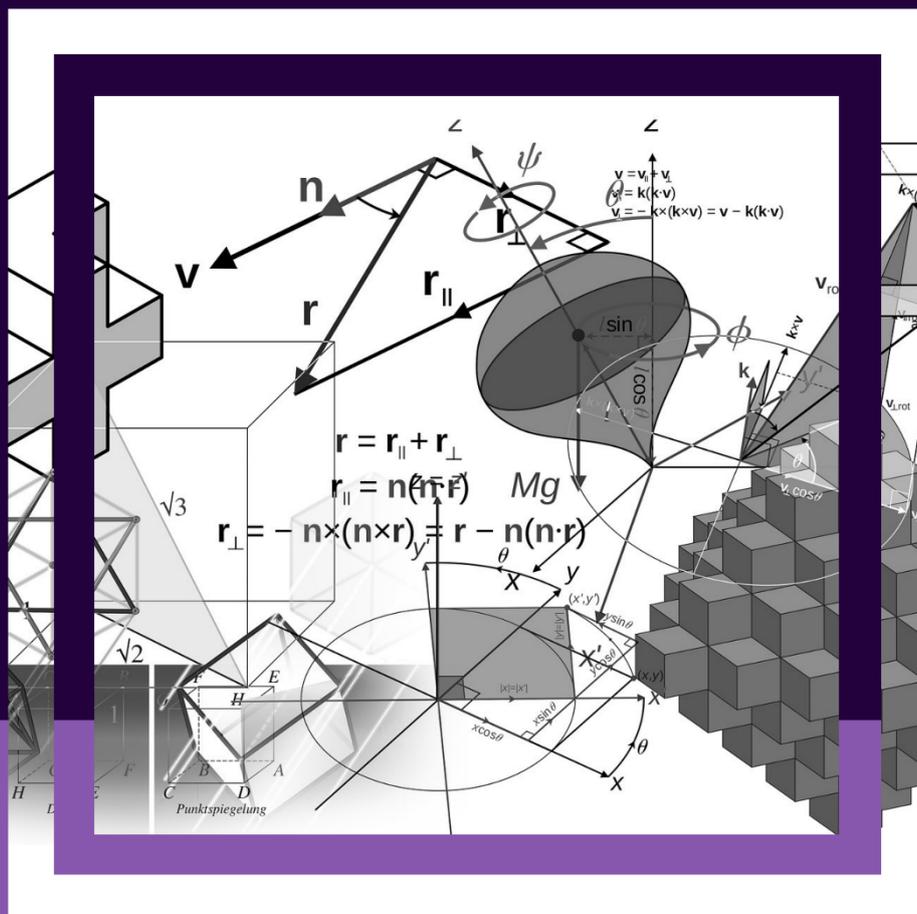


Milson dos Santos Barbosa
Rafael Leal da Silva
Roger Goulart Mello
Organização



Práticas e pesquisas aplicadas em

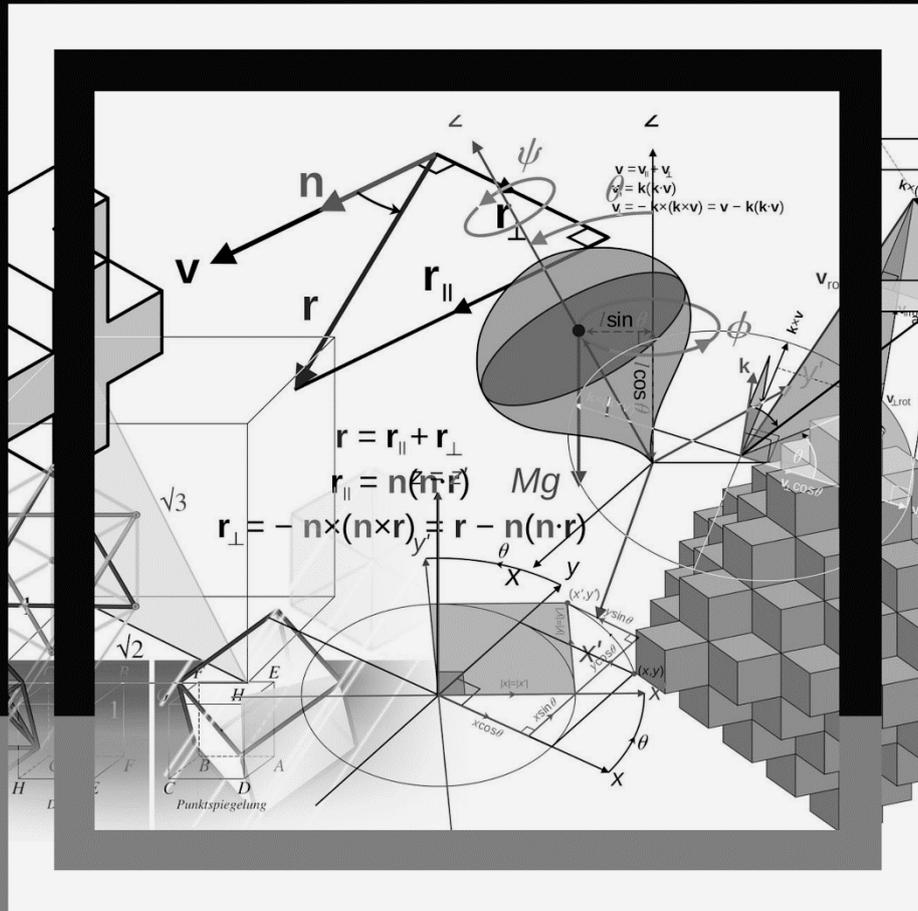
Ciências exatas



2023

3

Milson dos Santos Barbosa
Rafael Leal da Silva
Roger Goulart Mello
Organização



Práticas e pesquisas aplicadas em

Ciências exatas



2023

3

Editora Chefe

Patrícia Gonçalves de Freitas

Editor

Roger Goulart Mello

Diagramação

Patrícia Gonçalves de Freitas

Roger Goulart Mello

Projeto gráfico e edição de arte

Patrícia Gonçalves de Freitas

2023 by Editora e-Publicar

Copyright © Editora e-Publicar

Copyright do Texto © 2023 Os autores

Copyright da Edição © 2023 Editora e-Publicar

Direitos para esta edição cedidos
à Editora e-Publicar pelos autoresRevisão
Os Autores**Open access publication by Editora e-Publicar****PRÁTICAS E PESQUISAS APLICADAS EM CIÊNCIAS EXATAS, VOLUME 3.**

Todo o conteúdo dos capítulos desta obra, dados, informações e correções são de responsabilidade exclusiva dos autores. O download e compartilhamento da obra são permitidos desde que os créditos sejam devidamente atribuídos aos autores. É vedada a realização de alterações na obra, assim como sua utilização para fins comerciais.

A Editora e-Publicar não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Conselho Editorial

Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade Federal de Santa Catarina

Alessandra Dale Giacomini Terra – Universidade Federal Fluminense

Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Andrelize Schabo Ferreira de Assis – Universidade Federal de Rondônia

Bianca Gabriely Ferreira Silva – Universidade Federal de Pernambuco

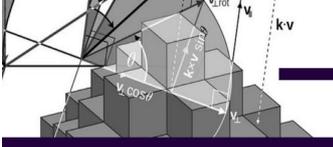
Cristiana Barcelos da Silva – Universidade do Estado de Minas Gerais

**2023**

Cristiane Elisa Ribas Batista – Universidade Federal de Santa Catarina
Daniel Ordane da Costa Vale – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Danyelle Andrade Mota – Universidade Tiradentes
Dayanne Tomaz Casimiro da Silva - Universidade Federal de Pernambuco
Deivid Alex dos Santos - Universidade Estadual de Londrina
Diogo Luiz Lima Augusto – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Edilene Dias Santos - Universidade Federal de Campina Grande
Edwaldo Costa – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Elis Regina Barbosa Angelo – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Érica de Melo Azevedo - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro
Ernane Rosa Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Fábio Pereira Cerdera – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Francisco Oricelio da Silva Brindeiro – Universidade Estadual do Ceará
Glaucio Martins da Silva Bandeira – Universidade Federal Fluminense
Helio Fernando Lobo Nogueira da Gama - Universidade Estadual De Santa Cruz
Inaldo Kley do Nascimento Moraes – Universidade CEUMA
Jaisa Klauss - Instituto de Ensino Superior e Formação Avançada de Vitória
Jesus Rodrigues Lemos - Universidade Federal do Delta do Parnaíba
João Paulo Hergesel - Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Jordany Gomes da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Jucilene Oliveira de Sousa – Universidade Estadual de Campinas
Luana Lima Guimarães – Universidade Federal do Ceará
Luma Mirely de Souza Brandão – Universidade Tiradentes
Marcos Pereira dos Santos - Faculdade Eugênio Gomes
Mateus Dias Antunes – Universidade de São Paulo



2023



cordierita granulito e rocha calcissilicática pré-orogênica do Complexo Nova Venécia - NP3nv e a sul com o Ortognaisse enderbítico sin-orogênico Santa Teresa - NP3γ1Ist). Os cristais de feldspato estudados são encontrados na unidade Olivina piroxenito Vale do Canaã na forma de intrusões de material quartzo-feldspático, como pode ser visualizado na figura 1.

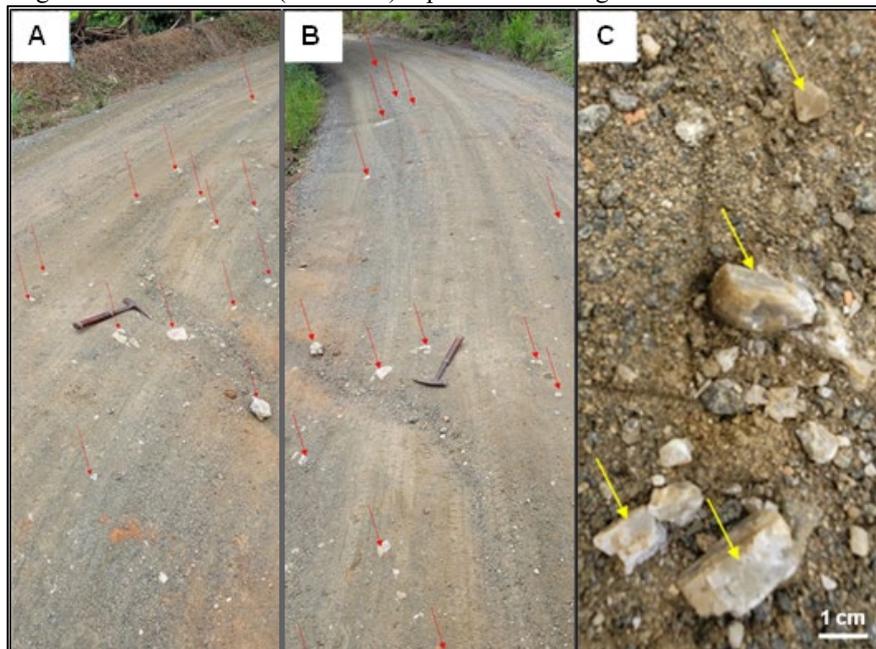
Figura 1: Taludes com a indicação das intrusões nas rochas supracitadas.



Fonte: Autoria própria (2023).

Tais cristais de feldspato vêm sendo utilizados como cascalho para pavimentação em estradas rurais na região, como pode ser visto na Figura 2.

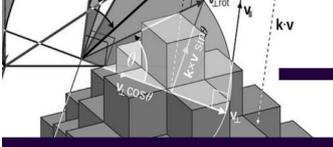
Figura 2: Imagem com os materiais (cascalhos) espalhados ao longo de trecho de estrada rural da região.



Legenda: A e B) Trechos de estradas rurais com fragmentos da variedade de feldspato estudada. C) Detalhe de um dos fragmentos. As setas vermelhas indicam fragmentos da variedade de feldspato estudada em diversos graus de integridade física. As setas amarelas indicam porções dos cristais que poderiam ser aproveitadas para a lapidação.

Fonte: Autoria própria (2023).

Os cristais em estado bruto apresentam um brilho sedoso característico de minerais com potencial para lapidação em formato de cabochão com desenvolvimento de efeitos ópticos do tipo acatassolamento e suas variações. O brilho característico pode ser visualizado a partir de



uma leve inclinação do cristal em relação à uma fonte de luz branca com pode ser visto na figura 3.

Figura 3: Ilustração do brilho sedoso característico dos materiais que possuem potencial para desenvolvimento de efeitos ópticos na lapidação em formato de cabochão.



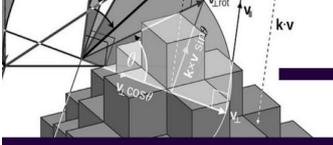
Fonte: Autoria própria (2023).

Diante da hipótese de desenvolvimento de efeitos ópticos nos cristais encontrados na ocorrência, este trabalho busca fundamentos que comprovem a hipótese e que permitam uma aplicação mais nobre para os minerais em relação ao que vêm sendo praticado. Entretanto, a escassez de materiais bibliográficos relacionados aos efeitos ópticos gerados a partir da interação entre a orientação cristalográfica de diversos tipos de inclusões e os formatos de lapidação utilizados para produção dos materiais gemológicos também torna necessária a realização desse trabalho.

Para além dessa constatação, é importante salientar que o estado do Espírito Santo apresenta um potencial considerável para a extração de materiais gemológicos diversos como por exemplo água-marinha, andaluzita, crisoberilo, entre outros, normalmente lapidados no formato facetado. Todavia, sabe-se que outras técnicas podem ser utilizadas para aproveitamento de materiais não indicados ao facetamento, ressaltando efeitos ópticos gerados a partir da interação supracitada (inclusões versus formato de lapidação). Neste contexto, estão inseridos os cristais estudados nesse trabalho, cuja caracterização e análise do potencial para desenvolvimento de tais efeitos ópticos ainda não foi realizada de forma aprofundada. Fato esse que, somado às várias possibilidades de efeitos ópticos a serem gerados, pode implicar, no futuro, na realização de trabalhos que tratem da avaliação da agregação de valor que cada um deles pode oferecer.

2. OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo principal avaliar o potencial que os cristais de feldspato estudados apresentam para geração de efeitos ópticos na lapidação.



2.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar os cristais utilizados no estudo, com ênfase na identificação e orientação das inclusões ou feições potencialmente geradoras de efeitos ópticos.
- Indicar efeitos ópticos possíveis de serem gerados a partir dos cristais e suas estruturas.
- Indicar estratégias de lapidação (formatos e técnicas), considerando os aspectos cristalográficos para a obtenção dos efeitos ópticos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

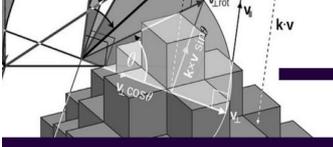
A lapidação tem como tarefa ressaltar as características mais apreciadas nos minerais/gema, pois a partir do uso da técnica adequada é possível ressaltar cor, pureza, brilho, simetria e formato. Dentro do rol de técnicas possíveis para a lapidação, podem ser destacadas duas variações básicas: as lapidações facetadas (Figura 4) e aquelas feitas através da técnica de lapidação em cabochão.

A lapidação facetada é mais indicada para minerais translúcidos a transparentes e consiste em formar facetas planas, graduais e sucessivas. Já o cabochão consiste geralmente em uma base reta e um domo abaulado podendo ser produzido em formato de coração, gota, oval cruz, entre outros. A lapidação de cabochões é a mais indicada quando se almeja a produção de efeitos ópticos pois a convexidade impressa às superfícies dessas peças, adicionada às orientações em planos de estruturas como lamelas de exsolução, inclusões sólidas e fluidas orientadas faz com que a luz se comporte de forma específica dentro e na superfície da gema provocando efeitos ópticos valorizados pelo setor joalheiro.

Figura 4: Gemas lapidadas utilizando as técnicas de facetamento e cabochão.



Fonte: Autoria própria (2023).



como os citados anteriormente. Algumas estruturas, como as causadas por consequência da exsolução, podem ser de grande interesse para a gemologia por representarem potencial de desenvolvimento de efeitos ópticos como asterismo, o chatoyance e a adularescência (Figura 5) quando as gemas são corretamente lapidadas.

Exsolução é o processo pelo qual uma solução sólida inicialmente homogênea separa-se em dois (ou possivelmente mais) minerais cristalinos distintos sem adição ou remoção de materiais para ou do sistema. Isso significa que não existe mudança na composição total (KLEIN; DUTROW, 2012, p. 302).

Dependendo do tipo de exsolução (que possui relação íntima com a capacidade que as soluções possuem em se manterem estáveis em determinadas condições de temperatura e pressão) alguns cristais podem ser utilizados na gemologia por produzirem contrastes entre cores vistos macroscopicamente (verde do feldspato potássico e branco do plagioclásio como na amazonita, por exemplo) ou produzirem, a partir de exsoluções em escala microscópica, fenômenos ópticos específicos como os citados a pouco por agregarem valor a esses materiais.

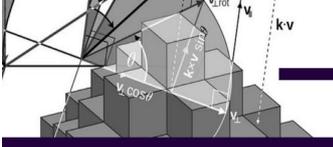
Figura 5: Imagens ilustrativas das possibilidades de obtenção dos efeitos ópticos.



Legenda: A) Pedra-da-lua com chatoyance em cabochão; B) Pedra-da-lua com asterismo, estrela de quatro pontas em cabochão redondo; C) Pedra-da-lua facetada com *schiller* azul; D) Pedra-do-sol (*Sunstone*) facetada em formato oval. E) Pedra-da-lua em cabochão com iridescência azulada (*Moonstone*) com aventurinização F) Labradorita rosa com efeito de labradorecência em cabochão formato gota G) Labradorita com *schiller* azul conhecido como (*Rainbow Moonstone*) em cabochões.

Fonte: Montagem de autoria própria a partir de imagens coletadas em referência *Gem Select Group, Etsy, Gem- e Inka Minerais* (2023).

A exsolução nos cristais utilizados como gemas que apresentam tais fenômenos ópticos se manifesta em estruturas caracterizadas por finas lamelas de um ou mais minerais. De acordo com Klein e Dutrow (2012), nos cristais de feldspato potássico, por exemplo, existe uma lacuna



de miscibilidade entre o feldspato potássico KAlSi_3O_8 (ortoclásio e/ou microclínio) e a albita $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ a depender das proporções de substituição entre K e Na, abaixo da temperatura de 650°C . Já no plagioclásio, outra lacuna de miscibilidade pode ser encontrada na região da Peristerita (An_0 e An_{25}) e tal lacuna é responsável pelo efeito óptico presente na pedra da lua, ou seja, na variedade adularia (ortoclásio).

Para o desenvolvimento de tais efeitos essas estruturas precisam estar orientadas segundo uma ou mais direções e possuírem sucessivas camadas paralelas no interior do cristal além de serem posicionadas corretamente no interior da gema a ser lapidada.

3.1 Feldspatos do grupo do plagioclásio

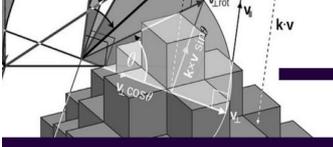
Na distinção dos plagioclásios se faz necessária uma análise da sua série composicional e de suas estruturas. Essa análise é feita medindo-se as porcentagens de albita e anortita presentes na composição do mineral e o resultado deste estudo evidencia e classifica a qual variedade o feldspato pertence. Na identificação dos plagioclásios, Lira e Neves (2013) destacam que a Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) “A”, e Anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) “An” representam as séries finais dos plagioclásios. Os autores demonstram, ainda, que o que define a variedade final da série dos plagioclásios é o estado de equilíbrio atingido quando, após o resfriamento, os cristais se formam a partir da fusão com proporções ou teores de A e An variados. Desta maneira, a série dos plagioclásios se configura, em função dos teores de albita e anortita, nas variedades elencadas na tabela 1.

Tabela 1: Série de plagioclásio.

Mineral	Porcentagem de albita	Porcentagem de anortita
Albita	100-90	0-10
Oligoclásio	90-70	10-30
Andesina	70-50	30-50
Labradorita	50-30	50-70
Biowtonita	30-10	70-90
Anortita	10-0	90-100

Fonte: Lira; Neves (2013).

No grupo dos plagioclásios albita e anortita são do sistema triclinico e suas séries finais também, com as seis variedades denotando formas cristalinas parecidas (KLEIN; DUTROW, 2012). Os cristais de feldspato podem, além das feições típicas da exsolução e das estruturas como a clivagem e a partição, apresentar inclusões diversas que também podem, por sua vez, causar efeitos ópticos peculiares quando lapidados em formatos específicos.



3.2. Feldspatos Potássicos ou Alcalinos

Os feldspatos potássicos têm como componentes a microclina, o ortoclásio, sanidina (de alta e baixa temperatura), o anortoclásio e a adularia, onde se dividem nas variações entre Ortoclásio “Or” e Albita “Ab”. De acordo com Lira e Neves (2013), a organização da série deste segundo grupo dos feldspatos está conectada com as diferentes formas as quais os elementos Al e Si se organizam, e sua fórmula se caracteriza por $KAlSi_3O_8$.

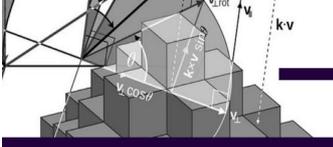
A classificação dos feldspatos potássicos se organiza da seguinte maneira: no microclínio ocorre uma certa substituição de Na por K; com o aumento da temperatura ou arrefecimento acrescenta-se as expressões baixo, intermediário ou alto para se referir aos microclínios que foram cristalizados nestas variações de temperaturas; quando essas temperaturas chegam em níveis mais altos que os medidos até então nesta série, a microclína transmuta-se em ortoclásio ou sanidina.

O ortoclásio em sua constituição química apresenta na sua maior parte pouquíssimo Na, mas em uma série concluída de solução sólida de altas temperaturas pode-se encontrar maiores quantidades (anortoclásio), pois é a espécie potássica com precipitação em temperaturas medianas e a distribuição de Al e Si é levemente arranjada. A sanidina possui uma distribuição desarranjada dos tetraedros de Alumínio e Silício, sendo que a de alta temperatura é a exsolução do ortoclásio. A adularia é uma série de baixa temperatura do feldspato potássico e sua estrutura se aparenta à do ortoclásio (KLEIN; DUTROW, 2012).

Em relação à estrutura cristalina, os cristais de feldspato alcalinos se apresentam no sistema triclinico e monoclinico. As maclas passíveis de ocorrência nos cristais desta espécie são *Carsbald*, *Baveno* e *Manebach* assim como no ortoclásio. No sistema monoclinico estão o ortoclásio, a sanidina, o anortoclásio e a adularia que se encontra em cristais pseudo-ortorrômbicos e, no triclinico, está o microclínio.

3.3 Variedades gemológicas do grupo dos feldspatos que desenvolvem efeitos ópticos.

No grupo dos feldspatos, pode-se citar algumas variedades que são consideradas gemológicas como a labradorita, adularia, euclásio, amazonita (microclínio), ortoclásio, oligoclásio e albita. Estas variedades apresentam características que as proporcionam qualidades únicas como a propensão de apresentarem ou serem “fabricados” efeitos ópticos. Tais fenômenos ópticos normalmente tem como elemento causal as estruturas dos minerais hospedeiros ou variados tipos de inclusões, aliadas aos formatos de lapidação em alguns casos.



Estes efeitos são comuns em algumas espécies de minerais, porém em outras podem ser considerados eventos de rara ocorrência.

Os efeitos ópticos são respostas visuais que os minerais apresentam a estímulos luminosos específicos, tendo diferentes tipos de efeitos ópticos, mas devido as características intrínsecas de cada espécie mineral, há também diferentes explicações para a presença destes efeitos. Dentre os efeitos ópticos estudados (NEWMAN CARVALHO, 2022) tem-se acatassolamento (chatoyance), asterismo, opalescência, iridescência, adularescência, aventurinização e labradorecência, no entanto neste trabalho serão apresentados os que são passíveis de ocorrência em cristais de feldspato.

De acordo com Deer, Howie e Zussman (2010, p 465), iridescência é a capacidade que determinado mineral possui de refletir cores diferentes quando a luz o atravessa, perpassando através das lamelas da sua rede cristalina. É comum que alguns feldspatos alcalinos apresentem este efeito em tons de branco e azul. Na labradorita apresenta-se em tons de verde com variações em tons multicoloridos, sendo que na labradorita o fenômeno é chamado de labradorecência devido a presença do brilho metálico.

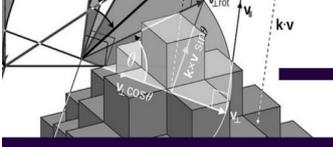
O efeito óptico adularescência também é um reflexo luminoso branco ou azulado que é acionado quando uma luz difusa incide nas lamelas do mineral. É um efeito inerente ao ortoclásio na sua variedade adularia, mas alguns plagioclásios como a labradorita também podem apresentar. A aventurinização é um revérbero brilhante gerado por inclusões sólidas de outros minerais e, no caso dos feldspatos, a andesina/labradorita são as variedades mais propícias a apresentar este efeito (KLEIN; DUTROW, 2012).

Foram mencionados no último parágrafo outros tipos de efeitos que não foram abordados, contudo, devido a necessidade de explicar os tipos de inclusões e de que maneira a relação de causa e efeito entre as inclusões e os efeitos citados ocorrem, torna-se viável tratá-los no próximo tópico.

4. A CLASSIFICAÇÃO DAS INCLUSÕES EM MATERIAIS GEMOLÓGICOS: TIPOS E RELAÇÕES COM EFEITOS ÓPTICOS

Há uma relação direta de causa e efeito entre as inclusões e alguns efeitos ópticos: a interferência das inclusões nos caminhos que a luz faz dentro do mineral e que geralmente são responsáveis pelos efeitos produzidos nos minerais hospedeiros é um exemplo desta relação.

Segundo Castañedas (1995), as inclusões podem ser classificadas como sólidas ou líquidas, monofásicas (só uma fase, exemplo: líquido), bifásicas (duas fases, exemplo: líquida



e gasosa), trifásica (três fases, exemplo: líquida, gasosa e sólidas) e polifásicas ou multifásica (quatro ou mais fases, exemplo: líquida, gasosa, líquida, sólida).

De acordo com Newman Carvalho (2022), os tipos de inclusões, seus formatos e como estão orientadas dentro dos cristais influenciam na qualidade e no tipo de efeito que será visto e que essas nuances precisam ser analisadas de forma que as inclusões respondam de forma correta a incidência da luz sobre o mineral e assim produzam os efeitos desejados.

Através dos estudos das inclusões e dos minerais que as hospedam, foram estipulados parâmetros específicos para que as inclusões corroborem no surgimento dos efeitos mencionados acima, sendo que o primeiro parâmetro a ser notado é que os minerais que apresentam os efeitos normalmente possuem cristais com estruturas fibrosas, aciculares ou inclusões líquidas orientadas cristalograficamente; o segundo é que normalmente são lapidados em formato cabochão e que os planos cristalográficos devem ser direcionados de modo que os planos de corte considerem os sentidos das inclusões dentro dos minerais.

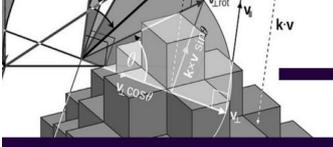
Esses parâmetros só podem ser alcançados a partir de um conhecimento aprofundado das características dos minerais e das suas inclusões. Os efeitos ópticos gerados seguindo esses parâmetros são o asterismo e o *chatoyance* ou acatassolamento, ambos gerados em razão de inclusões sólidas ou fluidas dentro dos minerais.

O efeito *chatoyance* consiste em uma faixa vertical centralizada no meio do mineral, gerada por inclusões sólidas orientadas, assemelhando-se a um olho de gato, e o asterismo caracteriza-se por linhas constituídas por inclusões sólidas ou líquidas e/ou lamelas de exsolução orientadas segundo direção preferencial, de maneira a produzir uma estrela quando a luz incide sobre o mineral, sendo a mais comum a estrela de 4 pontas, mas sabendo ser possível gerar estrelas com 6 e 12 pontas (KLEIN; DUTROW, 2012).

Tais efeitos podem agregar expressivo aumento no valor do mineral/gema que o exhibe sendo capaz de transformar um material considerado escória em material comercial ou triplicar o valor de uma gema já bem avaliada no mercado quando relapida.

4.1 Aspectos analisados para avaliação da qualidade do efeito óptico

Gemas com efeitos ópticos são tratadas de maneira diferente de materiais que não possuem tais características, podendo ter o seu valor comercial incrementado por apresentarem o fenômeno. Como já foi mencionado acima, existem muitos minerais que possuem as características físicas, químicas e estruturais capazes de gerar efeitos ópticos como, por exemplo, as seguintes variedades gemológicas que comumente são incluídos na lista de



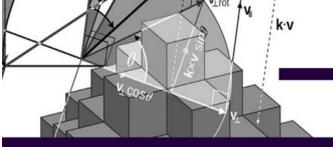
propensos a apresentarem efeitos ópticos: rubi, safira, quartzo, granada, espinélio, crisoberilo, turmalina, diopsídio, feldspatos cálcio-sódicos (labradorita, andesina, albita, oligoclásio) e potássicos (adularia, euclásio, amazonita, ortoclásio), opala, madrepérola, pérola, alexandritas etc. Assim, as amostras dos minerais citados acima que apresentam efeitos ópticos, seguindo as diretrizes do mercado (quem dita a precificação de gemas), são mais valorizados do que as que não apresentam os fenômenos, principalmente no caso dos feldspatos, uma vez que principalmente os exemplares com propensão a geração de efeitos ópticos são considerados gemológicos (GIA, 2016).

No que tange a avaliação desses materiais, há quatro fatores que o avaliador deve levar em consideração no momento de classificar gemas com efeito óptico. No primeiro fator é necessário observar se o efeito está centralizado no topo do cabochão; no segundo avalia-se a lapidação, se está bem-feita e se os cortes da base foram feitos paralelamente as inclusões, o que produziria um efeito homogêneo no topo do cabochão; na terceira recomenda-se fazer o acabamento da base do cabochão, (é comum no mercado, cabochões com base sem polimento), pois na opinião de Newman Carvalho (2022) ajuda a intensificar o efeito. No último, avalia-se o efeito em um todo para ver se ele está seguindo as orientações cristalográficas corretamente.

Os métodos indicados para uma boa avaliação de gemas com fenômenos ópticos são:

- fazer o exame da gema em dois tipos de iluminação: em luz refletida para vislumbrar o efeito e em luz transmitida para entrever o interior da gema, com foco na estrutura interna, zonamento de cor (no caso dos coríndons, descontinuidades ópticas); sendo importante salientar que é necessário virar o material em diferentes ângulos de observação para encontrar o efeito (atentar-se as proporções que dá ênfase ao efeito) e se para a geração de efeitos como asterismo e chatoyance as inclusões são essenciais, na avaliação o primordial é a qualidade da lapidação que compromete a forma em que o efeito será transmitido quando a luz alcançar o material, tendo em vista que uma lapidação mal projetada pode danificar o efeito, podendo impactar negativamente em outros fatores como cor e pureza (NEWMAN CARVALHO, 2022).

Especificamente se tratando dos feldspatos, uma das variedades com efeito óptico mais difundida no mercado é a conhecida comercialmente como pedra-da-lua (ortoclásio, variedade adularia) que apresenta potencial para geração de três efeitos ópticos: asterismo, com estrela de quatro pontas; *chatoyance*; e adularescência.



5. METODOLOGIA APLICADA

Com intuito de verificar o potencial desses cristais de apresentarem efeitos ópticos, foi realizada a caracterização macro- e microscópica dos minerais em estado bruto e após lapidados, incluindo suas propriedades químicas, físicas e estruturais externas e internas. Os procedimentos foram registrados em fotografias e anotações para utilização no trabalho.

As amostras em estado bruto foram caracterizadas, macroscopicamente, seguindo as técnicas, materiais e ordem de realização elencadas na Tabela 2.

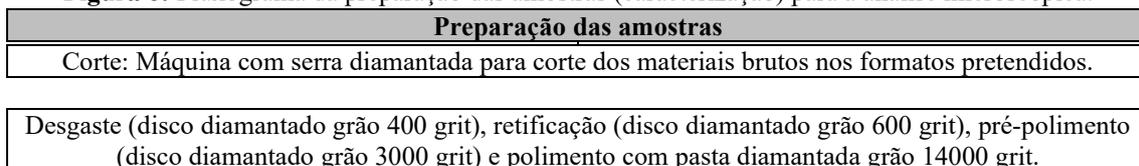
Tabela 2: Etapas da caracterização das amostras em estado bruto.

Análises a serem realizadas em mostras em estado bruto		
Análise (ordem)	Propriedade:	Técnicas, materiais e aspectos considerados:
1	Hábito	Vista desarmada (formato e simetria)
2	Estrutura	Vista desarmada (clivagens, fraturas e outras descontinuidades com, por exemplo, partições)
3	Cor	Vista desarmada/Lupa 10x (cor predominante)
4	Cor do traço	Placa de cerâmica (Placa de traço: risca-se a placa com mineral e observa-se a cor do traço deixado)
5	Diafaneidade	Vista desarmada (Retroiluminação com lanterna de luz branca)
6	Dureza	Escala de Mohs (Dureza relativa)
7	Densidade	Balança com kit hidrostático conforme calculado por (B.W Anderson, 1980, p. 76) pesagem e cálculo da densidade conforme a 1
8	Tenacidade	Resistência apresentada pelo mineral a pressões mecânicas

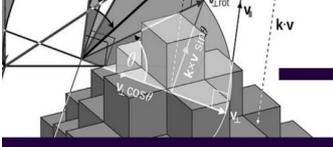
Fonte: Autoria própria (2023).

Para as demais análises realizadas no estudo, foram produzidas placas com cortes paralelos às direções (001), (010), (-201) para cada uma das cores de fundo apresentadas pelos cristais de feldspato para análise de inclusões nos microscópios petrográfico e de imersão e para as análises na Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV com espectroscopia por energia dispersiva de raios/x – EDS, com o objetivo de guiar a orientação cristalográfica para a lapidação com o auxílio da microscopia. Para a preparação, foram utilizados os laboratórios de pré-lapidação e lapidação (realização dos cortes e polimento) e petrografia (análise das orientações) do curso de Gemologia da UFES, com os equipamentos e materiais especificados no fluxograma da figura 6.

Figura 6: Fluxograma da preparação das amostras (caracterização) para a análise microscópica.



Fonte: Autoria própria (2023).



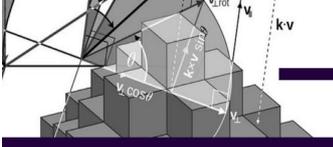
Com o uso de um microscópio petrográfico do Laboratório de microscopia e um microscópio de imersão do Laboratório de Identificação e Caracterização de Gemas do Curso de Gemologia da UFES, foram realizadas análises para reconhecimento e orientação de estruturas (inclusões, lamelas de exsolução) capazes de gerar efeitos ópticos bem como de feições que auxiliassem na caracterização dos minerais estudados.

Com o auxílio do Laboratório de Ultraestrutura Celular Carlos Alberto Redins – LUCCAR, foi possível utilizar um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) para realizar análise por microscopia eletrônica de varredura e por espectroscopia por energia dispersiva de raios/x (Eds) e conjuntamente obter o mapeamento dos elementos na estrutura da amostra (Mapping). As amostras utilizadas nas análises petrográfica e por imersão, foram submetidas a uma metalização com uma fina cama de ouro em um metalizador Denton Vacuum para que pudessem passar pelo MEV e possibilitar a geração do *mapping* (imagem de distribuição dos elementos na área analisada) e do espectro apresentado em formato de gráfico (cps/eV x keV) com a análise semiquantitativa dos elementos presentes na amostra. É importante observar que em todos os espectros há dois picos Au (10 cps/eV; 2,1 keV) e Au (2 cps/eV; 9,8 keV) relacionados à metalização das amostras.

As análises foram feitas em 03 (três) direções de corte coincidentes com as duas direções de clivagem (001) e (010) e com planos de partição (-201) para cada uma das 04 (quatro) cores de fundo encontradas na ocorrência (incolor, cinza, marrom e pêssego). As amostras foram identificadas conforme as cores de fundo encontradas em ordem crescente para os planos citados. Como exemplos tem-se a denominação “C001” para a amostra com cor de fundo Cinza no plano de corte (001), “C002” para a amostra com a mesma cor de fundo no plano de corte (010) e “C003” para a mesma cor de fundo e o plano (-201).

Na sequência, os dados foram tratados (médias de teores foram feitas para amostras de uma mesma cor de fundo) e interpretados para apresentação junto aos obtidos com a caracterização feita a partir das amostras lapidadas em formato cabochão na denominada marcha analítica que se configura em um método de apuração de dados gemológicos ao qual as amostras são submetidas.

Dito isto, faz-se uma breve descrição das etapas de tomada de dados fazendo uso, para tanto, do Laboratório de caracterização e identificação do curso de gemologia da UFES. Os equipamentos utilizados bem como as feições, características e parâmetro observados nas etapas de tomada de dados estão elencados na sequência. Refratômetro (Marca: *Gem*



Refractometer; Modelo: RHG-181): leitura do índice de refração para identificação e cálculo da birrefringência; Balança hidrostática (Marca: Bel Engineering, Modelo: MW223): pesagem das amostras para obtenção do peso específico; Polariscópio e Dicroscópio (Marca: FABLE. Modelo: *Table* FTP49): verificação do caráter óptico dos minerais; Lupa binocular: análise de defeitos microscópios externos; Câmara de luz (com luz branca e amarela): averiguar se as amostras apresentam dicroísmo, tricoísmo e observação do comportamento das amostras ao serem expostas a luz, possibilitando a averiguação dos efeitos que se pretende produzir; Câmara UV: averiguar se o material possui fluorescência; Microscópio de imersão: para auxiliar na identificação e orientação das inclusões potencialmente geradoras de efeitos ópticos.

Após a discussão de todos os resultados, foi feita uma análise crítica com orientações acerca dos tipos de efeitos ópticos passíveis de geração, das técnicas de lapidação a serem adotadas e do posicionamento das estruturas encontradas nos cristais em relação aos formatos de lapidação mais adequados ou comumente realizados em casos similares.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise macroscópica foram caracterizadas 10 amostras em estado bruto e, com base nos resultados expostos na tabela 3, é possível caracterizar os minerais como pertencentes ao grupo dos feldspatos, no subgrupo dos feldspatos alcalinos com as cores predominantes de fundo pêssego, cinza, incolor e marrom (Figura 7).

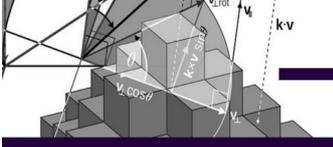
Figura 7: Imagem das cores de fundo.



Fonte: Autoria própria (2023).

Os dados levantados na marcha analítica corroboram a caracterização feita na análise macroscópica indicando que as amostras estudadas trata-se de feldspatos potássicos e permitem sugerir o ortoclásio como provável variedade, uma vez que os índices de refração obtidos foram, em média, de 1,515 – 1,530 e que os cristais apresentam o acatassolamento característico provocado por lamelas de exsolução presentes na variedade adulária. Os cristais se mostraram inertes à luz ultravioleta e ao serem analisados no Polariscópio.

Embora sejam necessários estudos mais aprofundados acerca da gênese e das propriedades ópticas dos minerais em lâmina delgada e em análises químicas quantitativas para diagnosticar com precisão, os resultados das análises químicas semiquantitativas com o



Mapping no MEV com Eds mostram claramente os contornos das lamelas de exsolução e permitem classificá-las como pertitas.

Tabela 3: Resultados obtidos a partir da análise macroscópica em ordem de realização.

Resultados das Análises realizadas em amostras em estado bruto e características		
Análise (ordem)	Propriedade:	Resultados obtidos:
1	Hábito	Prismático (formato e simetria)
2	Estrutura	Todas as amostras apresentaram fraturas e clivagem em 3 (três) direções diferentes, sendo uma boa na direção (001), uma perfeita nas direções (010) e uma partição (-201).
3	Cor	Pêssego, cinza, incolor, marrom (cor predominante marrom) e apresentando dicroísmo e tricoísmo (variação das cores mencionadas anteriormente, dentro de um mesmo cristal)
4	Cor do traço	Branco
5	Diafaneidade	Transparentes as translúcidas
6	Dureza relativa Mohs	6 a 6,5
7	Densidade	Variação entre 2,56 e 2,59
8	Tenacidade	Quebradiça, com quebra em romboedros em função das interseções entre as clivagens e os planos de partição

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A classificação como pertita se deve à presença do elemento Na e a ausência do elemento Ca nos resultados das análises (Tabela 4).

Na microscopia óptica (petrografia e imersão) foi possível verificar as lamelas de exsolução em traços com larguras de cerca de 5 micrômetros, orientadas segundo uma direção preferencial, como pode ser visto na figura 8. Essas lamelas de exsolução foram encontradas na maioria das amostras independentemente da cor de fundo.

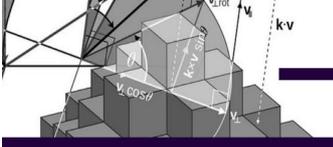
Figura 8: Lamelas de exsolução ou pertitas orientadas segundo uma direção preferencial.



Legenda: Pequenos traços refletindo a luz no microscópio petrográfico com arranjo em luz refletida e aumento de 2000 vezes. A imagem apresenta, em branco, as direções dos planos de clivagem (001) e (010) e da partição (-201) encontradas nos fragmentos minerais.

Fonte: Autoria própria (2023).

Com base nos indícios gerados pela análise macroscópica e corroborados pelas análises no microscópio petrográfico, foram analisados os resultados da microscopia eletrônica de varredura em amostras cristalograficamente orientadas com cortes paralelos às direções de



clivagem (001) e (010), além da partição (-201). Dado o objetivo do trabalho, os resultados apresentados pelo MEV com Eds e o *Mapping* foram tratados de modo a verificar a presença de lamelas de exsolução que justificassem o efeito macroscópico percebido.

Os elementos e os teores apresentados na tabela 4 acenam para uma compatibilidade com aqueles presentes em cristais de feldspatos alcalinos, mas não permite afirmar a qual variedades o grupo de amostras corresponde, sendo necessários estudos mais aprofundados para classificação. Informações encontradas na literatura citam, inclusive, que os cristais podem variar composicionalmente ao ponto de compor partes de um único cristal contendo regiões com microclínio, com ortoclásio e outros (Consultar M. R. Lee, 2014). Entretanto, ao considerar as medidas de densidade obtidas nas amostras (densidade = 2,56 a 2,59), é possível descartar a sanidina (densidade = 2,52) como possibilidade.

Tabela 4: Resultados obtidos a partir da análise química semiquantitativa MEV/Eds em porcentagem do peso.

Elemento/ Cor de fundo	Cinza (%)	Incolor (%)	Marrom (%)	Pêssego (%)	Ortoclásio (%)	Anortoclásio (%)	Microclínio (%)	Sanidina (%)
Si	39,83	42,49	41,51	39,77	30,27	31,65	30,27	30,72
O	30,07	28,02	29,02	31,32	45,99	48,07	45,99	46,66
K	15,30	15,68	15,75	14,52	14,05	3,67	14,05	10,69
Al	12,41	11,86	11,35	11,36	9,69	10,13	9,69	9,84
Na	2,24	1,94	2,38	3,03	-	6,48	-	2,10
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

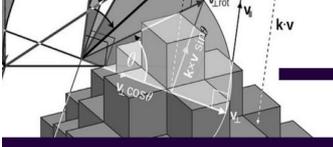
Legenda: Valores médios calculados com base nas 3 (três) amostras de cada cor de fundo; Ortoclásio (WEBMINERAL, 2023a); Anortoclásio (WEBMINERAL, 2023b); Microclínio (WEBMINERAL, 2023c); Sanidina (WEBMINERAL, 2023d).

Fonte: A autoria própria (2023).

Ao analisar a média dos teores apresentados para os elementos no MEV/Eds, foi possível verificar que as amostras estudadas apresentam a mesma composição química e grande similaridade em termos de teores. É importante salientar que as causas de cor não são objeto de estudo desse trabalho e que são necessárias análises mais específicas e técnicas quantitativas mais sensíveis para realizar a identificação de elementos cromóforos, por exemplo. A ausência do elemento Ca nos resultados das análises permite afirmar que a variedade de plagioclásio presente nas lamelas de exsolução é a Albita por apresentar apenas Na em sua composição.

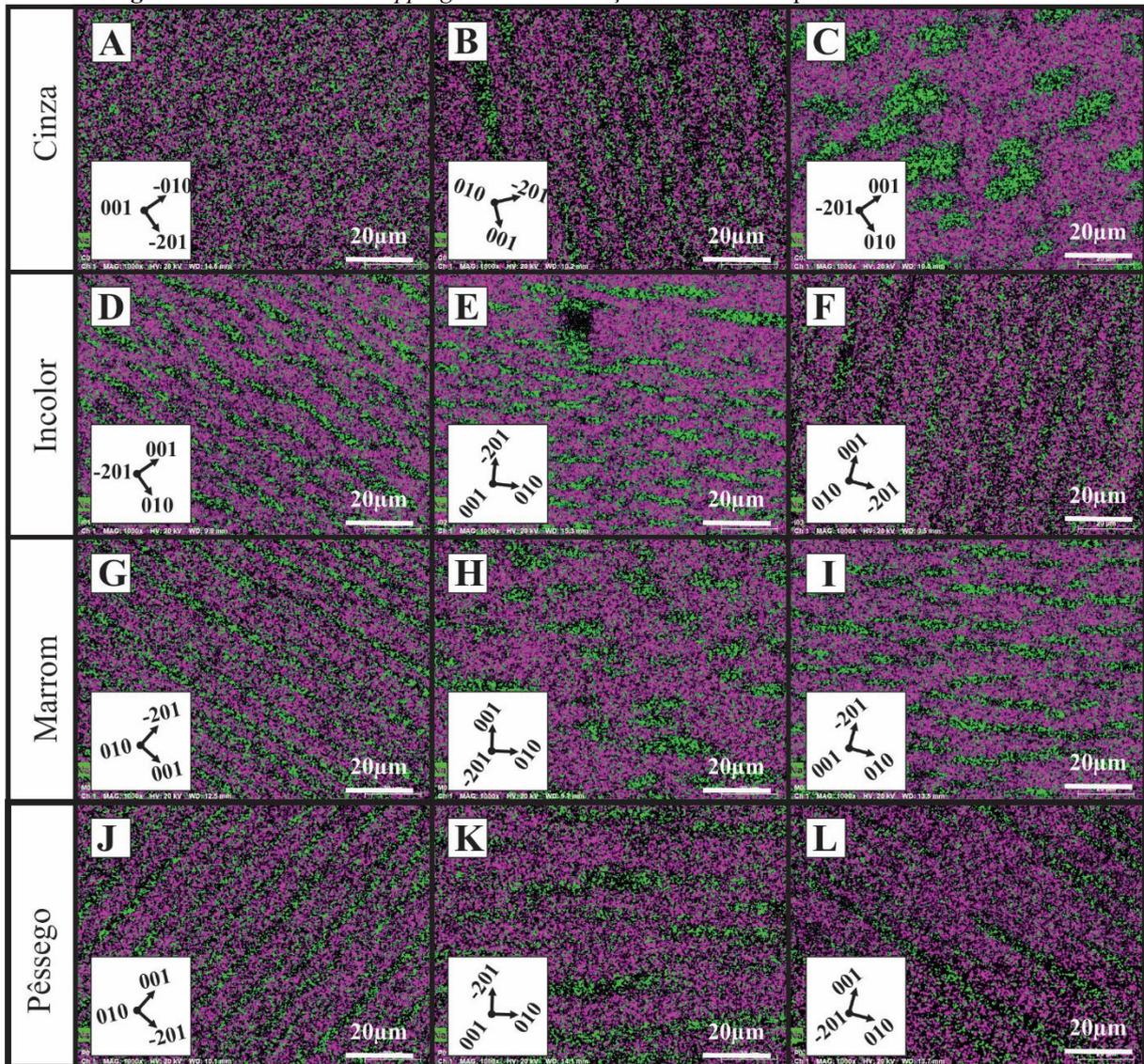
Nas imagens obtidas no *Mapping* foi possível observar a distribuição espacial dos elementos em cada um dos cortes feitos para cada uma das cores de fundo encontradas. A figura 9 mostra, em verde, a distribuição do elemento Na e, em rosa, a distribuição do elemento K.

A sobreposição dos canais na figura 9 permite observar que o K compõe a maior parte das amostras e que as estruturas formadas pela distribuição do Na em verde são as lamelas de



exsolução. Isso permite classificá-las como peritas, uma vez que são formadas de albite e estão inseridas em um cristal de feldspato potássico. É importante frisar, ainda, que as amostras possuem Na disseminado na estrutura dos cristais de K-feldspato e que as porcentagens apresentadas dos teores desse elemento nos resultados do Eds também contemplam essas ocorrências.

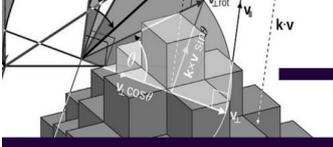
Figura 9: Resultados do *Mapping* com a distribuição do K e do Na para amostras estudadas.



Legenda: Cor rosa = Potássio; Cor verde = Sódio; Cor preta = Silício + Oxigênio + Alumínio; **A, B e C)** Amostras com cor de fundo cinza para os cortes 001, 010 e -201, respectivamente; **D, E e F)** Amostras com cor de fundo incolor para os cortes 010, -201 e -001, respectivamente; **G, H e I)** Amostras com cor de fundo marrom para os cortes 010, -201 e -001, respectivamente; **J, K e L)** Amostras com cor de fundo pêssego para os cortes 010, 001 e -201, respectivamente.

Fonte: Autoria própria (2023).

Na figura 9 é possível observar, ainda, que as imagens mostram estruturas (peritas) organizadas segundo uma direção principal que pode coincidir com as direções e que, corretamente posicionadas, podem gerar o efeito denominado acatassolamento.



Na figura 9 é possível observar que todas as direções de corte apresentam potencial para desenvolvimento do acatassolamento pela simples existência da pertitas alongadas e distribuídas de maneira quase uniforme. As pertitas possuem dimensões que vão de 2 (dois) a 20 micrômetros de largura por até 100 micrômetros de comprimento e é importante salientar a possibilidade de que essas variações nas dimensões das pertitas podem fazer com que o efeito se apresente de forma mais ou menos definida no cristal lapidado.

A inexistência de estruturas truncadas ou se interceptando de forma orientada e com ângulos bem definidos entre si permite afirmar que não é possível a geração de asterismo, pois é condição indispensável a existência de, no mínimo, uma segunda estrutura para a geração da estrela a partir da interação das estruturas somada ao formato de lapidação com a luz.

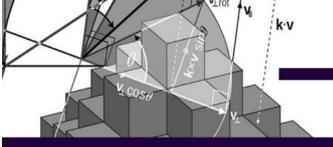
Em relação ao potencial para o desenvolvimento de efeitos ópticos tem-se, então, que não há potencial para desenvolvimento de asterismo, mas há potencial para desenvolvimento do acatassolamento ou chatoyance.

Em uma segunda fase deste estudo, as estruturas deverão ser consideradas nos cortes de fragmentos a serem lapidados a partir da técnica de lapidação em cabochão para verificação da geração dos efeitos bem como da influência das dimensões, do espaçamento e da densidade da ocorrência de pertitas em cada direção para avaliação da qualidade do efeito desenvolvido, considerando, ainda, os formatos a serem utilizados para a lapidação.

7. CONCLUSÃO

Com o tratamento dos dados conclui-se que os cristais de feldspatos da região de Santa Teresa estudados neste artigo possuem potencial para desenvolvimento de efeitos ópticos na lapidação.

Nos resultados das análises macro e microscópica, esses cristais apresentaram feições cristalinas e todas as características que permitem classificá-los como feldspatos do subgrupo dos alcalinos. No entanto os testes efetuados não foram suficientes para afirmar com certeza a qual variedade são pertencentes, sendo possível somente sugerir o ortoclásio como mais provável. O ortoclásio é a variedade a qual as amostras mais se aproximaram em termos de características utilizadas como parâmetro para o diagnóstico, quando os resultados obtidos foram comparados com os dados coletados por Klein e Dutrow (2012). Todavia se fazem necessário estudos mais aprofundados para afirmar com exatidão de qual variedade se trata, como por exemplo, uma análise química quantitativa.



Os resultados obtidos com MEV/Eds, possibilitaram uma melhor percepção das lamelas de exsolução, onde constatou-se que os cristais estudados só apresentam uma fase de exsolução e que, além disso, essas lamelas se apresentam orientadas em uma direção preferencial.

A presença dessas lamelas, demonstra o potencial das amostras de gerarem efeitos ópticos, pois elas são responsáveis pelo brilho sedoso visto a olho nu nas amostras. Este brilho sedoso se caracteriza como o efeito acatassolamento e havendo a presença do acatassolamento é possível também a geração das suas variações, a adularescência e o chatoyance (olho de gato, *Cat's Eye*).

Outro efeito que pode ser gerado com as lamelas de exsolução é o asterismo, no entanto os cristais aqui estudados não são capazes de gerar este efeito óptico, pois para sua geração se faz necessária mais de uma estrutura de exsolução orientada e, ainda, que tais estruturas se cruzem, permitindo a ocorrência da estrela característica. Contudo, as amostras do estudo não apresentam essa segunda estrutura, tornando inviável que o asterismo ocorra.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, B. W. **A identificação das gemas. 7ª ed-** Editora Ao Livro Técnico; traduzido por Rui Ribeiro Franco e Mário del Rey, Rio de Janeiro, 2005.

BANCO DE DADOS DE MINERALOGIA. **Anortoclásio**. Web Mineral. Disponível em: <http://webmineral.com/data/Anorthoclase.shtml>. Acessado em: Jun. 2023.

BANCO DE DADOS DE MINERALOGIA. **Microclínio**. Web Mineral. Disponível em: <http://webmineral.com/data/Microcline.shtml>. Acessado em: Jun. 2023.

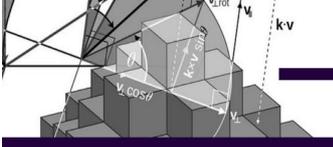
BANCO DE DADOS DE MINERALOGIA. **Ortoclásio**. Web Mineral. Disponível em: <http://webmineral.com/data/Orthoclase.shtml>. Acessado em: Jun. 2023.

BANCO DE DADOS DE MINERALOGIA. **Sanidina**. Web Mineral. Disponível em: <http://webmineral.com/data/Sanidine.shtml>. Acessado em: Jun. 2023.

BOHANNON, S. **Efeitos ópticos de cabochões fenomenais**, Artigo publicado, 10.nov. 2018. Disponível em <https://www.gia.edu/gia-news-research/optical-effectsphenomenal-cabochons>. Acessado em: Fev. 2023.

CARVALHO, D. N. **Disciplina de Avaliação de Gemas e Joias**. Notas de Aulas. Universidade Federal do Espírito Santo, 2022.

CASTAÑEDAS, C. **O Estudo das inclusões**, 1995. p. 66. Monografia. Título de Especialização "*latu sensu*" em Gemologia. Departamento de Geologia das Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Escola de Minas, Ouro Preto-MG, 1995.



DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais Constituintes das Rochas**. Uma Introdução - Editora Fundação *Calouste Gulbenkian* 4ª edição publicada em: Jan. 2010.

ETSY, (N. d.) Disponível em: https://i.etsystatic.com/20129642/r/il/868ab5/5086729711/il_794xN.5086729711_nf9d.jpg. Acessado em: Jun. 2023.

GEM SELECT GROUP. (N. d.) Disponível em: <https://www.gemselect.com/group/gemselect.php>. Acessado em: Jun. 2023.

INKA MINERAIS. (N.d.) Disponível em: <https://inkaminerais.com.br/produtos/labradorita-rosa-37cm/>. Acessado em: Jun. 2023.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de ciência dos minerais - 23ª ed.** Editora Bookman, 2012.

LEE.M. R.; PARSONS, I. Minerals are not just Chemical Compounds. **The Canadian Mineralogist**, vol. 43, pp, dezembro, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/40702489_Minerals_are_not_just_chemical_compounds. Acessado em: Jun. 2023.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Vol. 8, No 3 (2013). Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewArticle/342>. Acessado em: Set. 2022.

NADUR, Â. V. **A lapidação de gemas no panorama brasileiro**. 2009. Dissertação (Mestrado em Mineralogia Experimental e Aplicada) - Instituto de Geociências, University off São Paulo, São Paulo. Disponível em: 10.11606/D.44. 2009.tde05052010-161420. Acessado em: Fev. 2023.

SAAR, L. C. A. **Mapeamento geológico e avaliação do potencial econômico das rochas pegmatíticas da região Várzea Alegre, município de Santa Teresa - ES**. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Geologia) - Universidade Vila Velha (UVV). Vila Velha, 2018.

UNDERSTANDING IRIDESCENCE IN GEMSTONES. Gem-a. (N.d.) Disponível em: <https://gem-a.com/gem-hub/gem-knowledge/illuminating-iridescence-iridescent-gemstones>. Acessado em: Jun. 2023.

VIEIRA, V. S.; MENEZES, R. G. **Geologia e Recursos Minerais do Espírito Santo: Texto explicativo dos mapas geológicos e de recursos minerais do Estado do Espírito Santo**. CPRM, 2018. Disponível em: <https://acrobat.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:0fa3f51a-3083-38ef-9b60-9660c7c4c6dd>>. Acessado em: Jun. 2023