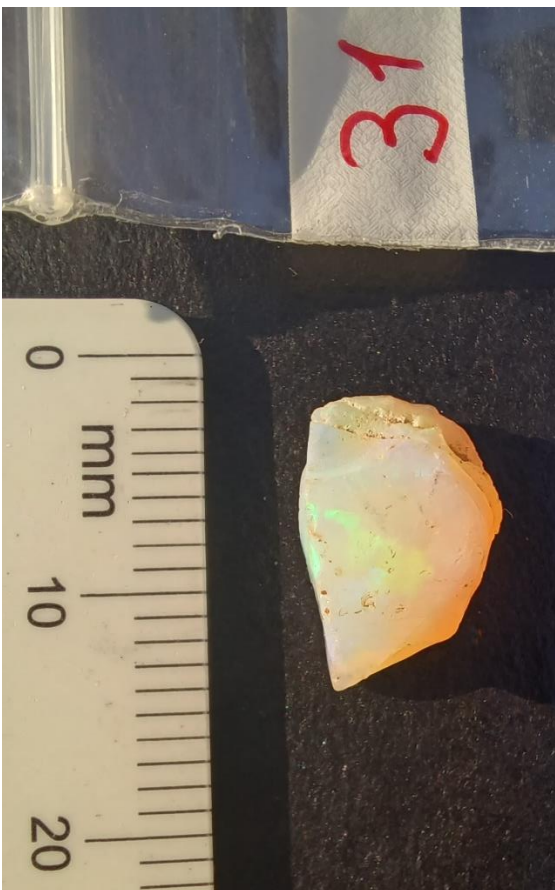
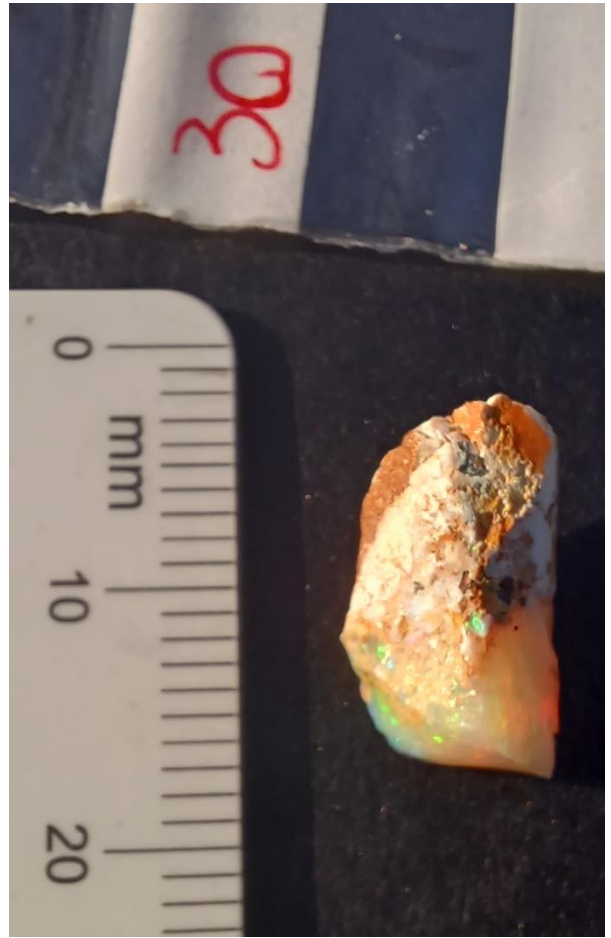
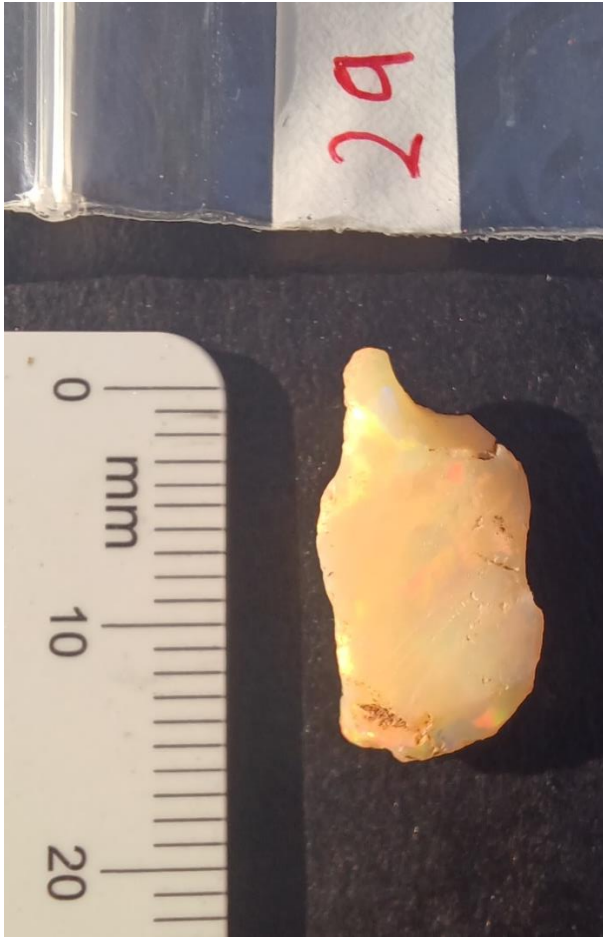


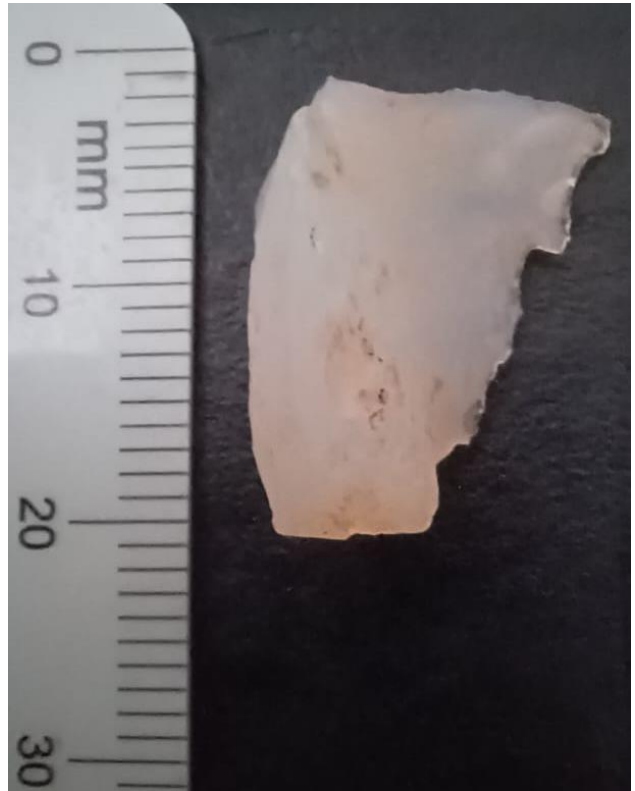




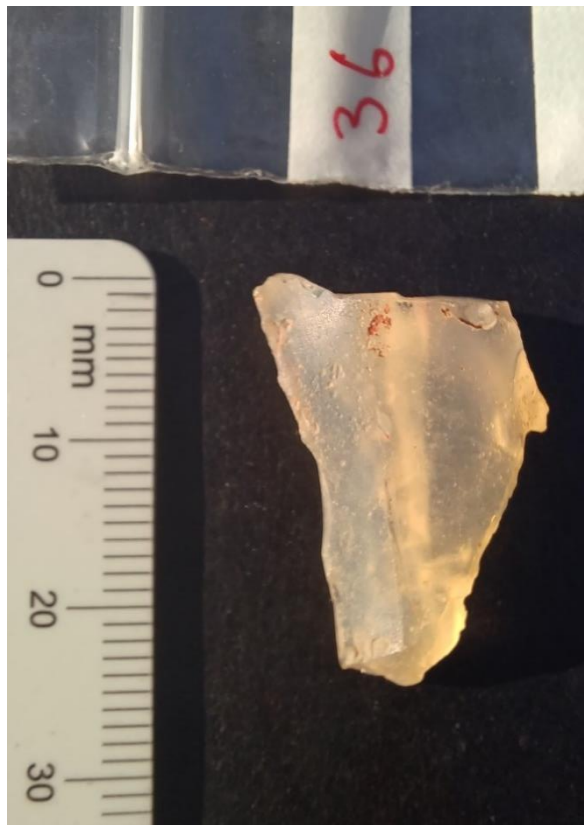


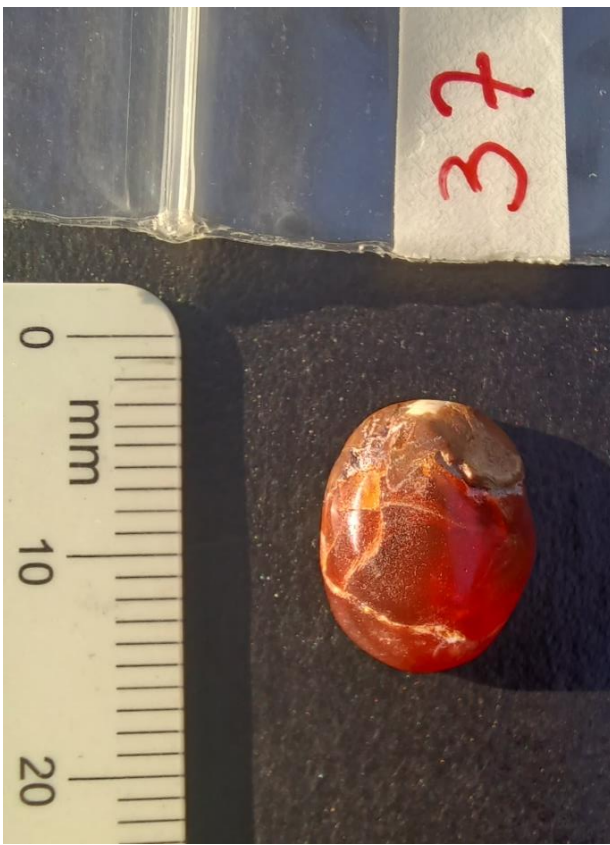


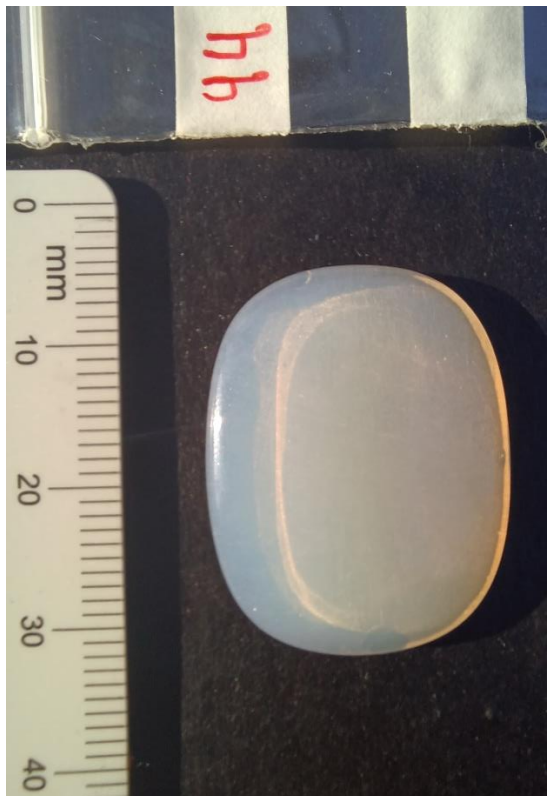
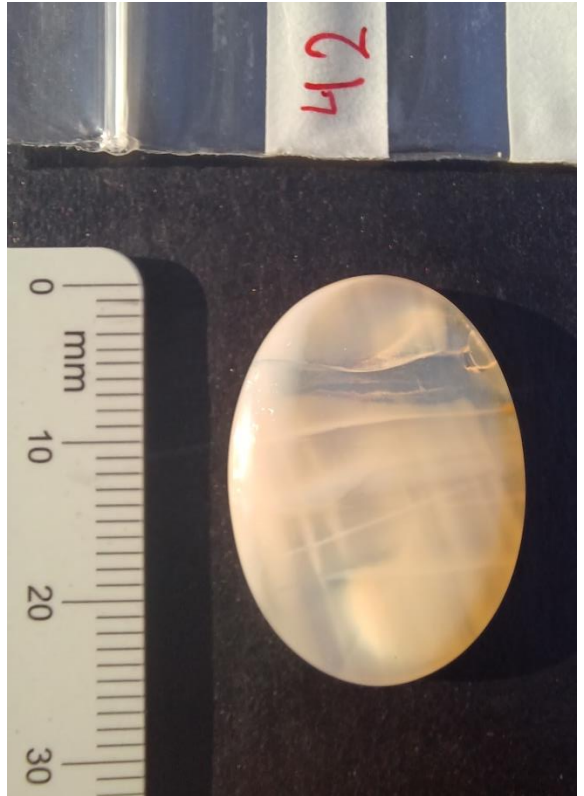


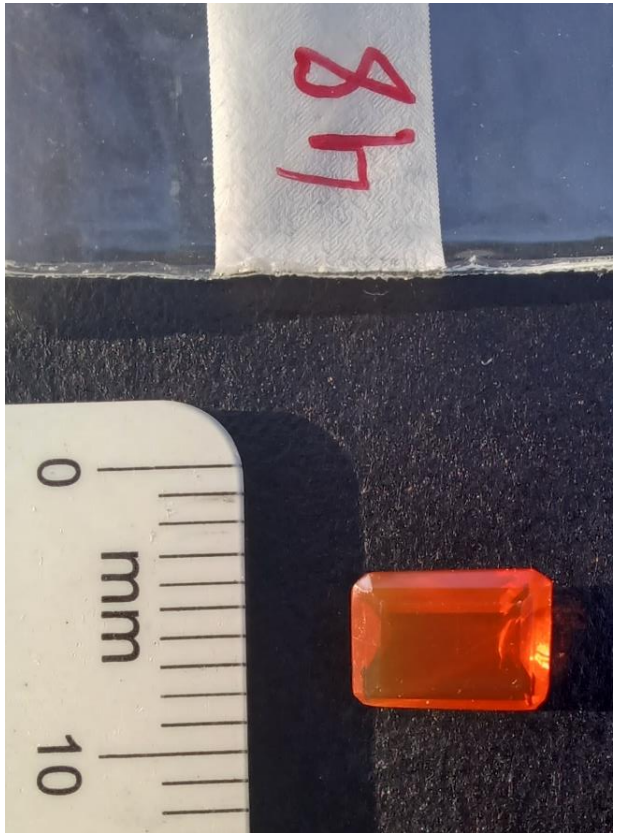
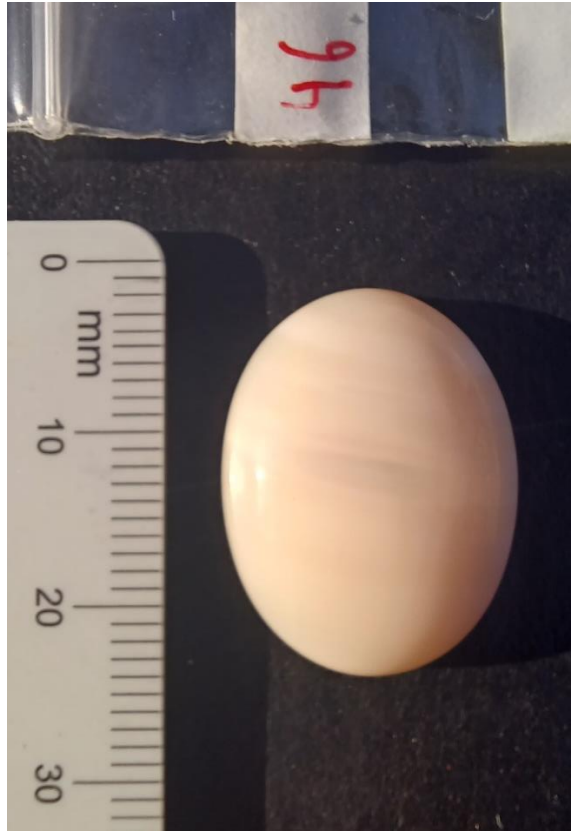


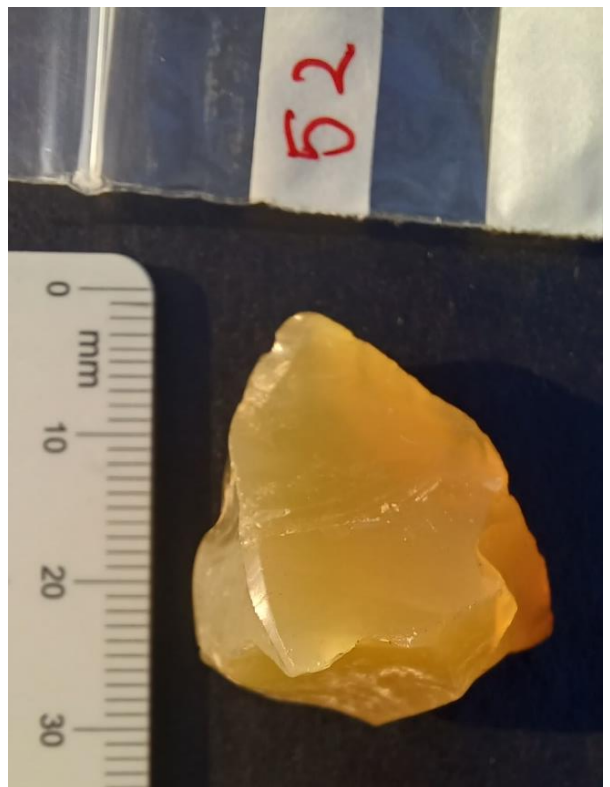
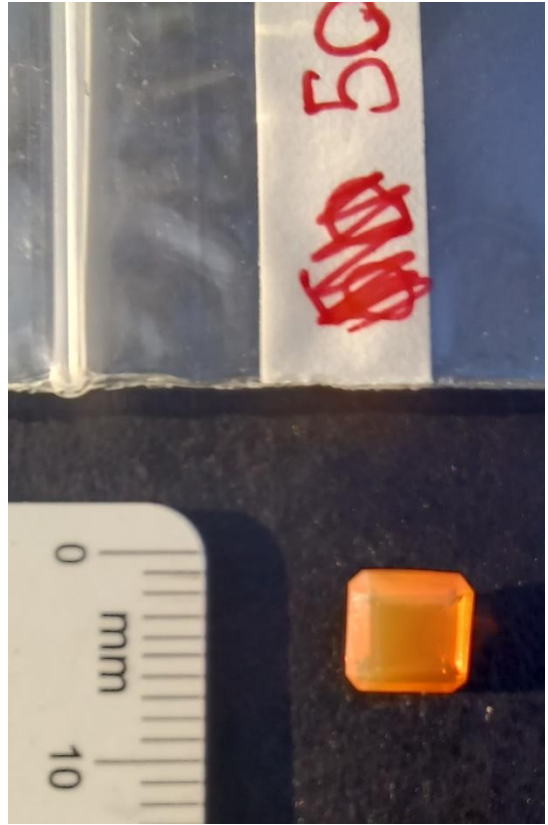
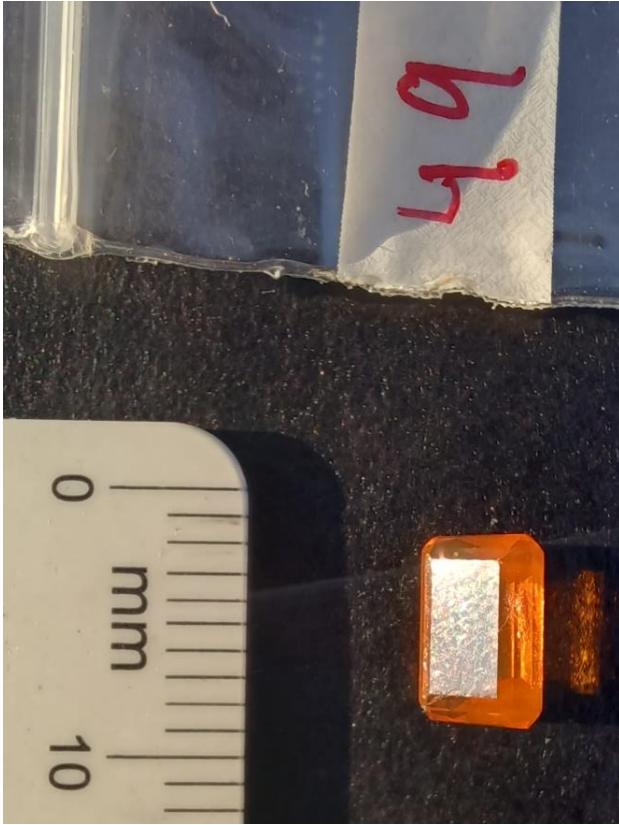
Amostra 34

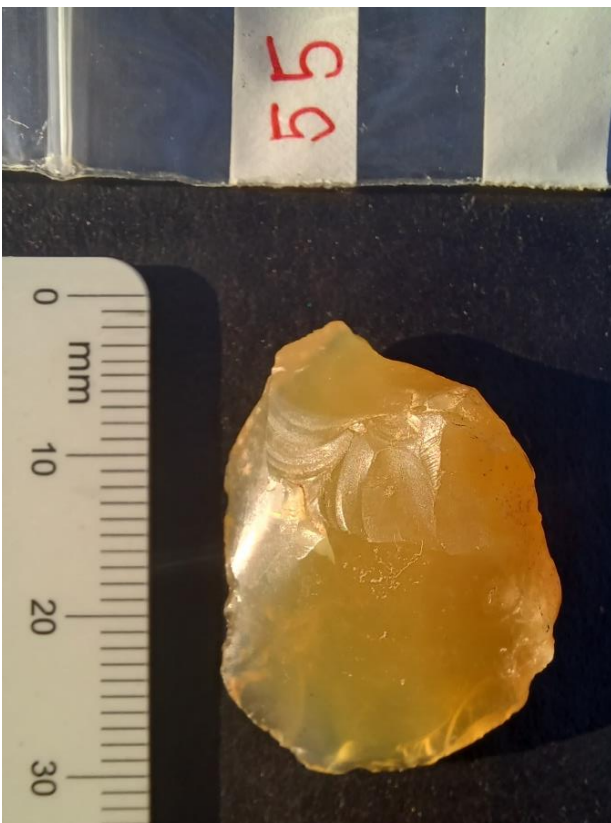
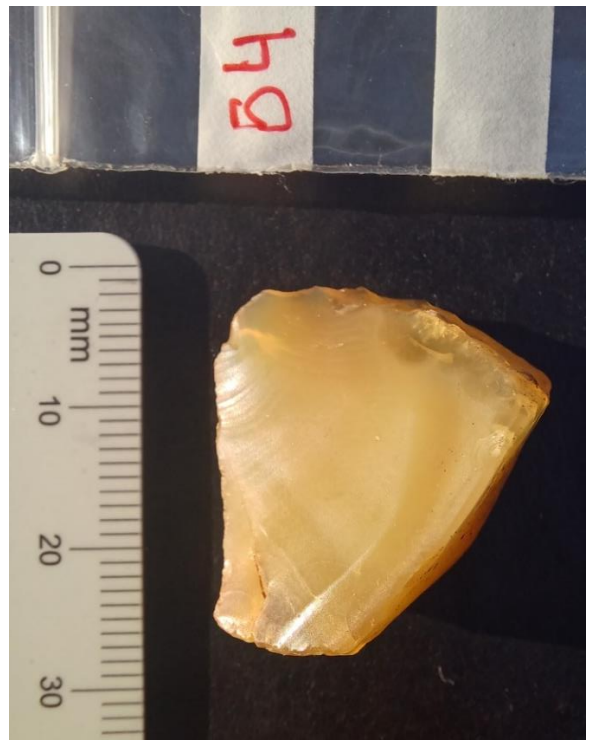


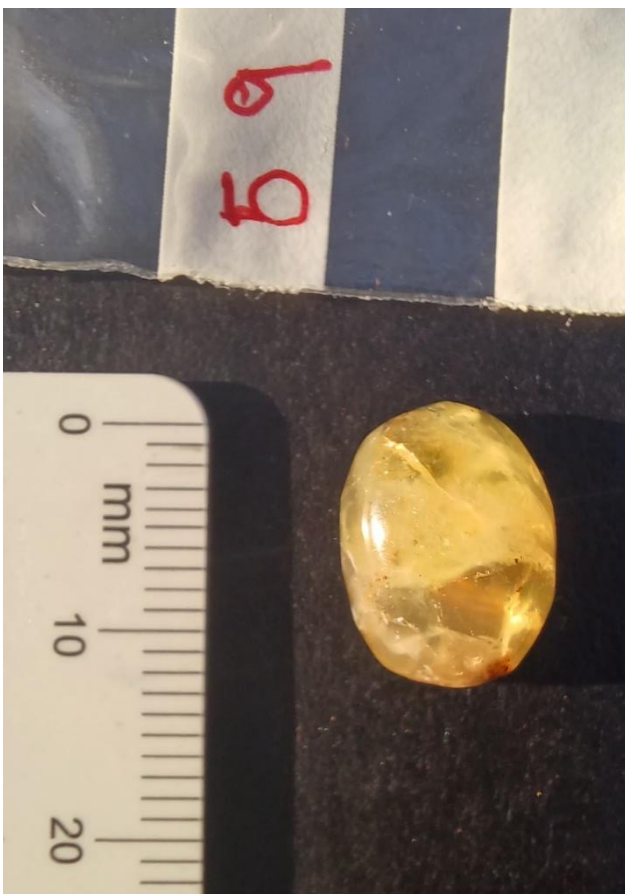
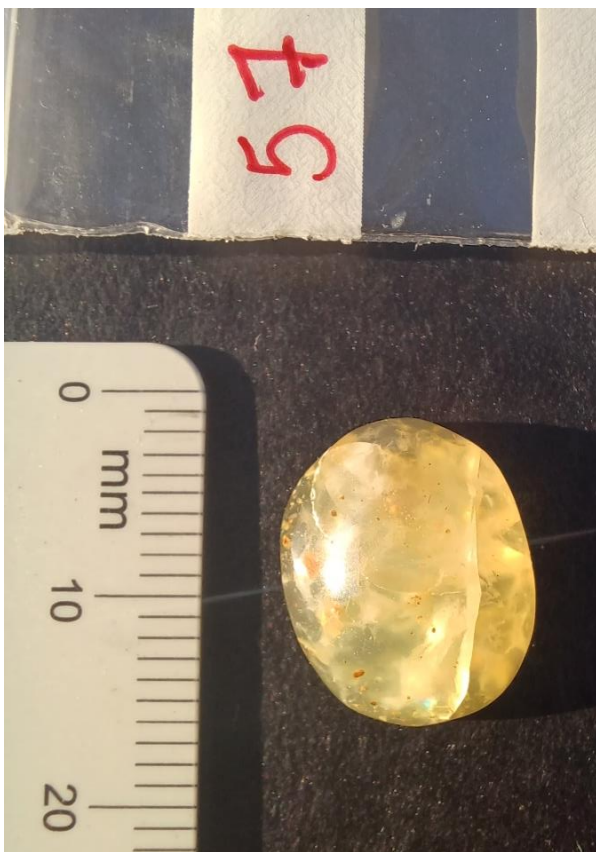










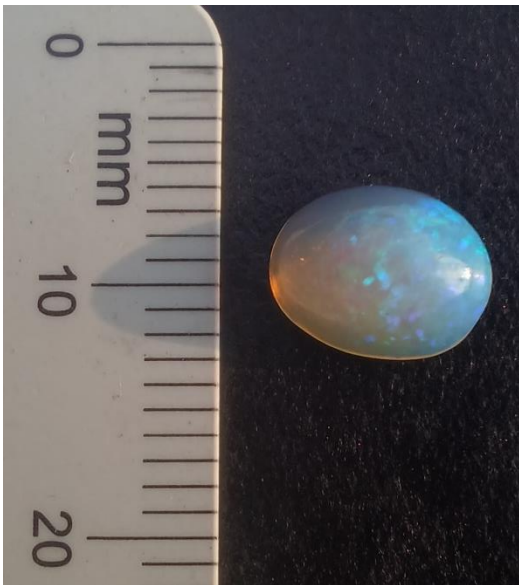




Amostra 1-5381



Amostra 1-5400



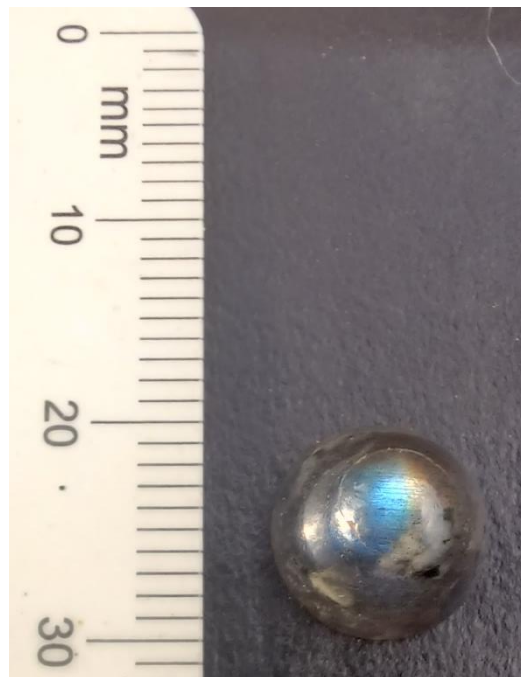
Amostra 1-5404



Amostra 3-5403



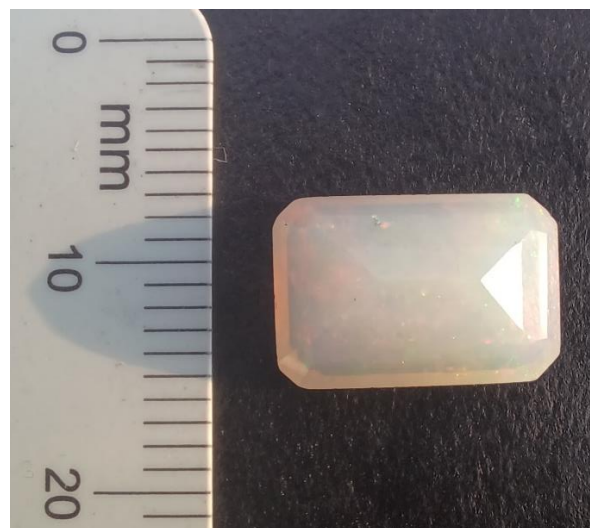
Amostra 6-5386-8795



Amostra 7-5382-40



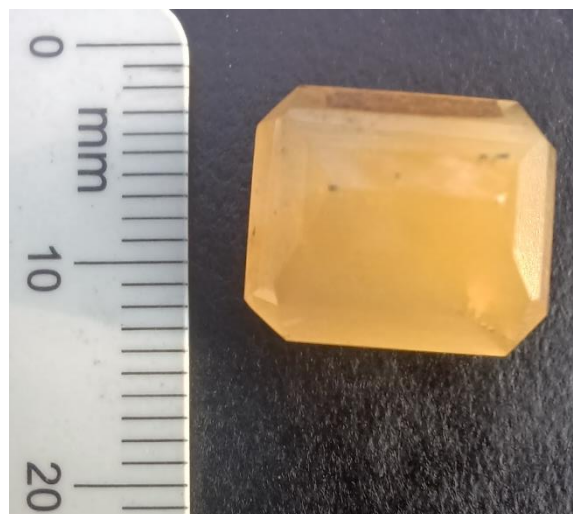
Amostra 12-5407



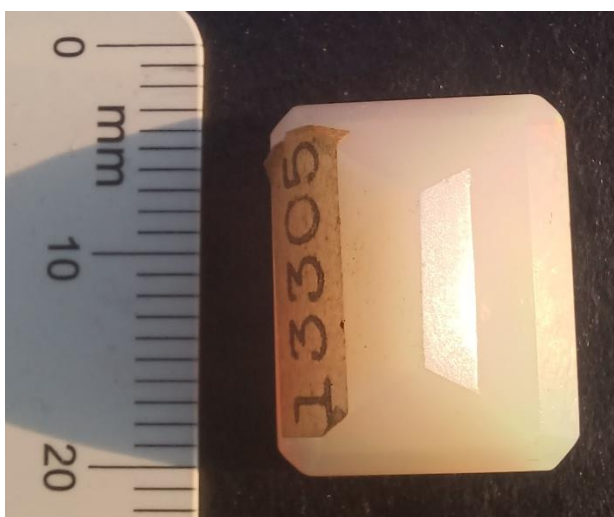
Amostra 14-5401



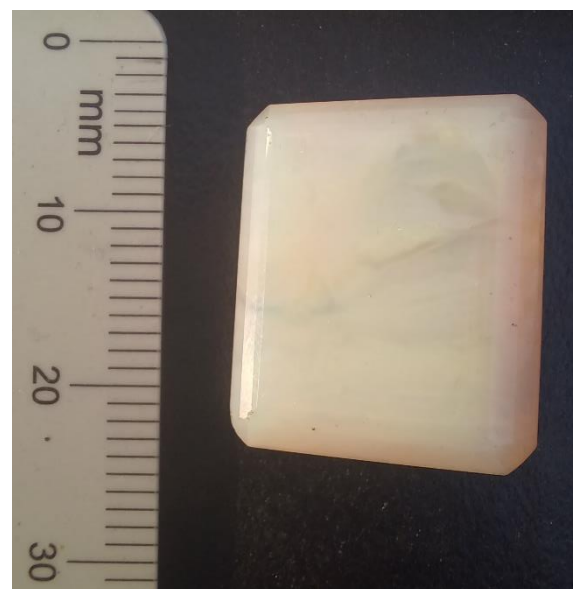
Amostra 15-5392-13154



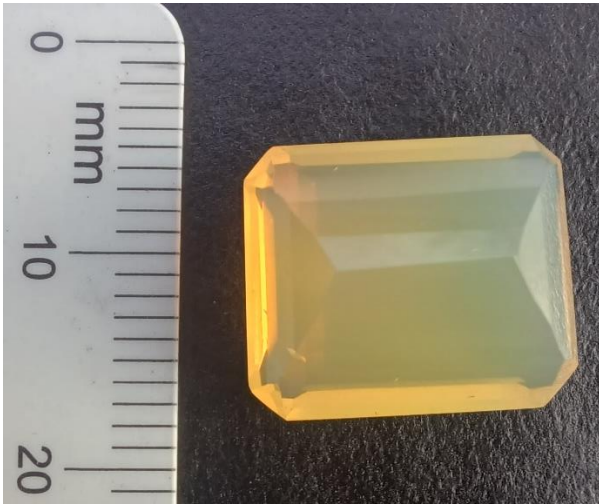
Amostra 15-5406



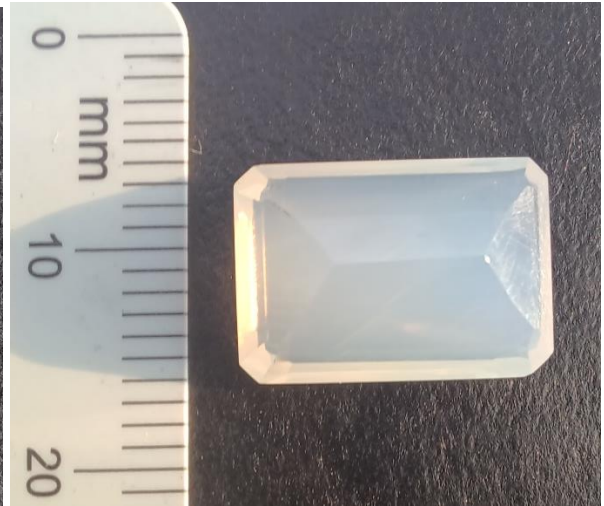
Amostra 18-5390-13305



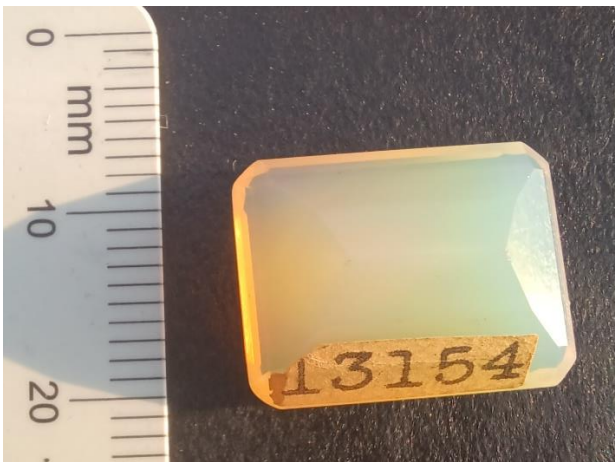
Amostra 19-5391-13305



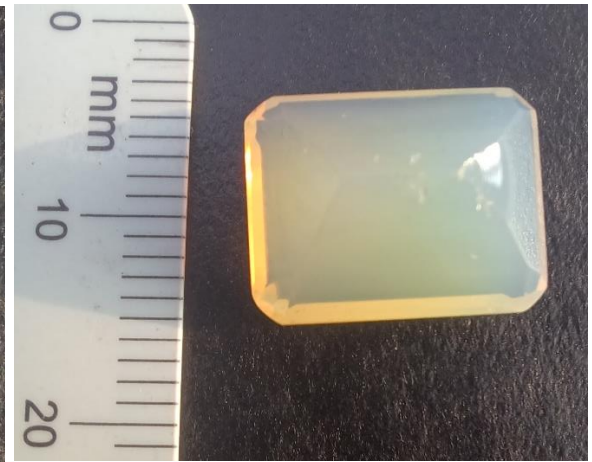
Amostra 25-5405



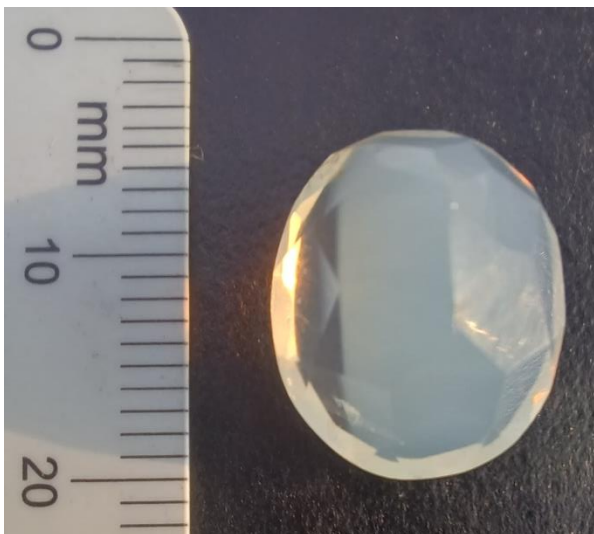
Amostra 29-5398



Amostra 31-5396-13154



Amostra 32-5394



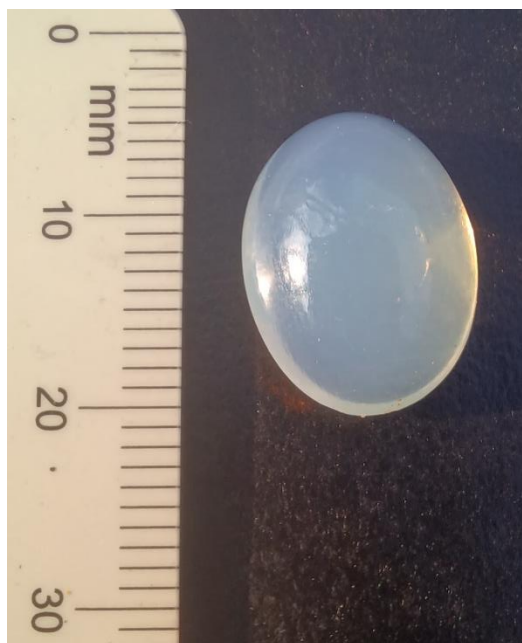
Amostra 36-5402



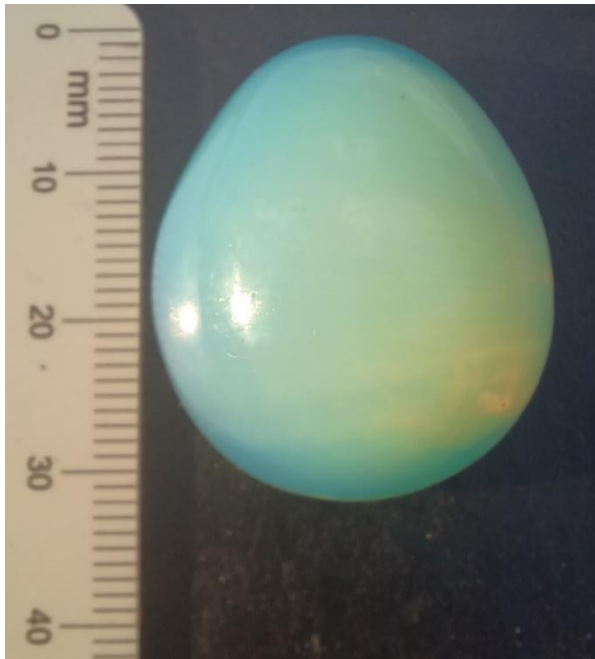
Amostra Efeitos ópticos nº28-136



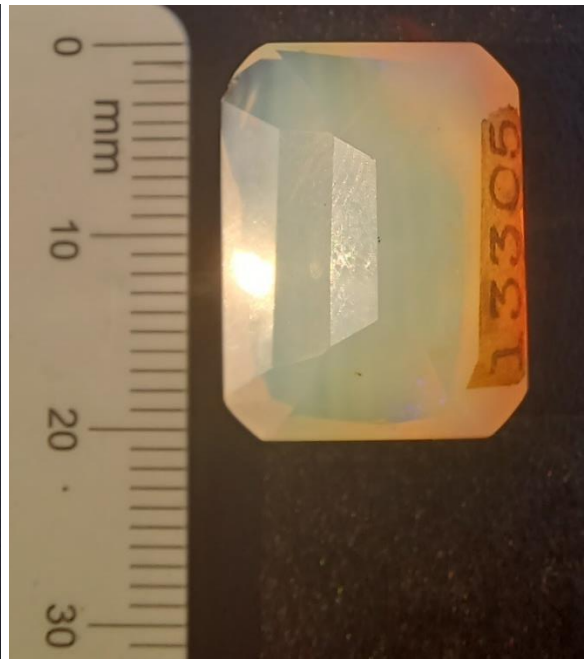
Amostra VIT Efeitos ópticos nº30-137



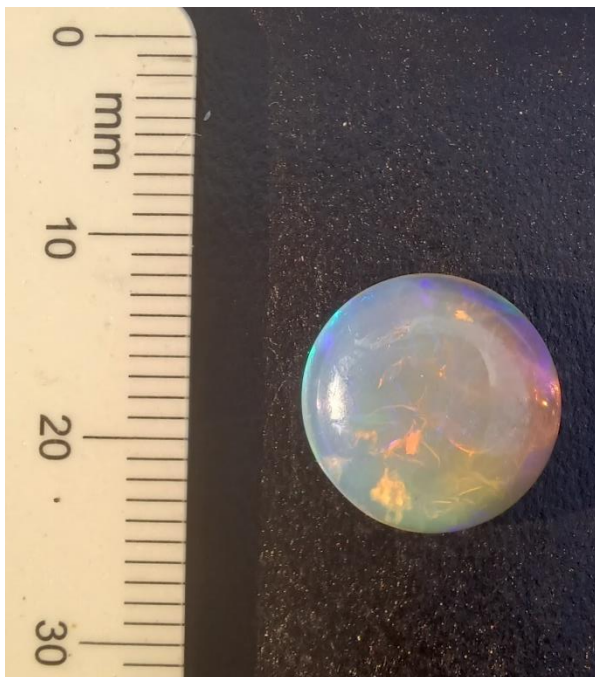
Amostra VIT81-A23



Amostra VIT82-A20-212



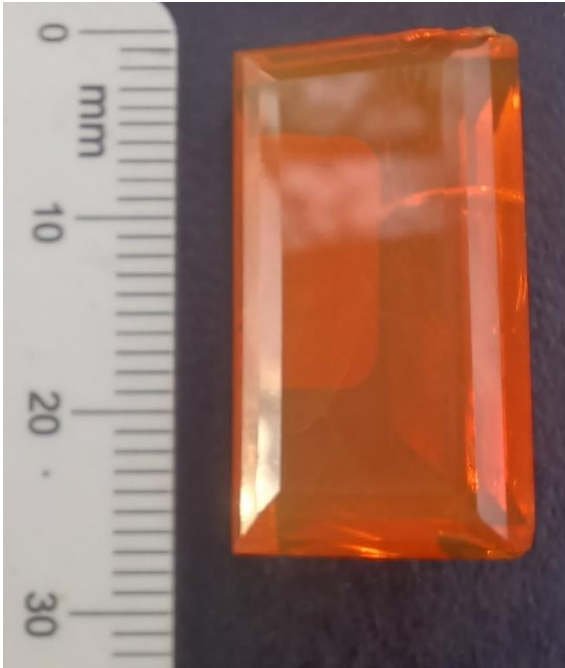
Amostra VIT82-A22-13305



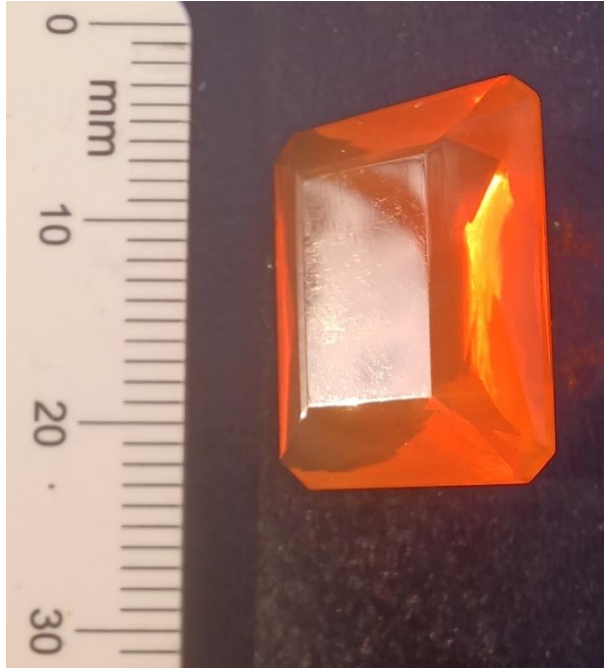
Amostra VIT82-A25



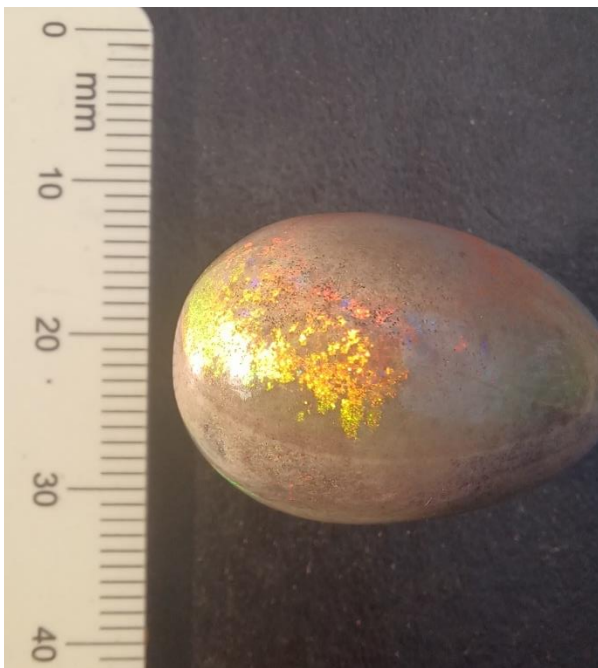
Amostra VIT82-A36-36



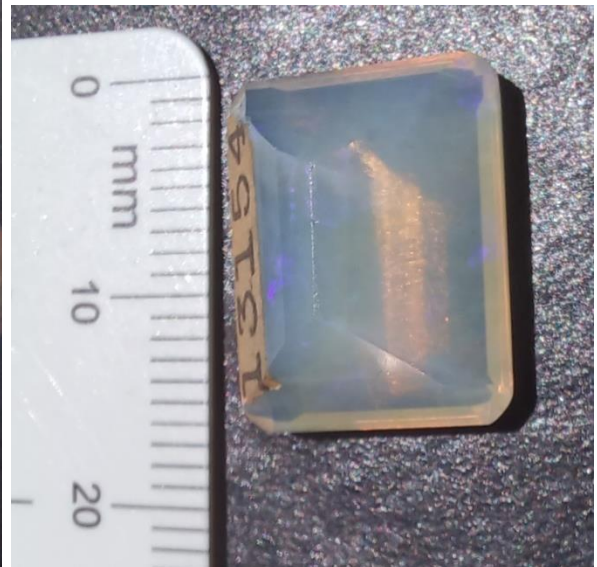
Amostra VIT82-A39-39



Amostra VIT82-A40



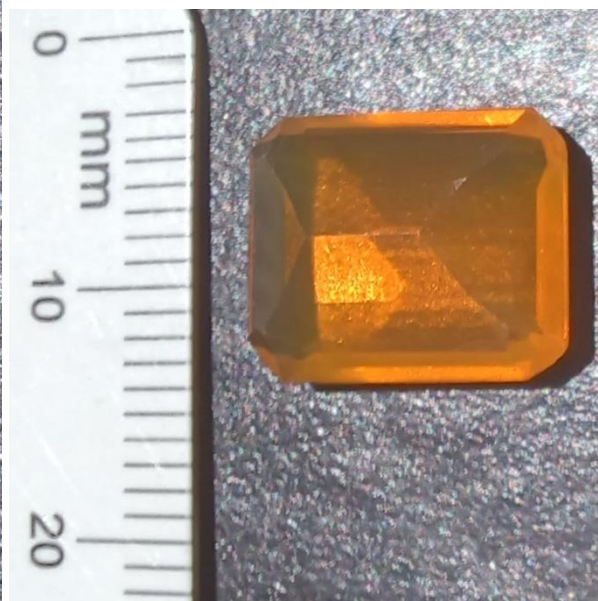
Amostra Vitrine Efeitos ópticos, 137b



Amostra 2/5389



Amostra 3/6694



Amostra 4/5397



Amostra 4/5409



Amostra 6/5385



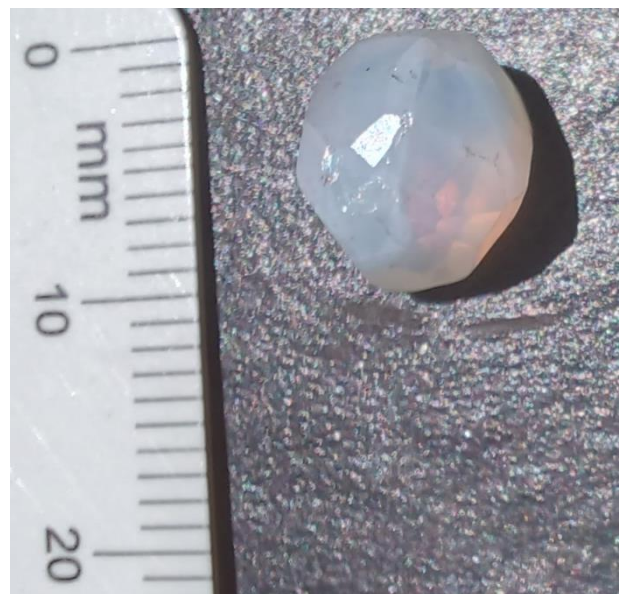
Amostra 7/6665



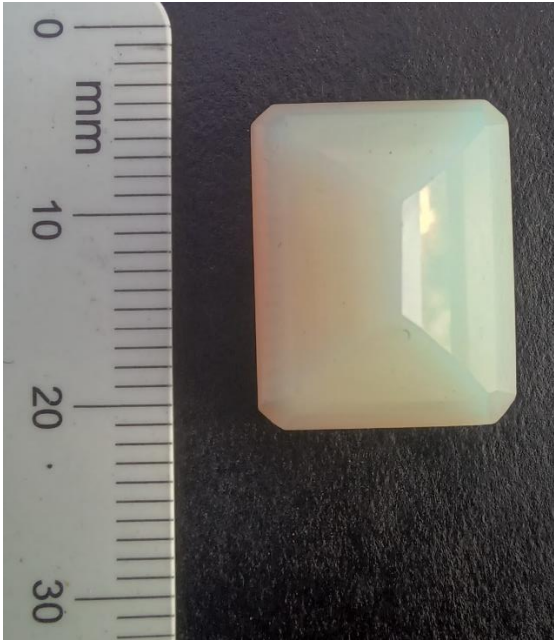
Amostra 8/5387



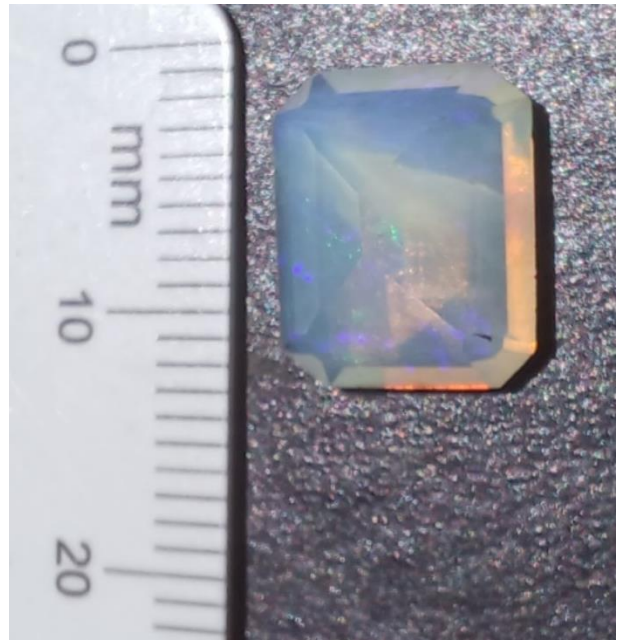
Amostra 10/5393



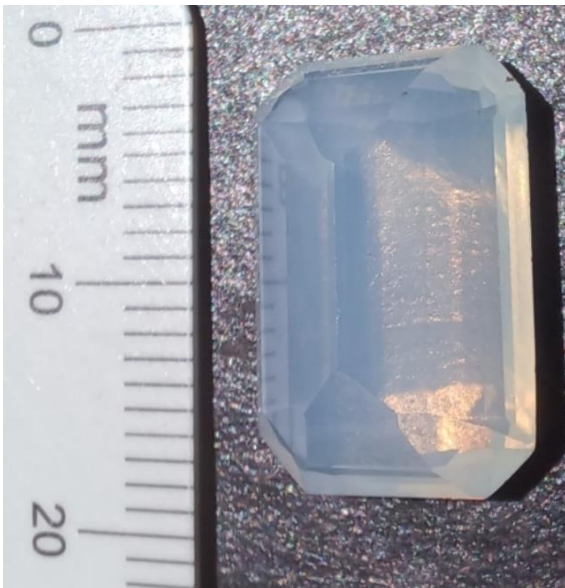
Amostra 13/5380



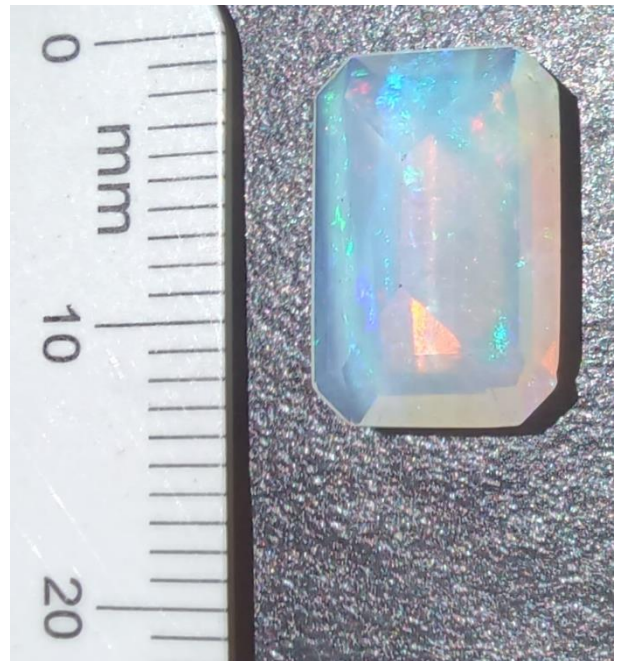
Amostra 17/5395



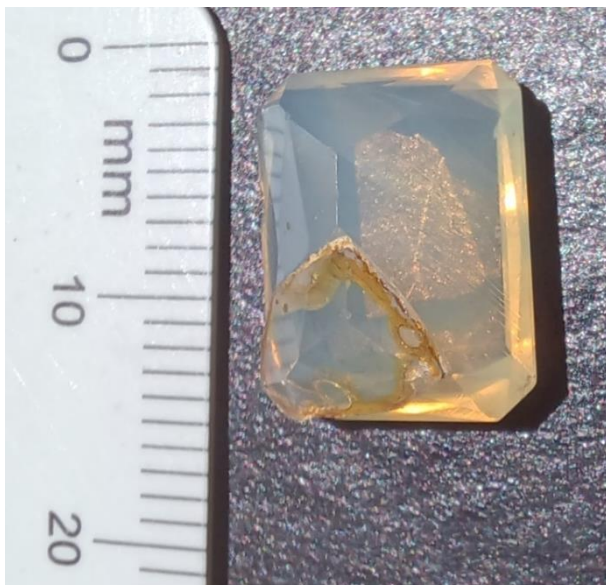
Amostra 27/5399



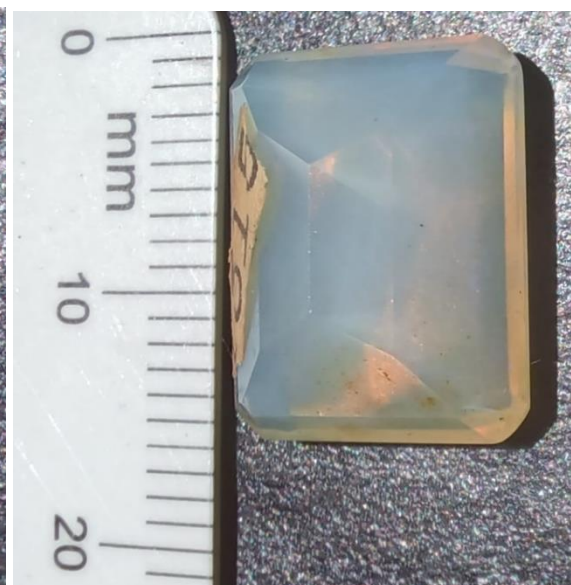
Amostra 28/5388



Amostra 30/____



Amostra 33/5408



Amostra 34/5383