

OCORRÊNCIAS DE TURMALINAS EM QUIXERAMOBIM, CEARÁ

TOURMALINE OCCURRENCES IN QUIXERAMOBIM, CEARÁ

Isaac GOMES DE OLIVEIRA¹, Laryssa de Sousa CARNEIRO², Jéssica de Souza CARDOSO¹, Narjara Maria Araujo CARNEIRO¹, Carlos William de Araújo PASCHOAL³,
Tereza Falcão de Oliveira NERI¹

¹Universidade Federal do Ceará – Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Avenida Humberto Monte, s/n, Fortaleza, CE, Brasil. E-mails: isaacgomes_1996@hotmail.com; jessica95@gmail.com; narjaramaria@gmail.com; tereza.neri@ufc.br

²UNICAMP - Instituto de Geociências, Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Rua Carlos Gomes, 250, Campinas, SP, Brasil. E-mail: laryssa.s.carneiro@gmail.com

³Universidade Federal do Ceará - Centro de Ciências, Departamento de Física, Avenida Av. Humberto Monte, s/n, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: paschoal.william@fisica.ufc.br

Introdução
Localização da área
Contexto geológico regional
Domínio Ceará Central
Pegmatitos da região de Quixeramobim
Materiais, métodos e técnicas
Refratômetro
Dicroscópio
Lâmpada de luz ultravioleta
Espectroscópio
Balança hidrostática
Microscópio gemológico
Discussões, interpretações e resultados
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO - A turmalina pertence a um grupo de minerais que possuem a mesma estrutura cristalina, mas variam em composição química, cor e outras propriedades. Nas turmalinas, considera-se a fórmula química geral $XY_3Z_6B_3Si_6(O,OH)_{30}(OH,F)$. Os íons na posição Y (Boro) estão rodeados por íons de oxigênio e dispostos octaédricamente; os três octaedros envolvem o eixo ternário e cada tetraedro compartilha uma aresta com cada um dos outros dois tetraedros vizinhos equivalentes. Jazidas deste grupo mineral são encontradas especialmente em pegmatitos e depósitos aluvionares. Este trabalho visa à caracterização gemológica de exemplares de difícil aquisição de turmalina oriundos do município de Quixeramobim (CE) que possuem potencial para serem utilizados como gemas. Turmalinas nas cores vermelha e bicolor (azul e verde) provenientes do Ceará são pouco utilizadas no comércio cearense por existirem poucos exemplares gemológicos e pouco conhecidas no meio acadêmico. Para a caracterização das turmalinas de Quixeramobim foram utilizados: refratômetro, balança hidrostática, dicroscópio, espectroscópio, lâmpada ultravioleta (UV) e microscópio gemológico. Os exemplares vermelhos e bicolores possuem majoritariamente as mesmas características gemológicas das turmalinas de outras regiões, porém com uma variação no pleocroísmo e espectro de absorção de alguns exemplares. Os minerais possuem bom grau de cor de acordo com as normas do “Boletim Referencial de Preços de Diamantes e Gemas de Cor”, e inclusões fluidas perceptíveis com auxílio de equipamento óptico. Logo, por meio dos instrumentos gemológicos listados e análises acuradas foi possível realizar uma excelente caracterização e compilação dos dados dos minerais desta região, além de comprovar que os exemplares possuem boas a excelentes características para serem utilizados como gemas.

Palavras-chave: Turmalina vermelha. Quixeramobim. Caracterização gemológica.

ABSTRACT - Tourmaline is a group of minerals that have the same crystalline structure, but vary in chemical composition, color and other properties. In tourmalines, the general chemical formula $XY_3Z_6B_3Si_6(O, OH)_{30}(OH, F)$ is used. The ions in the Y position (Boron) are surrounded by oxygen ions and octahedrally arranged; the three octahedrons surround the ternary axis and each tetrahedron shares an edge with each of the other two equivalent neighboring tetrahedrons. Deposits of this mineral group are found especially in pegmatites and alluvial deposits. This work aims at the gemological characterization of specimens that are difficult to acquire tourmaline from the municipality of Quixeramobim (CE) that have the potential to be used as gems. Tourmaline in red and bicolor colors (blue and green) from Ceará are seldom used in Ceará commerce because there are few gemological specimens and little known in academia. For the characterization of Quixeramobim tourmalines, a refractometer, hydrostatic balance, dichroscope, spectroscope, ultraviolet lamp (UV) and gemological microscope were used. The red and bicolor specimens mostly have the same gemological characteristics as tourmalines from other regions, but with a variation in pleochroism and absorption spectrum of some specimens. The minerals have a good degree of color in accordance with the rules of the “Price List for Diamonds and Color Gems”, and noticeable fluid inclusions with the aid of optical equipment. Therefore, through the listed gemological instruments and accurate analyzes, it was possible to perform an excellent characterization and compilation of mineral data from this region, in addition to proving that the specimens have good to excellent characteristics to be used as gems.

Keywords: Red tourmaline. Quixeramobim. Gemological characterization.

INTRODUÇÃO

As nações em que a exploração de gemas foi ou ainda continua forte, realizam uma caracterização gemológica de todos os seus materiais comercializados, desde os que são abundantes até os mais raros. É usual que estes países publiquem e organizem estes dados gemológicos de acordo com as regiões geográficas da nação.

Estes estudos são extremamente necessários, pois características como: índice de refração, birrefringência, pleocroísmo, fluorescência e densidade relativa podem variar bastante; como é o caso dos rubis, no qual o dicroísmo e a fluorescência variam de forte até fraco e em algumas vezes até ausente, causando erros na classificação se as fontes de referência utilizadas forem desatualizadas.

O motivo desta organização e divulgação dos dados ocorre para ajudar e facilitar o trabalho dos profissionais (gemólogos, pesquisadores e outros) que lidam com gemas e imitações destas, principalmente para a sua identificação, diminuindo exponencialmente a chance de um erro no reconhecimento do material.

Desse modo, a caracterização gemológica é de extrema importância, uma vez que características como índice de refração, birrefringência, pleocroísmos, fluorescência e densidade relativa podem variar bastante dentro de um mesmo grupo mineral, dependendo de sua proveniência. Essa variação é muito comum no grupo do coríndon, por exemplo, em que o dicroísmo e a fluorescência variam de forte até fraco, estando por vezes ausente.

A ocorrência dessas variações em posições geográficas específicas pode ser usada como traçador de proveniência, situação comum para o caso do rubi, que possui peso específico médio que varia entre 3.90 e 4.00 g/cm³, enquanto os rubis provenientes do Sri Lanka detêm uma densidade de 3.97 g/cm³ (Pehrson, 2017). O termo imitações é usado para designar produtos que imitam as gemas naturais e que são usadas pelo homem no intuito de reproduzir efeito óptico, cor e aparência das gemas naturais, ou por vezes sintéticas (DNPM/IBGM, 2009); uma imitação deve ser descrita pelo nome correto do material do qual é composto, ou pelo nome do material natural que imita, imediatamente precedido pela expressão “imitação de” (ABNT/NBR 10630, 2016).

As turmalinas de baixa ocorrência em Quixeramobim (CE) não possuem as suas propriedades

gemológicas tabeladas; estes minerais podem ser utilizados como “substitutos” de outros minerais de maior valor econômico como berilo vermelho, rubi e piedmonita, por não possuírem suas propriedades ópticas bem definidas (Oliveira et al., 2019)

O grupo da turmalina tem um grande valor e importância comercial, tanto para joalheria quanto para a indústria. Nenhuma gema possui uma gama de cores tão rica como a turmalina. Apesar de na antiguidade ter sido reconhecida inicialmente na região mediterrânea, foram os holandeses que a introduziram na Europa ao trazê-la do Ceilão (atual Sri Lanka), em 1703 (Schumann, 2006).

A composição química deste mineral pode ser descrita como um borossilicato de alumínio contendo quantidades variáveis de magnésio, ferro, cálcio, e metais alcalinos (Anderson, 1984); esta composição tão oscilante é a responsável por conferir uma grande diversidade em suas características ópticas. As complexas variações composicionais e estruturais cristalinas, deste mineral são responsáveis pela intensa variedade de cores e outras características ópticas da turmalina (Hawthorne & Dirlam, 2011). Como toda turmalina tem dureza entre 7 e 7,5 na escala de Mohs, ela se torna um exemplar muito adequado para produção de joias. Contudo, turmalinas com qualidade gemológica não são relativamente raras, com exceção da turmalina Paraíba (Phichaikamjornwut et al. 2019).

Uma grande variedade destas gemas apresenta um pleocroísmo notável, que varia em intensidade, no entanto, a turmalina é marcada por um pleocroísmo particularmente forte, resultante geralmente de seu conteúdo em ferro. Algumas características físicas e ópticas da turmalina, tais como o índice de refração, a birrefringência e a densidade aumentam com o incremento do teor em Fe²⁺, Fe³⁺, Mn e Ti (Deer, 2010).

A região do município de Quixeramobim (Ceará) comumente apresenta para o comércio turmalinas nas cores azuis, verde, rosa e preta; porém raramente estes minerais da região podem exibir e serem comercializados na cor vermelha e exemplares bicolors bem definidos (verde e azul, verde e rosa); fazendo com que estas amostras de cores raras (vermelhas e bicolors) para o município (região do Condado) sejam desconhecidas do grande público e de até mesmo pesquisadores.

A caracterização gemológica é de suma importância para a atualização dos dados ópticos das gemas, o que permite a identificação e diferenciação entre um material e eventuais imitações, principalmente quando o material é cortado, desbastado e polido, não sendo possível identificar suas propriedades externas. A caracterização gemológica também é usada em estudos de proveniência mineral e casos de investigação e perícia criminal. Esta análise utiliza especialmente técnicas não-invasivas e não-destrutivas que são capazes de fornecer informações confiáveis, rápidas e baratas quanto à classificação estrutural e mineralógica de gemas (tipologia, defeitos etc.), bem como a procedência (Mazzoleni et al., 2016). São extremamente usuais as várias tentativas de fraude e golpes relacionados a gemas, sendo

comuns o superfaturamento de gemas e a atividade comercial que envolva materiais sem nenhum valor econômico.

Localização da área

A área do município de Quixeramobim compreende aproximadamente 3275 km², representando 2,44% da área do estado do Ceará. Está inserida na porção do Ceará Central; na mesorregião do Sertão Cearense. Estão situados na região dez distritos: Lacerda, Manituba, Passagem, Uruquê, Panabibu, Belém, Nenelândia, Damião Carneiro, Encantado e São Miguel. Quixeramobim limita-se com os municípios de Madalena (Norte); Quixadá, Banabuiú e Choró (Leste); Senador Pompeu, Sonolópole e Pedra Branca (Sul); Boa Viagem (Oeste) (Figura 1).

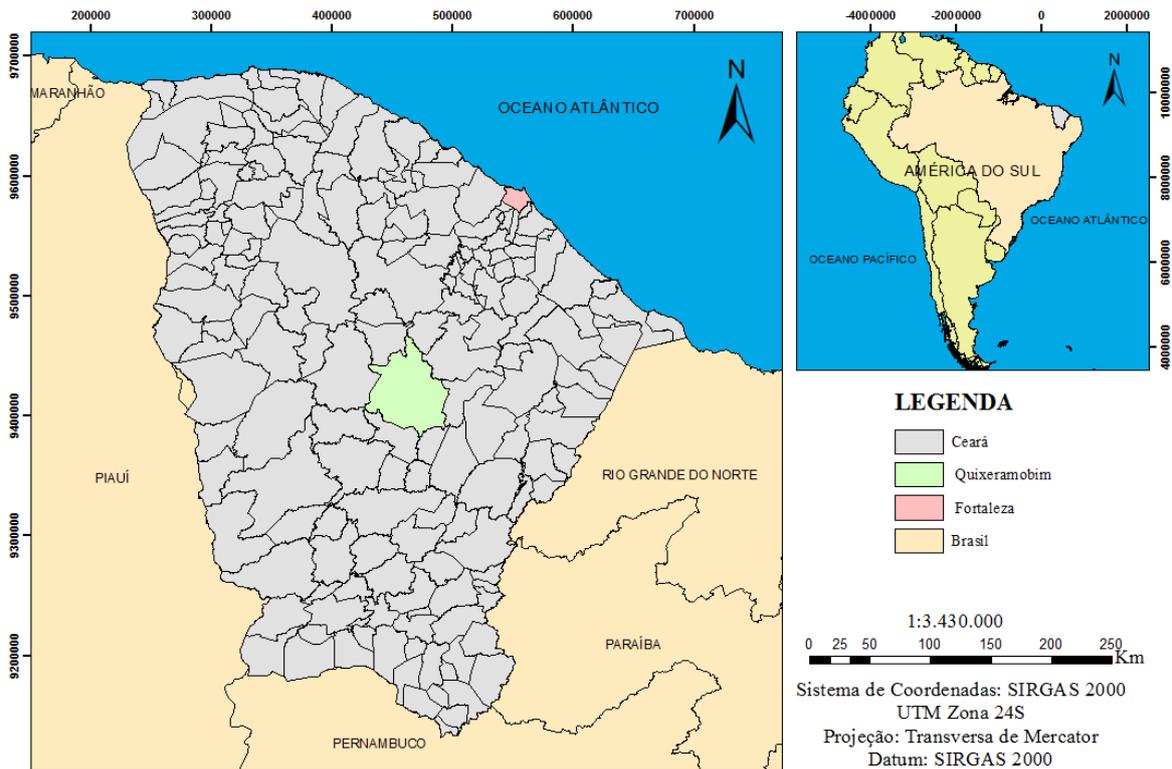


Figura 1 - Área de Pesquisa, situada no interior no Ceará. Limita-se com os municípios de Madalena (Norte); Quixadá, Banabuiú e Choró (Leste); Senador Pompeu, Sonolópole e Pedra Branca (Sul); Boa Viagem (Oeste).

Contexto geológico regional

A área de estudo está inserida dentro do contexto geológico da Província Borborema (Figura 1). Primeiramente assim chamada por Almeida (1981) se trata de uma unidade geotectônica estruturada durante o Ciclo Brasileiro, está localizada na parte oriental da região nordeste da Plataforma Sul-Americana. A Província Borborema é dividida em 5 domínios geológicos: DMC – Médio Coreau, DZT – Zona Transversal, DM – Meridional e DRGN – Rio Grande do Norte, e DCC – Ceará Central.

Domínio Ceará Central

O Domínio Ceará Central é limitado pela Província Costeira e pela zona de cisalhamento Sobral–Pedro II, a norte, pela Província Sedimentar do Parnaíba, a oeste e pelas zonas de cisalhamento de Orós e de Aiuaba, a leste e a sul.

No DCC, os terrenos mais antigos afloram no Bloco de Tróia – Pedra Branca, constituindo o chamado Grupo Cruzeta. São compostos por rochas arqueanas das séries granito-greenstone e granitos-gnáissicos, com 2.8-2.5 Ga (Torquato et al., 1989; Arthaud, 2007).

mineralizados (Vidal & Nogueira Neto, 2005). Em contraste, os pegmatitos heterogêneos estão preferencialmente associados aos complexos gnáissico-migmatíticos do embasamento e mostram um zoneamento regular, definido pela ocorrência das seguintes zonas (Marques Júnior, 1992; Vidal & Nogueira Neto, 2005):

- Zona I (marginal ou de borda) – contendo quartzo + feldspato potássico (microclina + intercrescimento gráfico) + plagioclásio (albita) + muscovita como fases principais e afrisita, cassiterita e granada como acessórios comuns. A textura é predominantemente aplítica e a espessura fina;

- Zona II (parede) – com composição e textura semelhantes às dos pegmatitos homogêneos. Ocupa, em geral, um volume significativo dos corpos pegmatíticos;

- Zona III (intermédia) – caracterizada pela presença de cristais de feldspato de grandes dimensões e um cortejo variado de fases acessórias (apatita, ambligonita, berilo, columbita-tantalita, cassiterita, turmalina, espodumênio, petalita e lepidolita);

- Zona IV (axial) – formada por um núcleo de quartzo maciço de cores variadas, ao qual se podem associar diferentes minerais acessórios.

No contato entre a zona III e o núcleo de quartzo, desenvolve-se, em muitos casos, uma “zona de substituição metassomática” (ZS). As zonas de substituição metassomática” (ZS) são constituídas por albita sacaroidal, muscovita esverdeada, lepidolita e quartzo e ocorrem em corpos lenticulares ou cavidades miarolíticas, de dimensões métricas a decimétricas, frequentemente designados por “bolsões” (Leal Neto, 2004).

Alguns pegmatitos heterogêneos mostram um zoneamento incipiente, definido pelo predomínio

de texturas aplíticas nas bordas e texturas grosseiras nas regiões centrais. Estes corpos estão muitas vezes mineralizados em turmalina, berilo, apatita e ambligonita.

A tectônica exerceu uma influência significativa na forma, dimensão e disposição dos corpos pegmatíticos (Marques Júnior, 1992). Estudos realizados no campo pegmatítico de Banabuiú – Solonópole mostram que a grande maioria dos filões pegmatíticos apresentam direções variando entre N5°E e N15°E que parecem ter sido controladas pelas duas importantes zonas de cisalhamento que limitam a área: Senador Pompeu e Orós (Marques Júnior, 1992).

Essas zonas deformam não só as rochas do embasamento como também todo o conjunto plutônico (Marques Júnior, 1992). Com efeito, os granitos e granodioritos exibem, por vezes, uma foliação tectônica subvertical, com direção N15E. A grande maioria dos pegmatitos ocorrem nos espaços gerados em fraturas e falhas, com caráter frágil ou frágil/dúctil, o que aponta para uma instalação mais tardia destes corpos (Arthaud, 2007).

Com base em dados geocronológicos Rb-Sr e K-Ar em biotitas e muscovitas, Almeida et al. (1968) propõem um intervalo de idades entre 470 e 530 Ma para a formação dos corpos pegmatíticos do Distrito Solonópole-Quixeramobim. Datações K-Ar mais recentes obtidas por Lima (2008) em muscovitas (K-Ar) de pegmatitos homogêneos e heterogêneos que interceptam as rochas encaixantes do DCC (granito e gnaisses migmatíticos, respectivamente) da região de Banabuiú (DPSQ), apresentam um intervalo de valores de idades compreendidas de 519,8 Ma a 529,8 Ma, confirmando e sobrepondo aos valores do intervalo de idade estabelecido por Almeida et al. (1968).

MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

Foram selecionadas de modo aleatório cinco amostras da região do Condado (Quixeramobim) de turmalina sendo três vermelhas (Figuras 3A, 3B e 3C) e duas bicolores (Figuras 3D e 3E); em um montante de exemplares que seriam utilizados no comércio, estes já estavam separados previamente por não serem opacos; os exemplares foram escolhidos de modo aleatório para que estas fossem uma representação daquela população mineral. Para a caracterização gemológica destes cinco minerais foram utilizados diversos instrumentos gemológicos, sendo aplicado o uso de refratômetro, balança hidrostática, microscópio, espectroscópio,

lâmpada fluorescente e microscópio gemológico. Para constatação da qualidade gemológica das amostras foi utilizado o “Boletim Referencial de Preços de Diamantes e Gemas de Cor” (DNPM/IBGM, 2009), adicionalmente, foi usada uma tabela empregada pelo comércio que possui 384 cores e códigos hexadecimais (Código de cor: Infográfico dos códigos das cores em HTML, 2013) para avaliação da cor das gemas.

Refratômetro

Este instrumento é um dos mais úteis e precisos em gemologia para identificação das gemas, com ele é possível medir o índice de refração da gema,



Figura 3 - Turmalina do Distrito Pegmatítico Solonópole-Quixeramobim analisadas; A. Turmalina vermelha (Dark Red), com as seguintes dimensões: 13.24 x 10.44 x 4.67 mm; B. Turmalina vermelha (Red 3), com as seguintes dimensões: 9.83 x 7.22 x 4.23 mm; C. Turmalina vermelha (Red 3), com as seguintes dimensões: 12.50 x 13.00 x 6.19 mm; D. Turmalina bicolor (Azul e Verde) (Deep Sky Blue 3 /Chartreuse 3), com as seguintes dimensões: 8.11 x 5.06 x 3.68 mm; E. Turmalina bicolor, melancia (Rosa e Verde) (Deep Pink 4/ Chartreuse 4) analisada, com as seguintes dimensões: 14.46 x 10.17 x 4.99 mm.

desde que este índice esteja entre 1.40 a 1.81 e que o cristal seja transparente ou translúcido. É possível ainda determinar a birrefringência, caráter e sinal óptico dos materiais analisados, estas últimas são obtidas por meio de cálculos matemáticos simples. Foi utilizado um refratômetro marca *Rayner Dialdex* sem fonte de luz acoplada.

Gemas podem ser classificadas como anisotrópicas ou isotrópicas, neste último caso, a substância pertence ao sistema cristalino cúbico, em que apenas um índice de refração (n) pode ser identificado no mineral, ou é um material amorfo, neste, torna-se impossível a leitura de um índice de refração, sendo atestada a falta de

birrefringência, caráter e sinal óptico. Caso seja anisotrópico de caráter uniaxial, independentemente do sinal óptico, pertencerá a um desses sistemas cristalinos: Trigonal, Tetragonal e Hexagonal com dois índices de refração, se o mineral for de caráter biaxial, pertencerá aos sistemas cristalinos Ortorrômbico, Monoclínico ou Triclínico, em que cada mineral possui três índices de refração com diferentes direções e valores (Anderson, 1984).

Ao se obter dois raios (n_o (raio ordinário) e n_e (raio extraordinário)) nos minerais uniaxiais e três nos biaxiais (n_x , n_y e n_z) (índices de refração (mínimo, médio e máximo, respectivamente)) e, com

estes dados, pode ser obtido o elipsóide e determinar de forma gráfica ou matemática se é uniaxial ou biaxial e o caráter óptico (Schumann, 2006).

Dicroscópio

Com este instrumento é possível visualizar o pleocroísmo das gemas. Foi utilizado um dicroscópio portátil da GIA (Gemological Institute of America). O pleocroísmo é causado pela absorção distinta da luz nos cristais birrefringentes, este é classificado de três formas; se a mudança de tonalidade no mineral for muito visível o pleocroísmo é classificado como forte, quando a variação não é tão visível este é tido como médio e quando a mudança é pouco perceptível é classificado como fraco.

Este fenômeno não ocorre em gemas isotrópicas, amorfas e opacas, tampouco na maioria das translúcidas (Schumann, 2006). Esta mudança nas cores da gema analisada, quando se rotaciona o dicroscópio rente a uma gema, é decorrente da falta de compensação dos índices de refração de gemas anisotrópicas. É considerada uma consequência de gemas com os índices de refração muito diferentes; quando ocorre uma compensação de $n_o > n_e$ ou $n_e > n_o$ para os minerais uniaxiais e $n_z > n_x$ ou $n_x > n_z$ para os minerais biaxiais.

Lâmpada de luz ultravioleta

A fluorescência é um método de grande importância para a identificação das gemas, ela é causada pela presença de elementos químicos ativadores que ocorrem na estrutura cristalina do mineral (Schumann, 2006). A fluorescência pode ser aferida em laboratório através do uso de lâmpadas de luz ultravioleta e em um ambiente escuro ou com pouca iluminação. Foi utilizada uma lâmpada fluorescente da GIA (Gemological Institute of America).

Espectroscópio

Foi utilizado um espectroscópio portátil da GIA sem fonte de luz acoplada. Este instrumento permite observar as bandas de absorção que se formam no espectro luminoso de uma maneira própria a cada pedra examinada; ao colocar a amostra rente a ocular de observação do aparelho, são observadas variadas mudanças em bandas de cores do aparelho (espectros de absorção), enquanto que em alguns minerais essas bandas ficam mais espessas ou finas, já em outros minerais algumas partes do espectro de absorção ficam escuras.

Determinados comprimentos de onda (bandas de cor) são absorvidos ao atravessar uma gema; a cor da gema resulta da mistura das partes restantes da luz que originalmente era branca. Muitas gemas têm um espectro de absorção muito característico, único, que se manifesta por linhas ou bandas largas, negras e perpendiculares. Os melhores resultados são obtidos em pedras coloridas, transparentes e de tons intensos. (Schumann, 2006).

Balança Hidrostática

Uma balança hidrostática é um instrumento utilizado para o estudo da força de impulsão exercida por líquidos sobre os corpos neles imersos. O funcionamento se baseia no princípio de Arquimedes, (densidade é igual à massa sobre o volume exercido do objeto em meio líquido) esta é especialmente concebida para a determinação de densidades de sólidos. O mineral a ser determinado é pesado primeiramente no ar (no prato da balança sob a plataforma) e depois na água (na cesta dentro do copo com água). A densidade relativa é uma propriedade independente de local e tamanho da amostra. Ela é definida como peso por volume, representado em g/cm^3 e/ou kg/m^3 (Schumann, 2006). Foram utilizadas duas balanças, uma hidrostática Marte AD5002 e outra analítica AND HR200 para garantir máxima precisão no peso das amostras.

Microscópio gemológico

O Microscópio Gemológico permite a leitura imediata dos diversos tipos de inclusões (sólidas, líquidas, gasosas), fraturas na estrutura do cristal (*healed fractures*), manchas, zoneamento de cores e alterações cristalinas (*fingerprints*) e inclusões aciculares (*silk inclusions*) (Hughes, 2017), ou seja, possibilita visualizar o interior das gemas. Através dos diferentes tipos de inclusões, linhas de crescimento, faixas de cor, resquícios do fundente e bolhas de ar, torna-se possível discernir substâncias de origem natural ou sintética.

As amostras foram analisadas utilizando um fundo claro, conforme a necessidade perante as tonalidades das gemas selecionadas. O uso deste equipamento é de suma importância na identificação de estruturas internas dos materiais e essencial na caracterização de eventuais especificações em gemas. Foi usado um microscópio binocular gemológico Meiji EMZ 75339 em fundo branco e com fonte de luz acoplada.

DISCUSSÕES, INTERPRETAÇÕES E RESULTADOS

O grupo mineral da turmalina possui características ópticas muito variáveis, como um índice

de refração de 1.603-1.820, com uma birrefringência igualmente mutável com 0.006-0.080,

densidade no valor de 2.82-3.90 g/cm³, pleocroísmo de fraco a forte, fluorescência quase sempre inerte e nas poucas vezes que se faz presente pode ser classificada como fraca, os espectros de absorção são comumente 640, 498, 458 e 451 nm, apenas o caráter e sinal óptico são constantes sendo sempre uniaxial negativo; infor-mações dos grupos da turmalina são tabelados segundo informações da *International Gem Society* (Arem & Clark, 2019) enfatizando que cada grupo ou cor deste mineral possui valores mais exatos e poucos variáveis.

Estas amostras possuem as propriedades ópticas dentro dos limites do grupo da turmalina, exceto por uma peculiaridade. Para a caracterização gemológica destes minerais, o refratômetro teve um papel fundamental, provando que os minerais são uniaxiais negativos; com *no* e *ne* apresentando valores dentro da normalidade de cada cor, com os maiores valores do raio ordi-nário (1,640) ocorrendo tanto nos exemplares vermelhos como em um bicolor (verde e rosa), bem como os menores valores do raio extraor-dinário (1.605) para uma amostra vermelha e uma bicolor (verde e rosa). As gemas analisadas possuem uma birrefringência elevada, possuindo valores (0.029-0.035) muito próximos da média máxima (0.032) do grupo (Schumann, 2006); enquanto que uma amostra bicolor (azul e verde) possui um valor de 0.021 que é considerado mediano (Arem & Clark, 2019).

O uso da balança hidrostática apresentou resultados dentro das expectativas. As amostras vermelhas detêm uma densidade de 3.13 g/cm³ para o exemplar mais denso (*Red 3*) e 3.02 g/cm³ para o menos denso (*Red 3*), já as turmalinas bicolores possuem 3.10 g/cm³ para o mineral de maior densidade (verde e rosa) e 3.07 g/cm³ para o de menor densidade (azul e rosa). As gemas apresentaram densidades dentro da normalidade de sua cor e do grupo da turmalina (IBGM, 2009; Arem & Clark, 2019).

A utilização do dicroscópio para análise do pleocroísmo foi o terceiro passo; esta característica é presente e classificada como forte em três amostras (*Red 3*, *Red 3* e (*Deep Sky Blue 3* /*Chartreuse 3*), como moderada em uma bicolor (*Deep Pink 4* / *Chartreuse 4*) e fraca em uma vermelha (*Dark Red*), que possui pleocroísmo classificado com fraco em detrimento da baixa absorção, sendo essa uma característica incomum em turmalina (Arem & Clark, 2019).

O uso de uma lâmpada de luz ultravioleta permitiu a observação da quinta característica comum para todas as amostras: a fluorescência, que não pôde ser identificada em nenhuma turmalina estudada.

O espectro de absorção captado pelo espectroscópio se aproxima muito da característica padrão da turmalina; o valor obtido comumente é de 458 e 451 nm para os exemplares vermelhos.

Para as amostras vermelhas foram aferidos valores de 490-492 e 460 nm; enquanto que a turmalina bicolor (azul e verde) apresentou 500 nm, valor próximo de um dos picos dos exemplares vermelhos; já a outra bicolor (rosa e verde) possui três faixas no espectro, 480, 440 e 420 nm.

Ao microscópio gemológico, as amostras foram submetidas a análises em busca de fraturas, inclusões de várias feições, faixas de cor, cristais fantasmas e linhas de crescimento. Os cristais de turmalinas vermelhas estudados são caracterizados por fraturas sem preenchimento, linhas de crescimento concentradas e bem marcadas, além de inclusões. Na figura 4A foram visualizadas fraturas, inclusões bifásicas (sólido e líquido), monofásicas e linhas de crescimento na amostra *Dark Red*.

Na gema *Red 3* foram identificadas fraturas, inclusões sólidas e líquidas (Figura 4B); no outro exemplar *Red 3* visualizou-se fraturas; inclusões sólidas raramente, fluidas que ocasionalmente exibem uma pseudo-orientação (possuem uma orientação curta e que se interrompe mudando de ângulo) (Figura 4C). O exemplar bicolor (azul e verde) exibiu fraturas; inclusões fluidas agrupadas (sugerindo uma origem protogenética); inclusões sólidas orientadas em posição perpendicular às estrias do mineral (Figura 4D); também foram identificadas inclusões fluidas (agrupadas) perpendiculares as inclusões sólidas com orientação (Figura 4E).

A análise da diafaneidade dos exemplares se deu por meio da visualização de um objeto (ponta de uma caneta) através das turmalinas, nas amostras transparentes a imagem possui contorno e nitidez bem definido, nas semitransparentes a nitidez não é tão nítida, enquanto que nas translúcidas o contorno é definido e a nitidez é quase ausente.

Logo, estes dados foram compilados em uma tabela (Tabela 1) com dados gemológicos e ópticos, como parte da caracterização gemológica das turmalinas raras de Quixeramobim – CE.

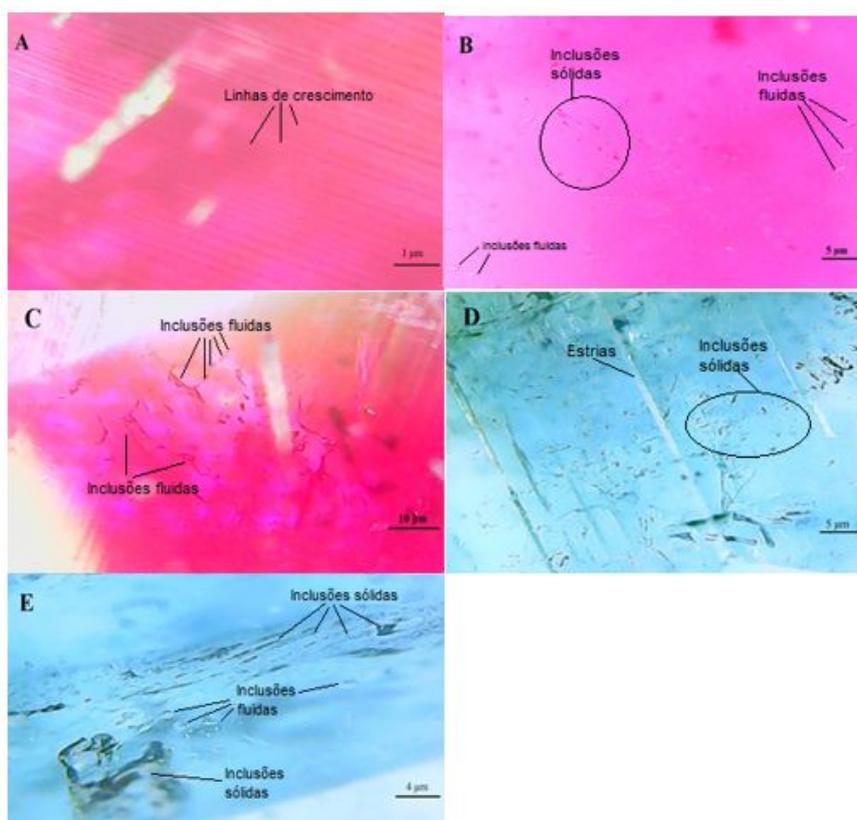


Figura 4 - Inclusões nas amostras do Município de Quixeramobim; A. Linhas de crescimento na amostra vermelha (Dark Red); B. Inclusões sólidas (escuras) e fluidas (transparentes) no exemplar vermelho (Red 3); C. Inclusões fluidas com falsa orientação (transparentes e anastomosadas) na amostra vermelha (Red 3); D. Inclusões sólidas (escuras) orientadas e perpendiculares às estrias da gema na amostra bicolor (azul e verde); E. Inclusões sólidas (escuras) bem orientadas, inclusões fluidas agrupadas na amostra bicolor (azul e verde).

Tabela 1 - Características gemológicas dos cristais de turmalina de Quixeramobim - CE.

Cor da amostra	Vermelho (Dark Red)	Vermelho (Red 3)	Vermelho (Red 3)	Bicolor (Azul e Verde) (Deep Sky Blue 3 /Chartreuse 3)	Bicolor (Verde e Rosa) (Deep Pink 4/ Chartreuse 4)
Qualidade Gemológica	Boa	Boa	Excelente	Excelente	Boa
Diafaneidade	Semitransparente	Transparente	Transparente	Transparente	Translúcida
Índice de refração	1.640 – 1.607	1.639– 1.610	1.640 – 1.605	1.640 – 1.619	1.638 – 1.605
Caráter e sinal óptico	Uniaxial negativo	Uniaxial negativo	Uniaxial negativo	Uniaxial negativo	Uniaxial negativo
Birrefringência	0.033	0.029	0.035	0.021	0.033
Pleocroísmo	Presente: Fraco	Presente: Forte	Presente: Forte	Presente: Forte	Presente: Moderado
Espectro de absorção	490 e 460 nm	490 e 460 nm	492 e 460 nm	500 nm	480, 440 e 420 nm
Fluorescência	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Densidade relativa	3.06g/cm ³	3.02g/cm ³	3.13g/cm ³	3.07g/cm ³	3.10g/cm ³
Microscópio gemológico	Fraturas; linhas de crescimento; inclusões sólidas e fluidas; inclusões bifásicas (sólido e líquido).	Fraturas; inclusões sólidas e fluidas.	Fraturas; inclusões sólidas (raras) e fluidas que ocasionalmente exibem uma pseudo-orientação.	Fraturas; inclusões fluidas; inclusões sólidas orientadas e por vezes com leve orientação, ocasionalmente perpendicular às estrias do mineral.	Fraturas; inclusões sólidas e fluidas.

CONCLUSÕES

Pode-se notar por meio da caracterização gemológica, que as ocorrências raras para a região de Quixeramobim (região do Condado) possuem potencial gemológico em razão da cor intensa, boa diafanidade e teor de inclusões moderado; sendo presentes na região, exemplares nas cores vermelha e bicolores (azul/rosa com verde); além dos já conhecidos da região como exemplares pretos, azuis, verdes e rosas. Notadamente parâmetros analíticos para a caracterização gemológica usual forneceram resultados dentro do padrão; porém perceptivelmente uma característica peculiar foi constatada, o dicroísmo.

O caráter uniaxial negativo representa um aspecto imutável para turmalina, além disso, os índices de refração e birrefringência (elevada) obtidos encontram-se dentro do intervalo para este grupo mineral.

Uma amostra vermelha (*Dark Red*) possui uma baixa absorção, o que a caracteriza como um espécime de pleocroísmo fraco, sendo este um atributo incomum para turmalina, que é caracterizada habitualmente por pleocroísmo

forte e por uma nítida absorção de $no > ne$; um exemplar bicolor (rosa e verde) possui um dicroísmo classificado como moderado, algo não tão corriqueiro para este grupo, mas ainda sim dentro da normalidade.

O espectro de absorção das amostras é padrão para este grupo. A fluorescência está dentro do que era cogitado, a ausência de luminescência das amostras de turmalina analisadas. A densidade relativa ficou dentro do estimado e com baixa variação. O interior dos cristais de turmalina é rico em inclusões fluidas e com presença relativamente acentuada de fraturas, linhas de crescimento e inclusões bifásicas também se fazem presentes; a ausência de inclusões orientadas e do tipo epigenéticas demonstram que estas não passaram por regimes compressivos após a sua formação. Portanto, estas amostras gemológicas encontradas em Quixeramobim possuem características padrão para a turmalina; entretanto, a baixa absorção (pleocroísmo fraco) de uma amostra não é usual, este aspecto necessita de estudos mais detalhados e específicos para embasar esta peculiaridade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do Laboratório de Gemologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (DEGEO/UFC) e ao apoio financeiro e bolsa de mestrado concedida ao autor principal deste artigo pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Gemas de cor - Terminologia e classificação**. NBR10630, 2ª EDIÇÃO, 2016.
- ALMEIDA, A.R. & ULBRICH, H.H.G.J. O Papel da Mistura de Magmas na Gênese do Magmatismo Granítico Cálcio-Alcalino Quixeramobim-CE. **Revista de Geologia**, v. 14, n. 1, p. 49-80, 2001.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, v. 17, n. 1-2, 1-29, 1981.
- ALMEIDA, F.F.M., MELCHER, G.C., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K; VANDOROS, P. Radiometric Age Determinations from Northern Brazil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 18, n. 1, p. 3-14, 1968.
- ANDERSON, B.W. **Identificação das Gemas**. Rio de Janeiro, Livro Técnico S/A. 460 p. 1984.
- AREM, J.E. & CLARK D. **Tourmaline Value, Price, and Jewelry Information**. 2019. IGS (International Gem Society). Disp. em: <<https://www.gemsociety.org/article/tourmaline-jewelry-and-gemstone-information/>>. Acesso em 2 de fevereiro de 2019 e 06 de agosto de 2019.
- ARTHAUD, M. H. **Evolução neoproterozoica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira**. Brasília, 2007. 117 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade de Brasília.
- Código de cor: Infográfico dos códigos das cores em HTML**, 2013. Disp. em: <<https://www.devmedia.com.br/codigo-cor-infografico-dos-codigos-das-cores-em-html/37238>>. Acesso em 6 de agosto de 2019.
- DEER, W.A. **Minerais Constituintes das Rochas uma Introdução**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 727 p. 2010.
- DNPM/IBGM. **Boletim Referencial de Preços de Diamantes e Gemas de Cor**. 2009
- FETTER, A.H. **U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints on the Crustal Framework and Geologic History of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of Gondwana**. 1999, Kansas. 164 p. Tese (Doutorado), Department of Geology, Kansas University, Lawrence.
- HAWTHORNE, F.C. & DIRLAM, D.M. Tourmaline the indicator mineral: from atomic arrangement to viking navigation. **Elements**, v. 7, n. 5, p. 307-312, 2011.
- HUGHES, R.W. **Ruby & sapphire: A Gemologist's guide**. Bangkok, RWH Publishing/Lotus Publishing. 816 p. 2017.
- IBGM. Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos. Manual Técnico de Gemas, 2009.
- LEAL NETO, A. **Pegmatito Várzea Torta: caracterização geoquímica e relações com os granitos de anatexia adjacentes**. Fortaleza, 105p. 2004. Dissertação (Mestrado), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará.
- LIMA, M.N. **Caracterização litogeoquímica do granito Banabuiú e seu encaixante (Brasil)**. Aveiro-Portugal. 168 p.

2008. Dissertação (Mestrado), Universidade de Aveiro.
- MARQUES JÚNIOR, F. **Geologia do Campo Pegmatítico de Berilândia, CE**. São Paulo. 173 p. 1992. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo.
- MAZZOLENI, P.; BARONE, G.; RANERI, S.; AQUILIA, E.; BERSANI, D.; CIRRINCIONE, R. Application of micro-raman spectroscopy for the identification of unclassified minerals preserved in old museum collections. **Pliniu**, v. 42, p. 112-124, 2016.
- OLIVEIRA, I.G.; CARNEIRO, L.S; SARAIVA, C.E.R.; DE NERI, T.F.O. Identificação Gemológica dos Coríndons e Diferenciação de suas Imitações. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 456-465, 2019.
- PARENTE, C.V.; ALMEIDA, A.R.D.; ARTHAUD, M.H. **Geologia da folha Quixeramobim SB. 24-VD-III**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Parceria com a Universidade Federal do Ceará – UFC. 2008.
- PEHRSON, E.A.K. **Identification Methods of Sri Lankan Corundum in comparison to Other Common Gemstones**. Uppsala 42 p. 2017. Department of Earth Sciences, Uppsala University, Disciplinary Domain of Science and Technology, Independent thesis Basic level (degree of Bachelor)
- PHICHAIKAMJORNWUT, B.; PONGKRAPAN, S.; INTARASIRI, S.; BOOTKUL, D. Conclusive comparison of gamma irradiation and heat treatment for color enhancement of Rubellite from Mozambique. **Vibrational Spectroscopy**, v. 103, p. 102926, 2019.
- SCHUMANN, W. **Gemas do Mundo**. São Paulo, DISAL Editora. 279 p. 2006.
- TORQUATO, J.R.; SIDRIM, A.C.G.; MARANHÃO, C.M.L.; PARENTE C.V.; NOGUEIRA NETO, J.A.; ANDRADE FILHO, J.F.; SOUSA, J.V.; SOUZA, M.J.N.; ARTHAUD, M.H.; ALMEIDA, A.R. Granitóides do Ceará, Região de Quixadá–Solonópole. **Revista de Geologia**, v. 2, n (1/2), 143 p., 1989.
- VIDAL, F.W.H. & NOGUEIRA NETO, J. A. Minerais de pegmatitos. In: VIDAL, F.W.H.; SALES, F.A.C.B.; ROBERTO, F.A.C.; SOUSA, J.F.; MATTOS, I.C (ed.). **Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará**. Realce Editora & Indústria Gráfica, p. 67-81, 2005.

*Submetido em 15 de setembro de 2021
Aceito para publicação em 15 de fevereiro de 2022*