

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GEOQUÍMICA

MINERALOGIA, GEMOLOGIA E POTENCIAL SÓCIOECONÔMICO DOS
CORÍNDONS DA BAHIA

MONICA CORREA

ORIENTADOR - Prof^a. Dr^a. Carla Cristine Porcher

COORIENTADOR - Prof^a. Dr^a. Márcia Boscato Gomes

Porto Alegre - 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GEOQUÍMICA

**MINERALOGIA, GEMOLOGIA E POTENCIAL SÓCIOECONÔMICO DOS
CORÍNDONS DA BAHIA**

MONICA CORREA

ORIENTADOR - Prof^a. Dr^a. Carla Cristine Porcher

COORIENTADOR - Prof^a. Dr^a. Márcia Boscato Gomes

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Edinei Koester

Prof^a. Dr^a. Cristine Lenz

Prof. Dr. Pedro Luiz Juchem

Tese de Doutorado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do
Título de Doutor em Ciências.

Porto Alegre – 2021

CIP - Catalogação na Publicação

Correa, Monica
MINERALOGIA, GEMOLOGIA E POTENCIAL SÓCIOECONÔMICO
DOS CORÍNDONS DA BAHIA / Monica Correa. -- 2021.
125 f.
Orientadora: Carla Porcher.

Coorientadora: Márcia Boscato.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Coríndon. 2. Bahia. 3. Causas de Cor. 4. Mineração Artesanal. 5. Desenvolvimento Sustentável. I. Porcher, Carla, orient. II. Boscato, Márcia, coorient. III. Título.

**Dedico esta tese aos meus amados pais, Edson e Lúcia,
por serem minha base, fonte inesgotável de carinho e inspiração**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a meus amos pais Edson José Correa e Lúcia H. Matozo Correa, por todo amor, incentivo e dedicação; aos meus avós Edwards Matozo e Ruth da Silva Matozo, pelas boas vibrações e energias de sempre.

As minhas incríveis orientadoras Carla Porcher e Márcia Boscato, e a Ruth por todo apoio, dedicação, companheirismo, amizade, confiança e aprendizados diários.

Aos professores Haroldo Sá e Haroldo Misi, e a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral – CBPM, pela parceria para a realização dos trabalhos de campo.

A Secretaria de Desenvolvimento Econômico, por sempre apoiar o meu trabalho; A toda a equipe do Centro Gemológico da Bahia, a “família CGB”.

As equipes dos Laboratórios de Geologia Isotópica e de Microsonda Eletrônica do IGEO-UFRGS, por todo apoio na realização das análises; Aos incansáveis Lucas Jantsch, Rafael Hofmann, Susan Drago, e Lucas do Laboratório de Laminação e Polimento, por todo empenho, esforço e dedicação na preparação das amostras.

A Vivi, Laila, Da. Clara e Lauro, minha família Porto Alegrense, por todo carinho, cuidado e acolhimento. Amo vocês!

A minha grande amiga Cris, por sempre acreditar no meu trabalho, não me deixar desistir, e me fazer recomeçar mesmo quando achei que tudo estava perdido.

Aos meus grandes amigos Ingrid Negrão, Manuela Maia, Tiago Ximenes, Takaki Oda e Marcel Leão, por estarem sempre presentes.

Ao meu amado Mestre Rainer Aloiz pela presença incansável, mesmo a distancia.

A equipe do PPGGEO e aos funcionários do Instituto de Geociências da UFRGS. Ao artesão mineral Adãoilson Martis e ao Intrutor de lapidação Mairton Ieso, por toda a ajuda na confecção das esculturas e peças de adorno.

A Agnaldo e Floriano, integrantes da Cooperativa Mista de Agropecuária e Mineração de Brejinho das Ametistas, e a Fernando de Jacobina

Ao meu anjo da guarda e aos bons espíritos que sempre me acompanham, a força vinda das águas de Yemanjá, e ao potencial gemológico da Bahia, que inspira meus estudos.

Se você pode Sonhar, você pode Realizar!

Walt Disney

RESUMO

O território baiano possui associações geológicas altamente favoráveis à formação de depósitos de coríndon, quando comparados com alguns dos principais distritos produtores deste mineral no mundo. Na Bahia são conhecidas há muitos anos, diversas ocorrências desse mineral, mas muito pouco ainda se sabia sobre elas. Dentre essas ocorrências, as mais expressivas são as das regiões de Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Piritiba. As ocorrências foram caracterizadas em termos geológicos, petrográficos e mineralógicos, que permitiram avançar na compreensão dos tipos de mineralizações do coríndon na Bahia. Essas ocorrências também foram caracterizadas em termos de química mineral, com o objetivo de identificar os elementos cromóforos e interpretar as variedades e causas de cor presente nos coríndons. A caracterização dessas ocorrências permitiu o desenvolvimento de estudos a respeito do potencial socioeconômico das variedades do coríndon, em suas respectivas regiões produtoras, através da realização de um estudo de caso, com aplicação de técnicas de beneficiamento como polimento, lapidação e confecção de peças de artesanato mineral, em busca de encontrar um melhor aproveitamento e valorização dos coríndons, e desenvolver as regiões produtoras de gema no Estado. As peças de adorno e artesanato mineral obtidas como resultado deste trabalho, atreladas à simples técnicas de beneficiamento, apresentaram potencial para aproveitamento comercial, e a promoção do desenvolvimento social local, se tornando uma alternativa de fonte de renda, e como ferramenta de fomento para políticas públicas, vinculadas à mineração artesanal do coríndon na Bahia.

Abstract

Bahia has geological associations highly favorable to the formation of corundum's deposits, when compared with some of the main producing districts of this mineral in the world. For many years, several occurrences of this mineral have been known in Bahia, but still, there is very little knowledge about them. Among these occurrences, the most significant are those from the regions of Uauá, Capelo do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba. The occurrences were characterized in geological, petrographic, and mineralogical terms, which allowed advancing in the comprehension of the types of mineralization of corundum in Bahia. These occurrences were also characterized in terms of mineral chemistry, in order to identify the chromophore elements and interpretate the varieties and causes of color present in corundum. The characterization of these occurrences allowed the development of studies on the socioeconomic potential of the varieties of corundum in their respective producing regions, through the conduction of a case study, applying techniques of processing such as polishing, lapidary, and making pieces of mineral handicraft, in search for a better way of utilization and appreciation of corundum, and for the development of the gemstones' producing regions in the State. Adornment pieces and artisanal mining obtained as a result of this study, harnessed to simple processing techniques, have shown potential for commercial use, and for the promotion of local social development, becoming an alternative source of income, and as a tool for promoting public policies, linked to artisanal mining of corundum in Bahia.

Lista de Figuras

Fig. 1: ODS da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Os ODS em que a mineração artesanal tem potencial de contribuir positivamente estão circulados em vermelho (Modificado de UNDP 2016)	15
Fig. 2: Mapa de localização das ocorrências de coríndon estudadas (Modificado de Sá, 2012)	16
Fig. 3: Aspecto geral do afloramento, observado no trabalho de campo realizado na região de Mundo Novo/Piritiba	18
Fig. 4: Cristal de coríndon fraturado, da região de Capela do Alto Alegre, ao microscópio óptico em polarizadores cruzados	18
Fig. 5: Laboratório de análises do Centro Gemológico da Bahia	19
Fig. 6: Microscópio eletrônico de varredura do Laboratório de Geologia Isotópica, IGEO-UFRGS	20
Fig. 7: Microsonda <i>Cameca SXFive</i> do Laboratório de Microsonda Eletrônica, IGEO-UFRGS	21
Fig. 8: Espectrômetro Raman do Laboratório de Microanálise do Instituto de Física da UFRGS	21
Fig. 9: Sala de aula de lapidação, da Escola de Joalheria do Centro Gemológico da Bahia	22
Fig. 10: Oficina de artesanato mineral da Associação dos Artesões Minerais do município de Campo Formoso/BA	23
Fig. 11: Estrutura cristalina do coríndon. Fonte: Modificado de Klein & Hurlbut (2002)	25
Fig. 12: Ocorrências de coríndon e suas variedades gemológicas rubi e safira no mundo Modificado de Nechaev (2004)	27
Fig. 13: Classificação para os depósitos de coríndon. Modificado de Simonet et al (2008)	28
Fig. 14: Diagrama P–T apresentando o campo de estabilidade de aluminossilicatos. O campo destacado está relacionado ao domínio para a formação do coríndon e as áreas em cinza indicam as condições de estabilidade do coríndon estudados nos seguintes depósitos: 1 - rubis Mong Hsu; 2 - rubis em mármore de Ural; 3 - safiras de Caxemira (várias gerações identificadas por inclusões fluidas); 4 - rubis metassomático da Greenland; 5 - safiras do Sri Lanka; 6 - rubis em mármore no Paquistão; 7 - rubis metassomáticos do norte do Quênia; 8 - coríndon em anatexitos de Morogoro, Madagascar; 9 - rubis em granulitos máficos, Carolina do Norte; 10 - rubis metassomáticos do sul do Quênia, Fonte: Simonet et al (2008)	30
Fig. 15: Gráfico indicando as condições de pressão e temperatura para a formação do coríndon a partir de hidróxido de alumínio (diásporo) ou da moscovita. Fonte: Modificado de Levinson & Cook (1994)	31
Fig. 16: Mapa de localização. Fonte: Modificado de Almeida (1977) e Cruz & Alkmim (2006)	38
Fig. 17: Extração artesanal de gemas realizada na região de Uauá	41
Fig. 18: Realidade do agreste baiano, nos arredores do município de Mundo Novo/Piritiba	42
Fig. 19: Adãoilson Martins, artesão mineral, na oficina de artesanato em Campo Formoso/BA e Mairton Ieso, instrutor de lapidação, lapidando um coríndon, na Escola de Joalheria do Centro Gemológico da Bahia	42
Fig. 20: Gráfico de separação de coríndon de origem metamórfica e magmática, com base na variação do conteúdo de Fe (ppm) x Razão Ga/Mg. Modificado de Sutherland et al., (2015)	108

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Localização da Área de Estudo	16
1.2	Metodologia	16
2.	TIPOLOGIA, FORMAS DE OCORRÊNCIAS E POTENCIAL ECONÔMICO DO CORÍNDON	25
2.1	Mineralogia do Coríndon	25
2.2	Classificação dos Depósitos de Coríndon	26
2.2.1	Depósitos Magmáticos	28
2.2.2	Depósitos Metamórficos	29
2.2.3	Depósitos Sedimentares	37
2.3	Coríndon na Bahia	38
2.4	Exploração e Potencial Socioeconômico do Coríndon	41
3.	GEOLOGY, PETROGRAPHY, AND MINERALOGY OF CORUNDUM OCCURRENCES IN BAHIA, BRAZIL	45
4.	CORUNDUM FROM BAHIA/BRAZIL: MINERAL CHEMISTRY AND CAUSES OF COLOR	63
5.	SOCIOECONOMIC POTENTIAL OF CORUNDUM FROM BAHIA/BRAZIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN ARTISANAL MINING	91
6.	DISCUSSÃO	108
6.1	Tipos das Ocorrências	108
6.2	Aspectos Mineralógicos, Gemológicos e Causas de Cor	110
6.3	Inovação no Segmento de Gemas e Joias e o Potencial Socioeconômico	112
7.	CONCLUSÃO	115
8.	REFERÊNCIAS	119

Sobre a Estrutura desta Tese:

Esta tese de Doutorado está estruturada e desenvolvida em torno de artigos submetidos em periódicos científicos. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

I) Capítulo 1 – Introdução sobre o tema, descrição do objeto da pesquisa de doutorado, localização da área de estudo e as metodologias de pesquisa desenvolvidas.

II) Capítulo 2 – Estado da arte sobre o tem abordado: coríndons da Bahia.

III) Capítulos 3 e 4– Artigos escritos pelo autor durante o desenvolvimento de seu Doutorado:

- *Geology, petrography, and mineralogy of corundum occurrences in Bahia, Brazil*
- *Corundum from Bahia/Brazil: Mineral chemistry and causes of color*
- *Socioeconomic potential of corundum from Bahia/Brazil for sustainable development in artisanal mining*

IV) Capítulo 5 – Integração dos artigos na forma de discussões.

V) Capítulo 6 – Conclusões sobre os temas abordados na tese de doutorado.

VI) Capítulo 7 – Referências.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

O estado da Bahia é o quarto maior produtor de gemas do país, mas muito pouco se conhece sobre seu patrimônio mineral, e poucos foram os estudos que abordaram os aspectos geológicos e gemológicos das principais ocorrências de coríndon do território baiano. Muito pouco se conhece sobre as ocorrências de coríndon no Brasil e o entendimento dos processos geológicos envolvidos na formação dos depósitos em questão representa um passo significativo para o planejamento de pesquisas e investimentos na área de recursos minerais do Estado.

O território baiano possui terrenos com características geológicas altamente favoráveis à formação de depósitos economicamente viáveis de coríndon, se comparados com alguns dos principais depósitos produtores do mundo.

As ocorrências de coríndon no estado da Bahia apresentam potencial para presença de material gemológico, mas muito pouco se conhecia sobre a gênese dessas ocorrências. Existem várias possibilidades genéticas e a definição dos mecanismos responsáveis pela formação do coríndon, através de estudos de petrografia, mineralogia e química mineral foram fundamentais para melhor compreensão dos coríndons em questão.

A exploração dos depósitos de coríndon na Bahia é realizada na forma de garimpagem artesanal, com a predominância da informalidade. Os municípios produtores de gemas do Estado apresentam baixo desenvolvimento social, sustentados em sua maioria, por uma economia de subsistência.

Em vários países, a mineração artesanal tem sido proposta como uma estratégia viável para promover o desenvolvimento local (Hilson (2003); Siegel e Veiga (2009); Hilson e Maconachie (2020)). Práticas e políticas adequadas tem desencadeado inovação com efeitos positivos no desempenho da mineração artesanal no setor de gemas, com algumas melhorias nas condições econômicas, sociais e ambientais locais (Puppim de Oliveira e Ali (2011); Milanez e Puppim de Oliveira (2013)). A mineração artesanal, como um agente de desenvolvimento sustentável, pode se tornar uma alternativa para a elaboração de políticas públicas vinculadas a extração de gemas na Bahia.

As gemas lapidadas, peças de adorno, esculturas de artesanato mineral e minerais de coleção obtidos como resultado de estudos de técnicas de beneficiamento nos coríndons, realizados no capítulo 5, apresentaram potencial para aproveitamento

comercial, e desenvolvimento social local, se tornando uma alternativa de fonte de renda, e um diferencial importante para o melhor aproveitamento das gemas. Essas técnicas de beneficiamento foram realizadas com o apoio da Escola de Jolaheria do Centro Gemológico da Bahia e da Oficina de Artesanto Mineral pertencente à Associação dos Artesões Minerais do município de Campo Formoso/BA.

O desenvolvimento de núcleos de artesanato mineral e lapidação podem ajudar a lançar luz sobre as políticas para melhorar os benefícios locais da mineração de gemas, organizando os garimpeiros em associações e cooperativas para permitir investimentos e parcerias públicas e privadas, que tragam benefícios para a região (Teixeira e Lima, 2004).

A presente tese corresponde à síntese dos estudos realizados durante o doutorado no programa de pós graduação em geociências na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e visou caracterizar as ocorrências de coríndon na Bahia, em termos geológicos, petrográficos, mineralógicos, e de química mineral com o objetivo de interpretar a gênese da mineralização e compreender o potencial socioeconômico das variedades do coríndon da Bahia, das regiões de Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Piritiba, através da realização de experimentos de técnicas de beneficiamento como polimento, lapidação e confecção de peças de artesanato mineral, para melhor aproveitamento e valorização dos coríndons estudados. Essas técnicas podem ser desenvolvidas junto às comunidades locais, como ferramenta de fomento para políticas públicas de desenvolvimento regional, em acordo com a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas.

A mineração artesanal tem oportunidade e potencial de contribuir positivamente com diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (Fig. 1). São eles:

ODS1 - Acabar com a pobreza. A mineração pode impactar significativamente nas comunidades locais, trazendo oportunidades econômicas, meios de subsistência e direitos humanos;

ODS6 - Água Limpa e Saneamento. O desenvolvimento da mineração gera recursos ao município, que podem ser destinados à infraestrutura e saneamento;

ODS7 - Acesso à Energia e Sustentabilidade. O desenvolvimento sustentável da mineração artesanal pode evitar e ajudar a mitigar impactos ambientais;

ODS8 - Trabalho decente e crescimento econômico. A mineração pode gerar novas oportunidades econômicas para os cidadãos e membros das comunidades locais, incluindo empregos, treinamento e desenvolvimento de negócios;

ODS9 - Infraestrutura, Inovação e Industrialização. A mineração pode ter um impacto local, no desenvolvimento econômico e no crescimento de infraestrutura, e oportunidades de força de trabalho e inovação;

ODS10 - Desigualdades reduzidas. A mineração pode gerar receitas significativas para desenvolvimento econômico e social, além de oportunidades de empregos e negócios locais;

ODS12 – Consumo responsável e produção. A mineração pode ajudar a impulsionar o desenvolvimento responsável e diversificação por meio de benefícios econômicos diretos e indiretos, estimulando a construção de novas infraestruturas para a região;

ODS16 - Paz, Justiça e Instituições Fortes. A mineração pode contribuir para sociedades pacíficas, evitando e corrigindo conflitos entre a comunidade, e apoiando a tomada de decisão representativa das comunidades no extrativismo mineral.



Fig. 1: ODS da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Os ODS em que a mineração artesanal tem potencial de contribuir positivamente estão circundados em vermelho (Modificado de UNDP 2016).

1.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo compreendeu as principais ocorrências de coríndon conhecidas no estado da Bahia, as quais apresentaram um possível potencial econômico, sendo elas as ocorrências das regiões de Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Piritiba (Fig. 2).



Fig. 2: Mapa de localização das ocorrências de coríndon estudadas (Modificado de Sá, 2012).

1.2 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos foi necessário a utilização de diversos métodos, descritos a seguir:

- Revisão Bibliográfica

Esta etapa incluiu o levantamento e a obtenção de dados teóricos e bibliográficos das ocorrências de coríndon, no Estado da Bahia, com destaque para as localidades de Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Piritiba.

Incluiu também a elaboração de uma síntese de dados, informações e conhecimentos sobre a geologia das regiões estudadas.

Para tanto foi utilizado o acervo da biblioteca da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e os sistemas de buscas de dados, fornecidos pelo Sistema Integrado de Bibliotecas, incluindo as bases de dados DEDALUS, SciELO, ERL, ProBE e *Web of Science* e pelo Portal CAPES.

- Levantamento Geológico

Foram realizados trabalhos de campo nas localidades citadas anteriormente, para mapeamento e coleta de amostras (Fig. 3). Foram também buscadas, em função dos critérios geológicos observados, novas ocorrências de coríndon para estudo.

As mineralizações foram descritas quanto ao modo de ocorrência, a paragênese mineral associada, rochas encaixantes, e o ambiente geológico envolvente.

As amostras foram coletadas em pontos estratégicos, de forma representativa, das rochas encaixantes, e dos coríndons em cada um dos depósitos visitados, de modo a viabilizar a realização de análises petrográficas e caracterização mineralógica do coríndon de cada mineralização.

Os cristais de coríndon foram classificados macroscopicamente de acordo com seu tipo, textura, hábito, forma, tamanho, cor, zoneamento de cor, transparência, presença ou não de inclusões.



Fig. 3: Aspecto geral do afloramento, observado no trabalho de campo realizado na região de Mundo Novo/Piritiba.

- Petrografia

O estudo petrográfico das amostras coletadas em campo visou a caracterização mineralógica, as feições texturais, microestruturais, e a determinação da mineralogia, a relação dos minerais das rochas mineralizadas e das encaixantes (Fig. 4). Para viabilizar este estudo, foram confeccionadas lâminas petrográficas das amostras coletadas em campo. As lâminas foram descritas em microscópio petrográfico Zeiss.

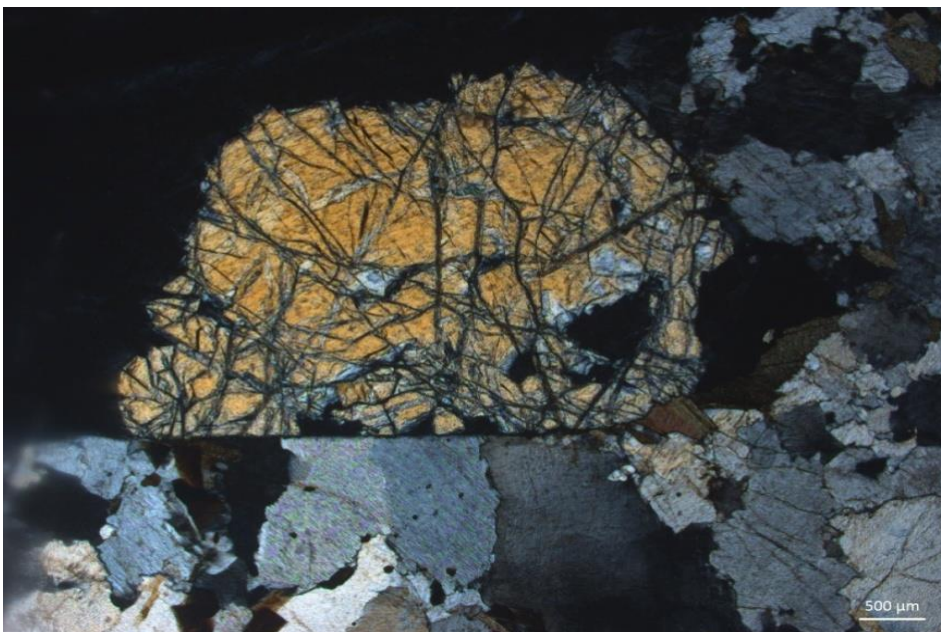


Fig. 4: Cristal de corindon fraturado, da região de Capela do Alto Alegre, ao microscópio óptico em polarizadores cruzados.

- Análises Gemológicas

Os cristais de coríndon de cada uma das ocorrências foram analisados para a caracterização mineralógica e gemológica, com o auxílio de equipamentos como refratômetro, balança hidrostática, câmara fluorescente e microscópio gemológico. Com o uso do refratômetro foi possível obter o índice de refração e a birrefringência, e a balança hidrostática forneceu o peso específico de cada amostra analisada. Com a câmara fluorescente foi possível observar a fluorescência dos coríndons, e o microscópio gemológico permitiu a classificação das amostras, de acordo com seu tipo, textura, hábito, forma, tamanho, cor, zoneamento de cor, transparência, efeitos ópticos, e presença ou não de inclusões. Todas as análises dos coríndons foram realizadas no laboratório do Centro Gemológico da Bahia. Os equipamentos utilizados para a realização das análises são da marca Krüss (Fig.5).



Fig. 5: Laboratório de análises do Centro Gemológico da Bahia

- Microscopia Eletrônica de Varredura

Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura foram realizadas com a finalidade de obtenção de informações de texturas, distribuição dos elementos e identificação de inclusões presentes nos cristais de coríndon estudados. Para a realização destas análises, foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura JEOL-6610LV com detector Bruker XFLASH 5030 EDS do Laboratório de Geologia Isotópica do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica do Instituto de Geociências, da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Fig. 6). As imagens por elétrons retroespalhados e análises EDS (*energy dispersive spectroscopy*) foram realizadas em condições analíticas de 15 kV de tensão de aceleração. A calibração do detector de EDS foi feita com padrão de Cu, com erros analíticos típicos em torno de 3 a 5%.

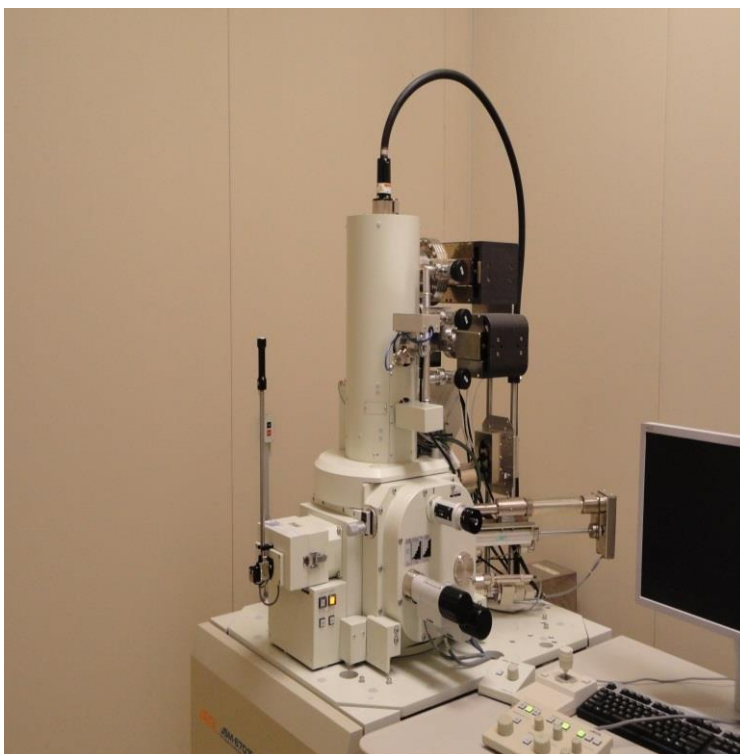


Fig. 6: Microscópio eletrônico de varredura do Laboratório de Geologia Isotópica, IGEO-UFRGS.

- **Microsonda Eletrônica**

A Microsonda Eletrônica foi utilizada para quantificar os elementos químicos presentes nos cristais de coríndon estudados. Os objetivos dessas análises foram: quantificar a química mineral associada a zoneamentos de cor, verificar a presença de fases hidratadas e de material policristalino em planos de geminação. Foi utilizado a microsonda eletrônica Cameca SXFive do Laboratório de Microsonda Eletrônica, vinculado ao Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Fig.7).

As condições analíticas foram: tensão de 15 kV, corrente de 15 a 20 nA e diâmetro de feixe de 1 a 5 μm . As análises foram executadas em WDS (*wavelength dispersive spectroscopy*) com cristais TAP, LLIF e LPET. Os elementos analisados e os padrões utilizados foram, respectivamente, os seguintes: Si-wollastonita, Ti-rutilo, Al-

corindon, Cr-cromita, Fe-hematita, Mg-periclásio, Mn-rodonita, Ca-wollastonita, Na-albita, Zn-willemita, V-vanádio metal, Ga-arsenieto de gálio sintético.



Fig. 7: Microsonda *Cameca SXFive* do Laboratório de Microsonda Eletrônica, IGEO-UFRGS.

- Espectroscopia Raman

Análises de Espectroscopia Raman nos coríndons visaram identificar fases hidratadas e produtos de alteração associados a esse mineral, e foram realizadas utilizando um espectrômetro Raman de bancada equipado com laser de comprimento de onda de 632,8 nm, espectrômetro Acton Research, microscópio Zeiss e câmera CCD Princeton, instalados no Laboratório de Microanálise do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Fig.8). Os espectros foram previamente calibrados com um padrão de diamante (pico em 1332 cm^{-1}). Os espectros foram obtidos na faixa de 200 cm^{-1} a 1800 cm^{-1} .



Fig. 8: espectrômetro Raman do Laboratório de Microanálise do Instituto de Física da UFRGS.

- Técnicas de Beneficiamento

Como alternativa de beneficiamento, melhor aproveitamento e valorização dos coríndons da Bahia, foram utilizadas técnicas de lapidação, polimentos e artesanato mineral.

Lapidação

O processo de lapidação consistiu nas seguintes etapas: pesar a gema em quilates, cortar/serrar, pré formar, dopear (prender a gema no dop para lapidação), facetar a cintura, calibrar, formar/facetar a mesa e o pavilhão, e polir a gema. Todas as etapas da lapidação foram orientadas e supervisionadas pelo instrutor de lapidação Mairton Ieso. Devido a sua alta dureza, o coríndon foi cortado com o auxílio de uma serra circular diamantada de pequeno porte, e seu desbaste foi realizado utilizando-se disco diamantado, seguido por disco de cobre, com o auxílio de pasta diamantada como abrasivo e água destilada como lubrificante, com velocidade de rotação em torno de 700 rpm. Foram utilizadas as bancadas de serra, de formação, de talhamento e facetamento e de polimento, pertencentes a sala de aula de lapidação semi mecânica, da Escola de Joalheria do Centro Gemológico da Bahia, em parceria com o SENAI/BA (Fig. 9).



Fig. 9: Sala de aula de lapidação, da Escola de Joalheria do Centro Gemológico da Bahia

Artesanato Mineral

O processo de confecção das peças em artesanato mineral contou com o auxílio das técnicas de corte, furação, lixamento, polimento e acabamentos, e principalmente

com a criatividade do artesão mineral Adãoilson Martins, que auxiliou no desenvolvimento das esculturas e peças de adornos confeccionadas para a execução deste trabalho. Para a confecção dessas peças, foi utilizada a oficina de artesanato mineral pertencente à Associação dos Artesões Minerais do município de Campo Formoso/BA (Fig. 10).



Fig. 10: oficina de artesanato mineral da Associação dos Artesões Minerais do município de Campo Formoso/BA

Polimento

O polimento foi utilizado nas gemas lapidadas, nas peças de artesanato mineral, bem como nas amostras destinadas a minerais de coleção, com o objetivo de se eliminar pequenos defeitos das peças. Foram utilizados nos coríndons, polimentos com pó de trípoli, óxido de alumínio, óxido de cromo, pó de diamante e pasta diamantada, e rebole de feltro. O polimento das gemas lapidadas foi realizado na sala de aula de lapidação semi mecânica, do Centro Gemológico da Bahia, enquanto que o polimento das peças de artesanato mineral bem como dos minerais para coleção foram realizados na oficina da Associação dos Artesões Minerais do município de Campo Formoso/BA.

- Integração dos Dados e Redação da Tese

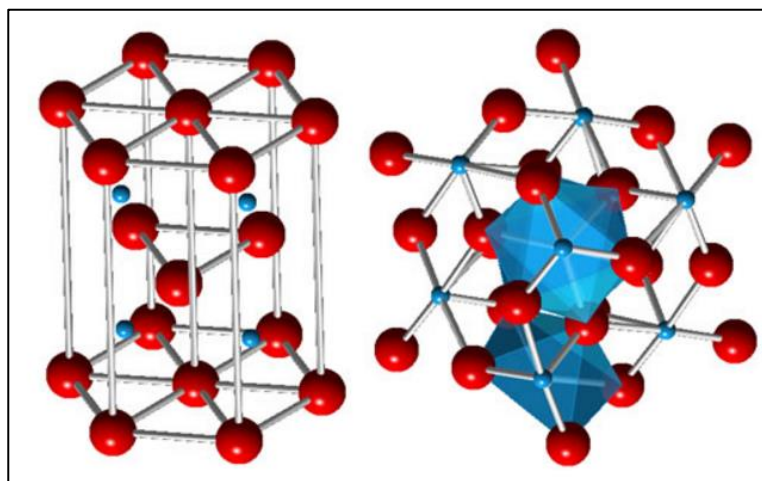
A integração dos dados e informações obtidas durante os trabalhos, culminaram na confecção desta tese. No decorrer das pesquisas foram produzidos 03 artigos científicos, submetidos em revistas com corpo editorial.

CAPÍTULO 2

2. TIPOLOGIA, FORMAS DE OCORRÊNCIAS E POTENCIAL ECONÔMICO DO CORÍNDON

2.1 Mineralogia do Coríndon

Identificado pela primeira vez na Índia, o coríndon é um mineral composto essencialmente por Al_2O_3 (mais de 97%) que pode ser utilizado tanto na joalheria, quanto na indústria. A razão metal/oxigênio no coríndon é X_2O_3 (Schumann, 2006), e sua fórmula estrutural é $\overset{[6]}{\text{A}}_2\overset{[4]}{\text{X}}_2$. Os átomos de oxigênio estão dispostos em um arranjo espacial aproximadamente hexagonal, onde o alumínio está ligado a seis oxigênios em coordenação octaédrica, porém apenas 2/3 das posições disponíveis encontram-se ocupadas pelo alumínio (Fig. 11). O coríndon cristaliza no sistema trigonal e apresenta frequentemente superfícies estriadas paralelamente a direções dos romboedros que formam o cristal, ou ao pinacóide basal (Hughes 1990).



O – vermelho / Al - azul

Fig. 11: Estrutura cristalina do coríndon. Fonte: Modificado de Klein & Hurlbut (2002).

Conforme a 1ª e 2ª regras de Linus Pauling, a relação da força da ligação está relacionada ao número de coordenação determinado pela relação entre os raios do cátion e do anion. Quanto maior for a carga do cátion e menor o seu número de coordenação, mais forte será a sua ligação com o anion (Chvatal 1999).

De acordo com Lima de Faria (1994), estruturas mais estáveis possuem cátions pequenos, conseqüentemente dureza mais elevada e resistência a dissolução, como é o caso dos coríndons. As estruturas cristalográficas dos minerais mantêm a tendência de serem quimicamente estáveis e altamente simétricas.

Pertencente ao sistema trigonal, o coríndon pode ocorrer na forma de cristais hexagonais perfeitos ou em massas granulares de configurações grossas ou finas. São

geralmente prismáticos, mas seus cristais podem apresentar hábitos variados, de arredondados a semelhantes a pequenos barris, com frequente presença de estrias horizontais em suas faces, devido fatores genéticos. Nestes planos é comum se detectar a presença de fases hidratadas como boehmita e diásporo. O coríndon não apresenta clivagem, embora seja comum a presença de uma partição associada aos planos de geminação polissintética, os quais se confundem com a clivagem. Exibe fratura conchoidal, brilho vítreo a adamantino e pode ser transparente, translúcido ou opaco. Sua densidade oscila entre 4,0 a 4,2 g/cm³ (Danna & Hurlbut, 1960).

É o segundo mineral mais duro na escala de Mohs (dureza 9), mas sua dureza pode variar significativamente conforme a direção cristalográfica, apresentando no plano basal, dureza menor, a qual aumenta nos planos prismáticos.

O coríndon é um mineral alochromático, podendo apresentar inúmeras cores ou matizes diferentes de uma mesma cor, devido à presença de impurezas metálicas em sua estrutura cristalina, como Fe, Ti, Cr, Mn, Ga e V. Essas impurezas, presentes em quantidades, concentrações e proporções diversas, são as responsáveis pelo grande número de variedades de cor desse mineral encontradas na natureza (Deer et al, 1993).

2.2. Classificação dos Depósitos de Coríndon

O coríndon é um mineral relativamente comum, encontrado principalmente em calcários, micaxistos, gnaisses e em aluviões. Algumas rochas magmáticas podem apresentar o coríndon como um de seus minerais primários. Depósitos de coríndon podem ser encontrados no Paquistão, China, Rússia, Estados Unidos, Zimbábue, Austrália, Birmânia, Índia, Madagascar, Colômbia e Brasil (Fig. 12). No Brasil, ele é encontrado nos estados de Tocantins, Paraíba, Bahia, Minas Gerais, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro.

características comuns desses depósitos foram agrupadas de acordo com estudos geológicos, químicos e petrográficos em dois grupos principais: depósitos primários e secundários (Fig. 13).

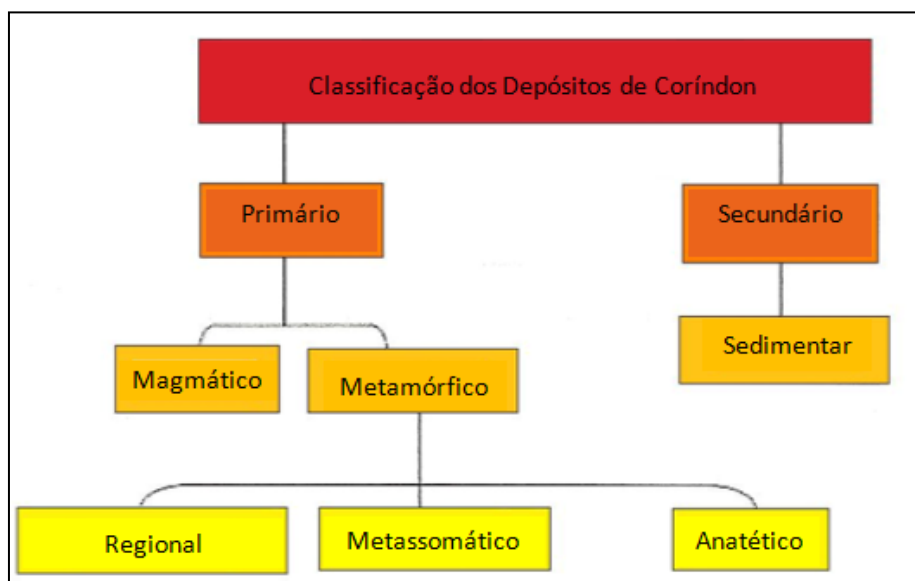


Fig. 13: Classificação proposta para os depósitos de coríndon. Modificado de Simonet et al (2008).

De forma geral, pode-se dizer que o coríndon ocorre em ambientes ricos em alumínio e deficientes em sílica, cuja deficiência está diretamente relacionada com a ausência de quartzo. A formação dos coríndons primários é associada basicamente a magmatismo básico, metamorfismo regional e metassomatismo. De acordo com Deer (1992), o limite máximo de estabilidade do coríndon é definido pelo ponto de fusão do mineral, situado na faixa de 2000 a 2050 °C.

2.2.1 Depósitos Magmáticos

Nos depósitos magmáticos, a formação do coríndon está intimamente associada a magmas de baixo teor de silício (Si) e alto de alumínio (Al), os quais possibilitam, após a cristalização de silicatos ricos em alumínio, como feldspato potássico e biotita, sobrar um líquido com quantidades suficientes de alumínio para a cristalização do coríndon. De acordo com Liccardo (2003) a gênese do coríndon associa-se a complexos alcalinos e basálticos alcalinos.

De acordo com Giuliani (2007), o coríndon de origem magmática é geralmente interpretado como formado na crosta inferior ou no manto superior, onde vários modelos têm sido propostos para explicar as condições particulares e geológicas do

ambiente de cristalização. Em rochas sieníticas, o coríndon é resultado de uma fase inicial da cristalização magmática. Como exemplos desses depósitos, podem ser citados os corpos sieníticos com coríndon, localizados em Garba Tula, no Quênia Central.

Segundo o mesmo autor, o coríndon pode ocorrer também como xenocristais em basaltos alcalinos, em estruturas de *rifts* intracontinentais. Aspectos geoquímicos e texturais do coríndon e a presença de inclusões incompatíveis com o basalto, indicam que esse mineral é instável neste tipo de magma, de modo que o coríndon se apresenta apenas na forma de xenocristais incorporados pelo magma. Outra hipótese explica a presença do coríndon em alguns basaltos alcalinos por processos de assimilação de encaixantes aluminosas, aumentando o Al do magma e possibilitando a sua cristalização. Depósitos como estes podem ser observados em um domo traquítico em Cantal, na França, no qual safiras azuis em forma de barril ocorrem em xenólitos de anortoclasitos, onde o enclave e o traquito são considerados homogenéticos. Ocorrências de coríndon na forma de fenocristais também foram descritas por Lee (2009) em basaltos alcalinos e lamprófiros.

2.2.2 Depósitos Metamórficos

Os depósitos metamórficos associados a mineralizações de coríndon são muito diversificados, em função do coríndon estar presente em diferentes condições termobarométricas (Fig. 14), principalmente nas fácies anfíbolito alto a granulito, e em diferentes ambientes geológicos. Os principais fatores que irão controlar a formação do coríndon são a pressão, temperatura, mineralogia e química do protólito, presença de fluidos e suas características químicas.

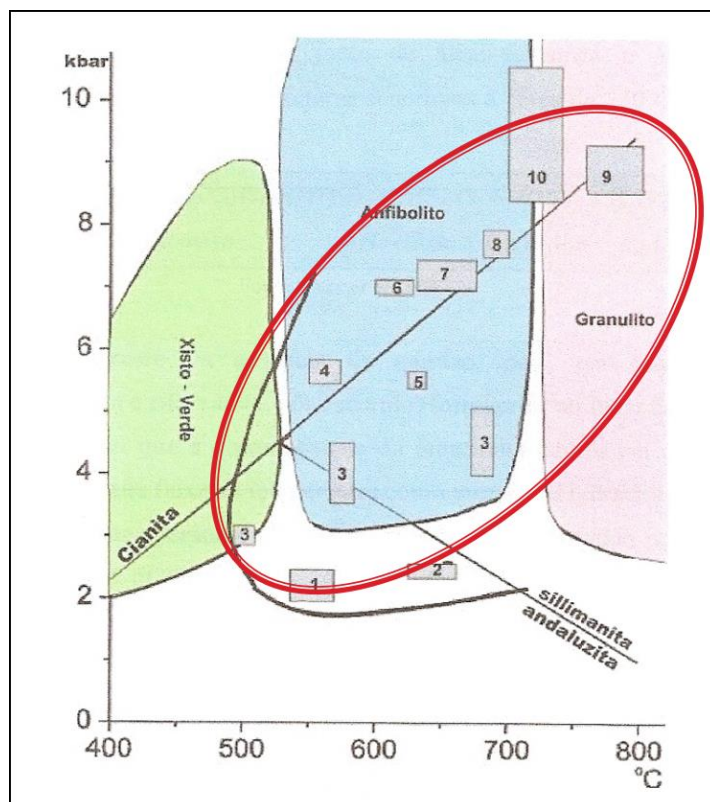


Fig. 14: Diagrama P-T apresentando o campo de estabilidade de aluminossilicatos. O campo destacado está relacionado ao domínio para a formação do coríndon e as áreas em cinza indicam as condições de estabilidade do coríndon estudados nos seguintes depósitos: 1 - rubis Mong Hsu; 2 - rubis em mármore de Ural; 3 - safiras de Caxemira (várias gerações identificadas por inclusões fluidas); 4 - rubis metassomático da Greenland; 5 - safiras do Sri Lanka; 6 - rubis em mármore no Paquistão; 7 - rubis metassomáticos do norte do Quênia; 8 - coríndon em anatexitos de Morogoro, Madagascar; 9 - rubis em granulitos máficos, Carolina do Norte; 10 - rubis metassomáticos do sul do Quênia, Fonte: Simonet et al (2008).

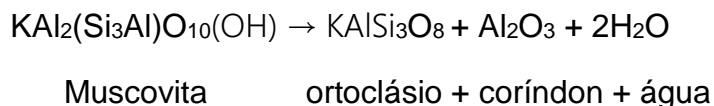
Os depósitos metamórficos podem ser subdivididos em três grupos principais: a) metamorfismo regional; b) metamorfismo anatético; c) metamorfismo metassomático.

a) Metamorfismo Regional

Os depósitos de coríndon associados ao metamorfismo regional são classificados de acordo com as características químicas e geológicas de seus protólitos, subdividindo-se em sedimentos pelíticos; rochas carbonáticas (metacarbonatos ou bauxitas cársticas) e bauxitas (marunditos e corunditos). A cristalização do coríndon está diretamente relacionada com as reações metamórficas isoquímicas atuantes em rochas pobres em silício e ricas em alumínio.

Metamorfismo de sedimentos pelíticos

Os pelitos compreendem rochas sedimentares ricas em alumínio. Ao serem submetidos a um aumento progressivo de temperatura e pressão, a caulinita e a illita existentes nos pelitos se convertem, respectivamente, em pirofilita e muscovita. A muscovita em temperaturas superiores a cerca de 750 °C, na ausência de quartzo, se torna instável, resultando na cristalização de feldspato potássico, coríndon e água, de acordo com a equação abaixo (Deer, 1992).



De acordo com Levinson & Cook (1994), estudos experimentais revelaram que a decomposição da muscovita ocorre em um largo campo de pressão, mas em uma estreita faixa de temperatura. A faixa de temperatura e pressão de formação do coríndon por metamorfismo situa-se entre 500 e 750 °C e 7,5 a 17 kbar, respectivamente (Fig. 15). Essa faixa de formação do coríndon compreende cerca de ± 22 a 50 km de profundidade, considerando uma geoterma continental de 12 °C/km.

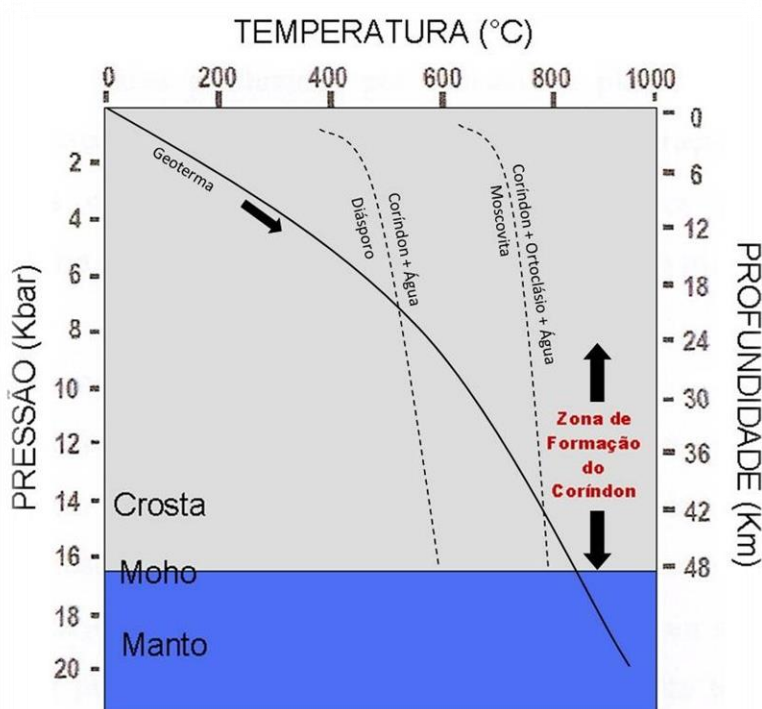


Fig. 15: Gráfico indicando as condições de pressão e temperatura para a formação do coríndon a partir de hidróxido de alumínio (diásporo) ou da muscovita. Fonte: Modificado de Levinson & Cook (1994).

Os gnaisses e granulitos paraderivados têm papel de destaque como importantes fontes de safiras e rubis, nos depósitos de metamorfismo regional. Esses depósitos estão intimamente associados a minerais como a granada, espinélio, safirina, cordierita e sillimanita, onde os cristais de coríndon se apresentam comumente na forma bipiramidal e mais raramente em prismas ou cristais tabulares.

De acordo com Couto (2000), no estado de Minas Gerais, a ocorrência de rubis também está relacionada com terrenos granulíticos. Segundo Boyle (1976), minerais como o coríndon, a cianita e a cordierita são desenvolvidos em terrenos arqueanos, metamórficos de alto grau, especialmente em sedimentos pelíticos e rochas enriquecidas em alumínio.

Segundo Liccardo (2003), na região de Catingal - Bahia, o coríndon é encontrado como porfiroblastos idioblásticos em gnaisses arqueanos compostos de feldspatos potássicos pertíticos a mesopertíticos, plagioclásio, biotita, sillimanita, traços de zircão, monazita e mineral opaco intercrescido com espinélio verde. Ainda segundo este autor, o coríndon ocorre comumente emoldurado por agregados de grãos de feldspatos potássicos. A gênese do coríndon na região de Catingal é atribuída ao metamorfismo regional de alto grau, em temperaturas na faixa de 680 a 750 °C.

Rapasinghe & Dissanayake (1985) afirmam que para toda a região de chamockitos dos *Highlands* no Sri Lanka, os efeitos do metamorfismo de fácies granulito em sedimentos aluminosos representam um importante papel na formação dos depósitos de coríndon desta região. Segundo Rapasinghe & Dissanayake (1985) e, Liccardo & Evangelista, (2000), cinturões de granulitos metassedimentares produzidos por colisão de placas são ambientes geológicos propícios para a formação de minerais-gemas de coríndon. Esses terrenos de cinturões granulíticos metassedimentares do Brasil apresentam similaridades na história geológica e no potencial para geração da mineralização.

Metamorfismo de rochas carbonáticas

O coríndon encontrado em mármore dolomíticos impuros, é proveniente do metamorfismo regional sobre rochas carbonáticas com alto percentual de Ca, Mg e Al. O rubi proveniente de depósitos carbonáticos, costuma apresentar alto conteúdo de Cr₂O₃ (acima de 2,5%) e baixo conteúdo de FeO (menor que 0,04%), podendo também conter traços de V (Vizcaíno, 1995).

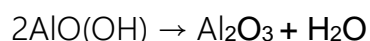
A cor vermelha do coríndon é atribuída ao alto teor de Cr e baixo teor de Fe (Deer,1992). A intensidade e pureza de sua cor são características que classificam o rubi como uma das gemas mais valorizadas no mercado gemológico mundial. Uma das mais famosas jazidas de rubi do mundo encontra-se em Mogok, na Birmânia (hoje denominada de Myanmar) é um excelente exemplo de metamorfismo em rochas carbonáticas (Cassedanne, 1971).

Metamorfismo de bauxitas

Segundo Tenakov (1978), depósitos metamórficos deste tipo são provenientes do metamorfismo de paleossolos bauxíticos que dão origem a rochas denominadas corunditos, os quais podem formar lentes confinadas em um horizonte estratigráfico nas rochas metassedimentares. De acordo com o mesmo autor, na Sibéria, esses depósitos podem ser observados nos metassedimentos pertencentes ao Complexo Aldan, de idade arqueana. Esses sedimentos são considerados pelo referido autor como sedimentos caulíníticos metamorfisados, apresentando corunditos formando lentes confinadas nas rochas metassedimentares desse complexo, igualmente aos leitos de bauxita em termos de forma, evidenciando a atuação favorável de fatores geológicos e climáticos para a formação da bauxita.

Ainda segundo o mesmo autor, a composição química dos corunditos do Complexo Aldan, indica que eles são membros mais aluminosos de uma sucessão de rochas aluminosas do referido complexo. Estudos realizados com base nas análises químicas de mineralizações e rochas encaixantes do Complexo Aldan, mostraram grandes semelhanças com as bauxitas, principalmente nos conteúdos de TiO_2 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , CaO , S , MgO , denotando metamorfismo de uma crosta de intemperismo aluminoso, em uma sucessão contínua de rochas enriquecidas em alumínio.

Os famosos depósitos de esmeril (mistura de magnetita e coríndon) da ilha de Naxos, na Grécia, também são exemplos deste tipo de depósito. Nesses, a origem do coríndon está intimamente associada à desidratação do diásporo (equação abaixo), sob condições na faixa de 500 °C e acima de 7,5 kbar (Deer, 1992).



diásporo coríndon + água

b) Metamorfismo Anatético

O metamorfismo anatético é essencialmente um processo de diferenciação, ou fusão parcial, o qual pode ou não ser acompanhado de fenômenos de dessilicificação. Durante a fusão parcial de uma rocha metapelítica, a sílica é o primeiro elemento a entrar no líquido, gerando um enriquecimento em alumínio no resíduo do fundido, o que cria condições favoráveis para que o coríndon possa se formar nesse resíduo (Simonet et al 2008).

Ainda de acordo com o mesmo autor, depósitos conhecidos de metamorfismo anatético, encontram-se em rochas do Cinturão Moçambicano, na Tanzânia, e em rochas arqueanas, no norte da Escócia. Normalmente esses depósitos não são fontes de extração de gemas, mas são considerados como prováveis fontes para alimentar depósitos aluviais, como é o caso dos depósitos das regiões do Sri Lanka e leste da África.

c) Metamorfismo Metassomático

Os depósitos metassomáticos resultam da introdução de fluidos mineralizantes ao longo de estruturas tectônicas ou no contato entre rochas quimicamente diferentes. Esses tipos de depósitos costumam estar associados a zonas de cisalhamento; a pegmatitos; e a zonas de interação com rochas máficas/ultramáficas e à escarnitos.

Depósitos associados a zonas de cisalhamento

Segundo Martelat (2000), Wit (2001), Collins & Windley (2002) e Rakotondrazafy (2008), os depósitos de coríndon de Sahambano em Madagascar, encontram-se instalados em zonas de cisalhamento dextrógiras, as quais sofreram uma longa história de deformação e metamorfismo entre 600 e 500 Ma. A mineralização apresenta-se hospedada em paragneisses ricos em cálcio e magnésio e nesses depósitos a safira ocorre em lentes nos paragneisses, os quais encontram-se intercalados com leptinitos. A alteração hidrotermal resultante é evidenciada por zonas de biotitização.

Ainda segundo os mesmos autores, as safiras foram formadas durante o metamorfismo progressivo, com temperatura e pressão de aproximadamente 650 °C e 5 kbar, respectivamente, na fácies granulito. A mineralização apresenta controle estrutural. A cor dos cristais é controlada pela composição das encaixantes, onde a

safira azul aparece em zonas de biotititos; as safiras verde e marrom ocorrem em paragneisses; e a vermelha encontra-se localizada nos paragneisses com safirina. As outras cores dos cristais estão distribuídas aleatoriamente na interface entre os biotititos e os gnaisses com safirina biotitizada.

De acordo com Andriamamonjy (2006), nos depósitos de Zazafotsy em Madagascar, a mineralização encontra-se hospedada em leptinitos com sillimanita, granada e cordierita. Além de gnaisses com piroxênio, ocorrem intercalações de quartzitos e calcários. Sobre essas litologias também desenvolveram zonas de cisalhamento relacionadas ao evento Pan-africano.

Outros exemplos desse tipo de depósito podem ser encontrados ao sul da ilha de Madagascar, os quais mostram a ocorrência da mineralização em diferentes blocos tectônicos associados a zonas de cisalhamento e metassomatismo de contato. Nesses depósitos, as rochas hospedeiras são: paragneisses (ex: depósitos Zazafotsy e Samhambano), cordierititos (ex: depósitos Lankaroka e Ambatomena), anfibolitos e anortositos (ex: depósitos Ejeda, Fotodrevo, Vohitany e Gogogogo), e margas (ex: depósito Tranomaro).

Depósitos associados a pegmatitos

De acordo com Biondi (2003), os pegmatitos são corpos que apresentam geralmente composições equivalentes às dos granitos, porém possuem uma granulação grossa, devido à intensa ação de fluidos. Esses corpos podem ocorrer dentro ou fora dos plútons e sua composição mineralógica varia com a distância até o foco térmico, formando assim um zoneamento composicional. Ainda segundo o mesmo autor, o fenômeno de dessilicificação é o principal mecanismo para a formação da mineralização, envolvendo nos casos mais clássicos, a interação entre rochas máficas/ultramáficas ou rochas carbonáticas e rochas ricas em sílica, onde normalmente o silício migra da rocha mais silicosa para a menos silicosa.

- Interação com Rochas Máficas/Ultramáficas

No metamorfismo metassomático de interação ocorre uma migração da sílica da rocha ácida rica em Al para a máfica/ultramáfica, a qual leva a formação de zonas de reação, gerando coríndon na porção empobrecida em sílica e enriquecida em Al da rocha ácida. A interação de pegmatitos quartzo–feldspáticos com rochas máficas, por

meio de processos de dessilicificação é responsável pela geração do denominado "coríndon-plagioclasito" (Bridges, 1982)

Segundo Bridges (1982), nos depósitos de Transvaal, na África do Sul, as mineralizações são caracterizadas pela ocorrência de coríndon em pegmatito, apresentando zoneamento representado pela porção interna rica em quartzo e feldspato, seguido por uma zona de feldspato e na borda externa, ocorrência de feldspato/coríndon no contato com a rocha ultramáfica.

Ainda de acordo com o mesmo autor, os depósitos de coríndon e rubi da região de Mangare em Moçambique representam o mais complexo fenômeno de dessilicificação envolvendo fluidos provenientes de metapelitos, em contato com metaultrabásitos. As rochas da região de Mangare compreendem os metassedimentos do Cinturão de Moçambique, o qual foi submetido a uma complexa história tectônica e metamórfica entre 900 e 450 Ma. Nessa região a mineralização encontra-se parcialmente relacionada aos corpos ultrabásicos que foram submetidos a alterações metassomáticas multifásicas nas fácies anfíbolito a granulito, cujas rochas encaixantes incluem mármore, grafita gnaisses e anfíbolitos.

Dentre os depósitos deste tipo mais conhecidos, podem se citar o de Kashmir na Índia e os do Quênia. No Quênia, o coríndon é encontrado em cascalhos eluvionares derivados de veios dessilicificados, que cortam rochas ultramáficas serpentinizadas, e/ou dentro ou nas proximidades da zona de contato de pipes serpentinizados, associados com segregações pegmatíticas dessilicificadas. Em Kashmir, cristais de safira azul ocorrem em pegmatitos feldspáticos encaixados em corpos metassomáticos de actinolita-tremolita (Liccardo, 2003).

Depósito de coríndon associado a rochas máficas e ultramáficas metamorfizadas, de Montepuez em Moçambique, onde o coríndon se origina do metamorfismo/metassomatismo de rochas gabroicas e duníticas de ofiolitos ou sequências vulcano-sedimentares, são descritos por Giuliani et al (2020). De acordo com os autores, esses depósitos são as principais fontes de coríndon de coloração rosa e vermelho da região, e geralmente são submetidos a tratamento térmico, para melhoria da cor e potencial gemológico.

Segundo Yakymchuk & Szilas (2018), na região de Maniitsoq (Kangerdluarssuk), nos Cinturões Greenstone Belts arqueanos, do Cráton do Atlântico Norte da Groenlândia Ocidental, rochas ultramáficas (anfíbólio-peridotito) estão em contato

direto com as zonas portadoras de coríndon, que foram transformadas em micaxisto por reações metassomáticas.

- Depósitos associados à escarnitos

A gênese dos depósitos associados a escarnitos baseia-se no mesmo princípio de dessilicificação descrito no item anterior, mas, nesse caso, o coríndon encontra-se associado a minerais cálcicos. A mineralização do tipo escarnito mais importante é de safira e encontra-se no Sri Lanka, a qual é resultante da interação entre fluidos de pegmatitos derivados de intrusões graníticas e sieníticas em metacarbonatos (Simonet et al 2008).

Outro depósito conhecido de coríndon em escarnito é o de Andranondambo, localizado no sul de Madagascar. A mineralização apresenta-se alojada em terrenos da fácies granulito proterozóicos pertencentes do grupo Tranomaro. Esse grupo é composto por rochas metassedimentares, incluindo metapelitos, rochas calciossilicáticas e metacarbonáticas com intercalações de gnaisses leucocráticos.

2.2.3 Depósitos Sedimentares

Os depósitos sedimentares de coríndon são depósitos secundários provenientes de acumulações aluviais, eluviais, coluviais, ou de pláceres. De acordo com Hughes (1990), Guo (1996), Limtrakun (2001) e Simonet et al (2008), na grande maioria das vezes, o coríndon encontrado nesses depósitos apresenta elevado potencial gemológico, quando comparados com o coríndon proveniente de depósitos magmáticos e metamórficos. Isso ocorre devido ao processo de selecionamento sofrido pelo coríndon durante a erosão e o transporte, de modo que os cristais mais fraturados e com presença de inclusões são mais susceptíveis à ação destrutiva desses processos, se comparados àqueles com menor número de imperfeições, os quais tendem a ser mais resistentes. Ainda segundo os mesmos autores, a maior parte da produção de safiras do mundo é proveniente de depósitos secundários relacionados a terrenos basálticos.

Segundo Liccardo & Evangelista (2000; 2005), o estado de Minas Gerais possui um grande potencial gemológico, no qual atualmente são reconhecidos quatro depósitos sedimentares, sendo eles: Sapucaia, Indaiá e Palmeiras, na região de Caratinga–Manhuaçu e Malacacheta. Os cristais de coríndon desses depósitos são de

origem metamórfica.

Exemplos desses depósitos podem ser encontrados no Brasil (Santa Catarina e Minas Gerais), no Sri Lanka, Austrália Oriental, África Oriental e Madagascar. Os gnaisses e granulitos aluminosos são uma importante fonte de safiras e rubis, assim como são as principais fontes dos depósitos secundários das maiores províncias de coríndon do mundo. O exemplo mais conhecido ocorre no sul do Sri Lanka, onde inúmeros autores reconheceram a importância de granulitos e charnockitos como fontes de depósitos aluviais e eluviais neste país. Dahanayake et al., (1980) demonstrou que a fonte dos depósitos sedimentares de coríndon no Sri Lanka, são oriundos de gnaisses granadíferos e escarnitos.

2.3 Coríndon na Bahia

Até o presente momento, sete ocorrências de coríndon são conhecidas no estado da Bahia. São elas as ocorrências da região de Uauá, Capela do Alto Alegre, Mundo Novo/Piritiba, Serrinha, vale do Rio Paraguaçu, Catingal e Vitória da Conquista (Fig. 16).

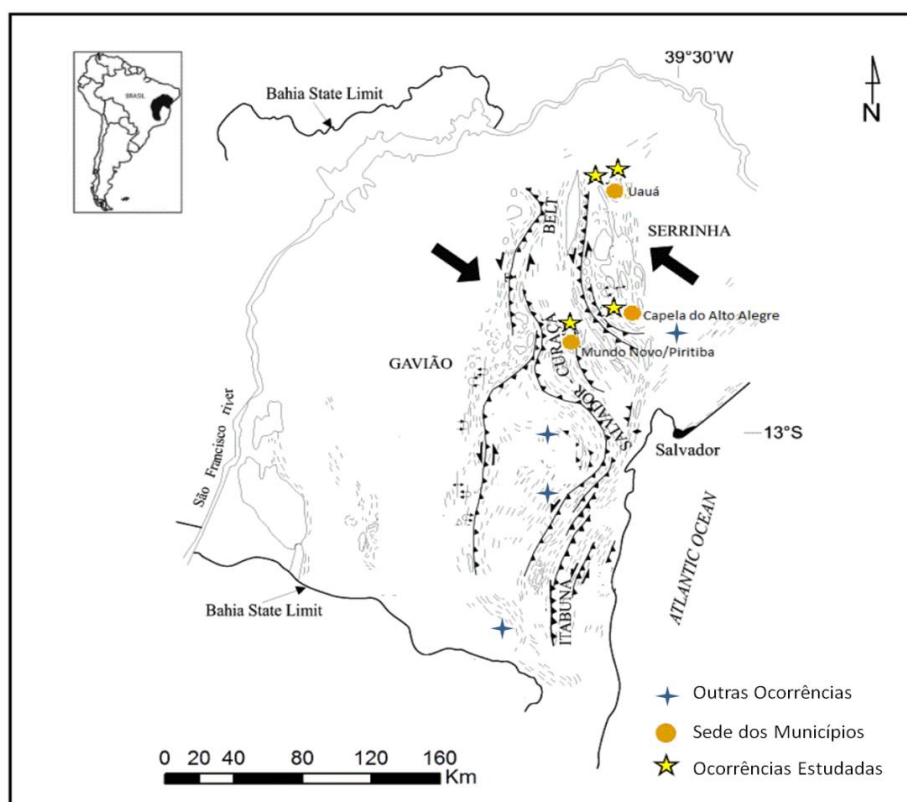


Fig. 16: Mapa de localização o das ocorrências estudadas. Fonte: Modificado de Almeida (1977) e Cruz e Alkmim (2006).

Muito pouco se sabe sobre essas ocorrências. As primeiras descrições de ocorrências de coríndon na Bahia foram citadas por Leonardos (1946) e o U.S. Bureau of Mines (1947) e se referiam a ocorrências nos municípios de Serrinha, Juazeiro, e ao longo do vale do rio Paraguaçu (in Fróes & Nogueira, 1976).

De acordo com Couto (2000), no município de Uauá, as mineralizações de coríndon ocorrem hospedadas em rochas do tipo hornblenda gabro, em contato com granito gnáissico. Segundo este autor, os cristais de coríndon variam de 0,5 a 2 cm, são comumente opacos, se apresentam nas cores azul claro e róseo. Já Sá (2012) descreve em seu trabalho, mineralizações de coríndon disseminadas em zonas de contato entre uma rocha máfica anfibolitizada e um veio de pegmatito quartzo feldspático. Segundo este autor, os cristais de coríndon se apresentam nas cores vermelho escuro a amarronzado, com tamanhos milimétricos a alguns centímetros, variando de opacos a translúcidos. As características geológicas sugerem uma mineralização do tipo metassomática, devido às interações entre os fluidos do pegmatito e a rocha máfica, mais estudos são necessários para a comprovação desta hipótese.

Segundo Sá (1980), a ocorrência de coríndon da região de Capela do Alto Alegre é conhecida há mais de 70 anos, mas ainda muito pouco se sabe sobre ela. O autor considera que, a mineralização de coríndon encontra-se inserida em gnaisses quartzosos, pertencentes ao Complexo Tanque Novo-Ipirá. O coríndon ocorre localmente associado a bolsões de feldspato rosa. O coríndon se apresenta em forma de prismas hexagonais e barriletes, com dimensões milimétricas a centimétricas, sempre opacos, nas cores cinza esverdeado e azulado. Estudos são necessários para um melhor entendimento da gênese e processos desta mineralização (Sá, 2012).

Na região de Mundo Novo/Piritiba, as mineralizações de coríndon encontram-se localizadas dentro do complexo Mairi (Mascarenhas & Silva, 1994), e ocorrem em corpos lenticulares constituídos basicamente por clorita, coríndon, sillimanita em pequenas quantidades, cordierita, biotita, muscovita e rutilo (Ribeiro, 2010). Ainda segundo esta autora, na zona mineralizada, o coríndon constitui mais da metade da massa do minério, e se apresenta em duas fases de mineralização, a primeira fase composta por cristais maciços granulares de coloração vermelho arroxeado, e a segunda por cristais idiomórficos alongados, de coloração verde e azulado. Essas duas gerações de coríndon sugerem que a ação dos fluidos mineralizantes ocorreu em pulsos distintos, com diferentes proporções de Cr e Fe, responsáveis pelas colorações

citadas. Ainda de acordo com a autora, a origem da mineralização pode estar relacionada à hipótese do metamorfismo sobre sedimentos pelíticos.

De acordo com Pereira (1992), na localidade de Serrinha, a mineralização de coríndon encontra-se encaixada em gnaisses aluminosos, de forma disseminada, e se apresenta na forma de grãos com dimensões milimétricas, que não chegam a formar concentrações economicamente viáveis.

Liccardo (2003) descreveu na região do vale do rio Paraguaçu, uma ocorrência de coríndon inserido em sedimentos coluvionais e aluvionais. De um modo geral, o coríndon se apresenta em concentrados de bateia, em forma de grãos bem arredondados, em frações granulométricas, associados a outros minerais como granada almandina, rutilo, monazita e zircão. Através de estudos de inclusões sólidas contidas nos grãos de coríndon, e com base nas características mineralógicas e químicas por ele verificadas, o referido autor sugere uma origem metamórfica para a mineralização.

Na região de Catingal, a mineralização de coríndon encontra-se inserida em gnaissos, envolvida por bolsões de feldspatos, com cristais de dimensões milimétricas a centimétricas, os quais se apresentam de forma euédrica, geralmente opaco, mas ocasionalmente translúcido, com coloração variando entre castanho escuro a verde amarelado (Liccardo, 2003). O referido autor, com base nos minerais encontrados como inclusões ou associados com os cristais de coríndon, sugere que a mineralização é de origem metamórfica de alto grau.

No município de Vitória da Conquista, a mineralização de coríndon encontra-se inserida em um contexto regional composto por terrenos gnáissicos, Arqueanos/Paleoproterozóicos, localmente migmatizados, podendo apresentar lentes de rochas básicas e ultrabásicas, xistosas ou não, e lentes de rochas calcissilicáticas. Ainda de acordo com Liccardo (2003), esta mineralização encontra-se associada a material caulínico, com quartzo e calcedônia em tremolita-actinolita-clorita xisto (Couto, 2000). Segundo estudos de Deer et al. (1992), a paragênese da mineralização em questão, aliada a geologia da região, podem gerar coríndon através do processo de dessilicificação, os quais são derivados da interação de rochas básicas com corpos de pegmatitos quartzo-feldspáticos. Segundo Couto (2000), a atuação do metamorfismo regional sobre os sedimentos argilosos ricos em alumínio, também podem gerar os xistos mineralizados. Os cristais se apresentam de forma prismática, variando de

translúcidos a opacos, com coloração rósea e brilho adamantino, com provável aproveitamento gemológico (Couto, 2000).

Apesar de conhecidas a muitas décadas, muito pouco ainda se sabe a respeito dessas ocorrências de coríndon da Bahia. Dentre as ocorrências citadas, as mais importantes e que apresentam um possível potencial econômico, são as localizadas nas regiões de Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Piritiba. A geologia, petrografia e mineralogia das ocorrências de coríndon da Bahia foram descritas no Capítulo 3, e a química mineral e causas de cor foram descritas no Capítulo 4.

2.4 Exploração e Potencial Socioeconômico do Coríndon

Em vários países, a mineração artesanal tem sido proposta como uma estratégia viável para promover o desenvolvimento das regiões de extração e de suas populações, levando em consideração o desenho específico deste tipo de extração mineral em cada uma das localidades (Hilson, 2003; Siegel e Veiga, 2009; Hilson e Maconachie, 2020).

Históricamente, a mineração de gemas na Bahia (Fig. 17), desde as primeiras descobertas, ocorre de forma tipicamente rudimentar, e a maior parte da produção de gemas é comercializada em pequena escala, geralmente em estado bruto, e realizada informalmente por garimpeiros e atravessadores, que muitas vezes, praticam permuta entre diferentes tipos de gemas e materiais. Não há estudo de mercado, e os valores praticados são ditados pela oferta e procura.



Fig. 17: Extração artesanal de gemas realizada na região de Uauá.

As ocorrências de coríndon de Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Piritiba, localizadas em municípios do agreste baiano (Fig.18), apresentam

potencial para desenvolvimento de uma mineração artesanal sustentável, atrelada a técnicas simples de beneficiamento capazes de gerar desenvolvimento social local.



Fig. 18: Realidade do agreste baiano, nos arredores a região de Mundo Novo/Piritiba

Parcerias com instituições governamentais, como o Centro Gemológico da Bahia e associações e cooperativas de garimpeiros, lapidários e artesãos minerais existentes no estado (Fig 19), são essenciais para o desenvolvimento de capacitação e inovação no desempenho da mineração artesanal no setor de gemas, de modo a gerar melhorias nas condições econômicas, sociais e ambientais locais, além de desenvolver práticas e políticas adequadas a sustentabilidade na mineração artesanal, como citado por Puppim de Oliveira e Ali (2011) e Milanez e Puppim de Oliveira (2013).

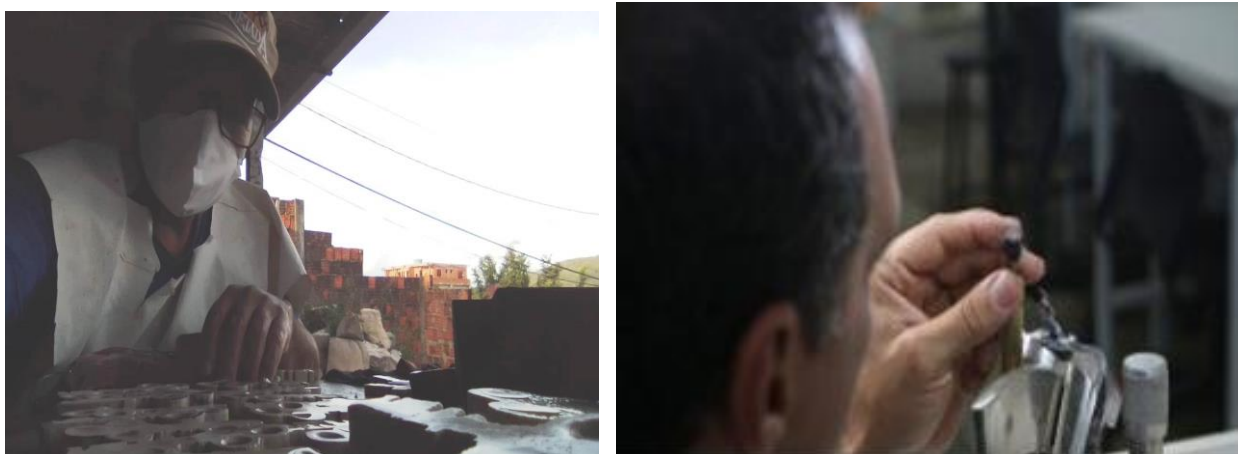


Fig. 19: Adãoilson Martins, artesão mineral, na oficina de artesanato em Campo Formoso/BA e Mairton Ieso, instrutor de lapidação, lapidando um coríndon, na Escola de Joalheria do Centro Gemológico da Bahia.

CAPÍTULO 3

30/04/2021

Email – Monica Correa – Outlook

Brazilian Journal of Geology - Manuscript ID BJGEO-2020-0125

Tatiana Alonso <onbehalf@manuscriptcentral.com>

Seg, 04/01/2021 11:37

Para: monicacorrea_nica@hotmail.com <monicacorrea_nica@hotmail.com>

Cc: monicacorrea_nica@hotmail.com <monicacorrea_nica@hotmail.com>; carla.porcher@ufrgs.br <carla.porcher@ufrgs.br>; marcia.boscato@ufrgs.br <marcia.boscato@ufrgs.br>

04-Jan-2021

Dear Miss CORREA:

Your manuscript has been screened for possible publication in the Brazilian Journal of Geology and was forwarded to the Associated Editor, who will handle the peer-review process.

Please note that this message constitutes a confirmation of submission for manuscript ID BJGEO-2020-0125, entitled "GEOLOGY, PETROGRAPHY, AND MINERALOGY OF CORUNDUM OCCURRENCES IN BAHIA, BRAZIL", to the Brazilian Journal of Geology.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc04.manuscriptcentral.com/bjgeo-scielo> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc04.manuscriptcentral.com/bjgeo-scielo>.

Thank you for submitting your manuscript to the Brazilian Journal of Geology.

Sincerely,
Brazilian Journal of Geology Editorial Office

GEOLOGY, PETROGRAPHY, AND MINERALOGY OF CORUNDUM OCCURRENCES IN BAHIA, BRAZIL

Monica Correa¹, Carla Porcher¹ & Márcia Boscato¹

⁽¹⁾ *Postgraduate Program in Geosciences, Federal University of Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brazil. E-mail: monica.correa@sde.ba.gov.br.*

Abstract

Corundum occurrences is found in many parts of Bahia, northeastern Brazil, although, very little information's are known about these occurrences. Bahia state has geological associations highly favorable to the formation of corundum deposits, thus this study was performed on the most expressive occurrences: Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba areas. A detailed geological, petrographic and mineralogic description was made, aiming the interpretation of the mineralization genesis. In the Uauá area corundum are round crystals, red and Bordeaux colored and occurs in the contact zone between a mafic rock and a feldspar vein and the origin is related to the interaction of hydrothermal fluids with the mafic rock. The Capela do Alto Alegre corundum has prismatic habit and is grayish green colored and its genesis is related to the metasomatism of gneisses and aluminous granulites. Corundum from the Mundo Novo/Piritiba area occurs as grainy masses and purplish red colour and is associated to mica-schists of a Greenstone Belt of complex geological evolution. The areas with most important gemological potential are the Uauá and Capela do Alto Alegre, while the Mundo Novo/Piritiba occurrence can be destined to industrial application.

Keywords: Corundum, Bahia, Occurrences

1. INTRODUCTION

Corundum is a relatively common mineral, found mainly in limestones, mica-schists, gneisses, granulites and alluvial deposits (Simonet et al., 2008). Some magmatic rocks can also present corundum as one of their primary minerals (Garnier et al., 2004).

Worldwide, deposits of corundum can be found in Pakistan, China, Russia, United States, Zimbabwe, Australia, Burma, India, Madagascar, Colombia, and Brazil. In Sri Lanka, one of the world's largest producers of ruby and sapphire, the presence of this mineral is mostly related to granulitic terrains. Granulitic terrains are abundant in Brazil, mostly found in the cratonic areas, like São Francisco, São Luiz, Guaporé and Luiz Alves, but very little is known about the corundum occurrences in these areas.

According to Hughes (1990), even though there are corundum deposits widely distributed around the world, few of them display gemological quality. The majority of those deposits produce corundum of low quality, destined to industrial applications, in the production of abrasives and cutting tools, and a portion of it is used for the fabrication of bijouterie and submitted to color enhancement treatments.

Among the occurrences of corundum known in Brazil, most of them occur in cratonic areas and are related to alluvial deposits in high-grade metamorphic terrains or to alkaline complexes (Liccardo, 2003). In the state of Bahia, seven corundum occurrences are registered, all of them associated to lithological units from the São Francisco Craton.

The first descriptions of corundum in Bahia were mentioned by Leonardos (1946) and the U. S. Bureau of Mines (1947) which referred to corundum occurrences in the municipality of Serrinha and alongside the Rio Paraguaçu Valley (apud Fróes & Nogueira, 1976). Sá (1980) has reported the existence of a corundum occurrence in the municipality of Capela do Alto Alegre, while Couto (2000) described corundum occurrences in the municipalities of Vitória da Conquista and Uauá. Liccardo (2003), on the other hand, mentioned an occurrence in the municipality of Catingal and, at last, Ribeiro (2010) described occurrences in the region of Mundo Novo.

Besides being known for several decades, very little is known about the main characteristics of these corundum occurrences in Bahia. Among the mentioned occurrences, those that present a possible economic potential, are the ones located in the regions of Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba, which are objects of study.

2. GEOLOGICAL CONTEXT AND CORUNDUM OCCURRENCES

All of the corundum occurrences in Bahia state occur in the São Francisco Craton rocks, whose basement and many orogenesis since the Neoproterozoic, led to a complex rock generation, which favored the development of diverse mineralizations and mineral deposits.

The São Francisco Craton consists in a portion of the continental crust from the South-American platform, formed in the Neoproterozoic era and which became stable in the end of the Paleoproterozoic (Almeida, 1977). The craton is divided by Barbosa & Sabaté (2001) in three Archean blocks, named Gavião, Serrinha and Jequié. Geological evidences suggest the collision between these three Archean blocks during the Paleoproterozoic, resulting in an important mountain belt, the Itabuna-Salvador-Curaçá Belt.

The literature informations about corundum mineralizations recognized in the São Francisco Craton are about seven different occurrences. However, some of these described corundum occurrences in Bahia, were visited, but not found. Thus, the study was focused on the occurrences in the Uauá and Capela do Alto Alegre regions, which belong to the Serrinha Block, and the occurrence in the region of Mundo Novo/Piritiba, which belongs to the Itabuna-Salvador-Curaçá Belt (Figure 1).

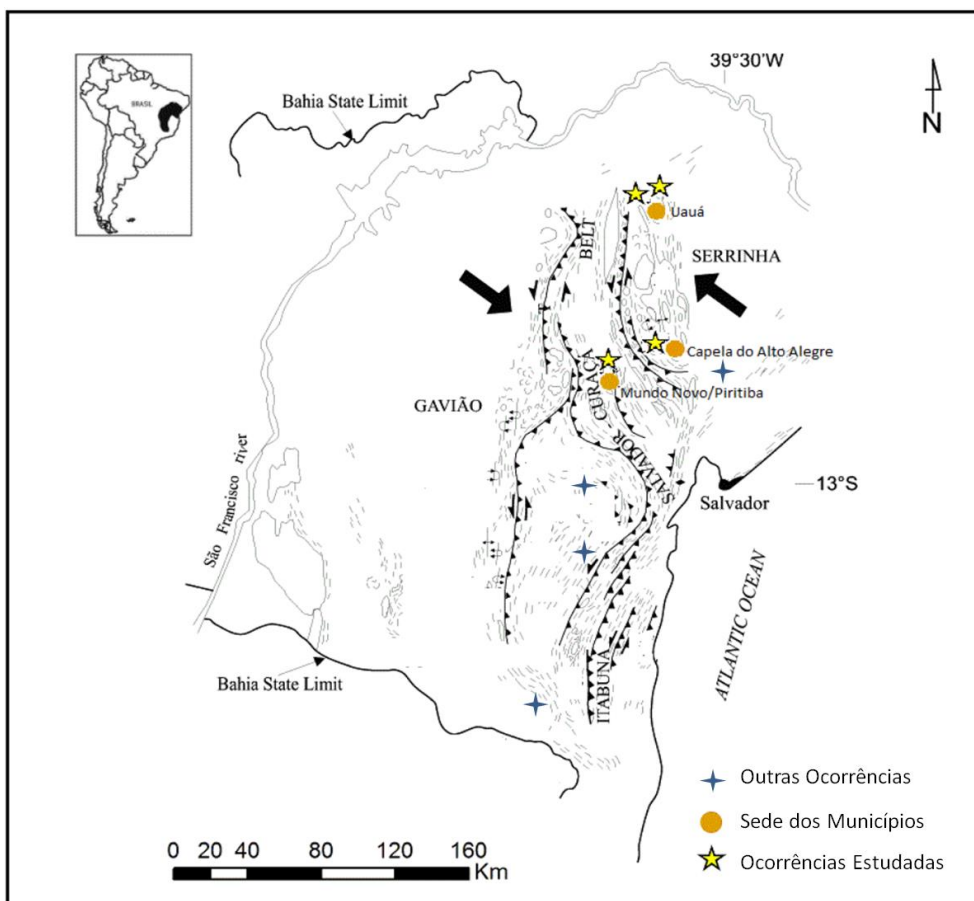


Figure 1. Location map. Source: modified from Almeida (1977).

The Uauá occurrence (Couto, 2000) is inserted in Mesoarchean Uauá Complex, which is composed of banded gneisses of tonalitic to granodioritic composition, migmatites and granulites, which belong to the Uauá Complex, besides quartzite intercalations, reminiscences of supracrustal rocks and mafic-ultramafic bodies are from the Santa Luz Complex (Misi et al., 2006). According to Pereira (1992), the corundum is found in migmatitic orthogneisses and banded gneisses which belong to the Santa Luz Complex, cut by amphibolites from the Serrinha Block. According to the referred author, the lithological units are strongly deformed. According to Couto (2000), corundum mineralization in Uauá occur lodged in hornblende gabbro rocks, in contact with granite-gneiss rocks, belonging to the Uauá Complex. Sá (2012) however, describes corundum mineralization disseminated in contact zones between mafic bodies and a pegmatite veins.

Known for over 70 years (Sá, 1980), but never studied, the corundum occurrence in Capela do Alto Alegre is found in a Neoproterozoic unit. In the studied area outcrop rocks from the Carnaíba Complex (calc-alkaline high-K mangeritic and charnockitic orthogneisses, calc-alkaline low and medium K enderbite, charnoenderbite and charnockitic orthogneisses, migmatites and metamafic enclaves) and the Tanque Novo-Ipirá Complex (kinzigitic gneisses, calcsilicatic rocks, quartzite, BIFs, graphite shists and amphibolite/metamafites) and the São José de Jacuípe Suite (metanorites, metagabbro norites, metapyroxenites, metaleucogabbros) (Misi et al., 2006). Corundum occurrences are inserted in a unit formed by metamorphosed supracrustal rocks, structured at the end of the Archean era, represented by kinzigitic gneisses, calcsilicatic rocks, quartzites, graphite shists, BIFs, metabasites and amphibolites, which belong to the Tanque Novo-Ipirá Complex.

The presence of corundum in the Mundo Novo/Piritiba region is known since the 90s (Sá, 2012). This occurrence is inserted in the Mundo Novo Greenstone Belt, represented by rocks from the Mairí, Itapicurú, and Saúde Complexes, Jacobina Group, syntectonics granitic bodies, and Cenozoic coverage. The Mairí Complex comprises Archean felsic rocks of tonalitic-trondhjemite-granodioritic (TTG) composition and gabbroic rocks. Manganese phyllites, aluminous metasediments, metagreywackes, metabasalts, banded iron formations, and graphite schists belong to the Itapicurú Complex. The Saúde Complex comprises orthogneisses and aluminous paragneisses, metacherts and calcsilicate rocks. The Jacobina Group is represented by diabase, diorite, and gabbro dykes from the Serra de Jacobina mountain belt. The Lagoa D'Anta and Miguel Calmon granitoid bodies consist in syenite-granite, monzogranite, and granodiorite, meta-aluminous, high-K calc-alkaline. Besides, the detritus-lateritic sedimentary coverages of Cenozoic age (Mascarenhas & Silva, 2003). The corundum occurrence is inserted in a context of rocks represented by migmatized ortho- and paragneisses and mafic and ultramafic bodies. According to Souza (2002), in the field, these rocks are structured in a syncline, with axis oriented around the meridian direction.

3. METHODOLOGY

Fieldwork has been held in the municipalities of Mundo Novo/Piritiba, Uauá, and Capela do Alto Alegre. Mineralization were described, as well as the associated mineral paragenesis and host rocks. Representative samples were collected in each of the occurrences, to perform petrographic analysis and corundum characterization.

Petrographic study of the samples were performed in twelve samples, were mineral parageneses was characterized regarding the textures, microstructures, mineral determinations, and the relation of the minerals associated to the mineralization and the host rocks.

Corundum crystals in each of the occurrences were analyzed in the laboratory of the Centro Gemológico da Bahia. Equipment such as refractometer, hydrostatic scale, fluorescent chamber, and gemological microscope were used for this characterization.

By using the refractometer, it was possible to obtain the refraction index and the birefringence and the hydrostatic scale has provided the specific weight of each sample. By using the fluorescent chamber, it was possible to observe the corundum fluorescence and the gemological microscope allowed the classification of the samples, according to their type, texture, habit, shape, size, color, color zone, transparency, optical effects, and presence of inclusions. All the corundum analysis done in the laboratory of the Centro Gemológico da Bahia were non-destructive. Results of the mineralogical data of the studied corundum were organized in Table 1.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Corundum Occurrences

Uauá

Two occurrences were described in this region. The one located at Fazenda Riacho Grande, in which corundum mineralization is inserted in rocks from the Santa Luz Complex and its occurrence in

Fazenda Boa Vista, 500m NNE away from Fazenda Riacho Grande, where corundum is located in rocks from the Uauá Complex (Figure 2).

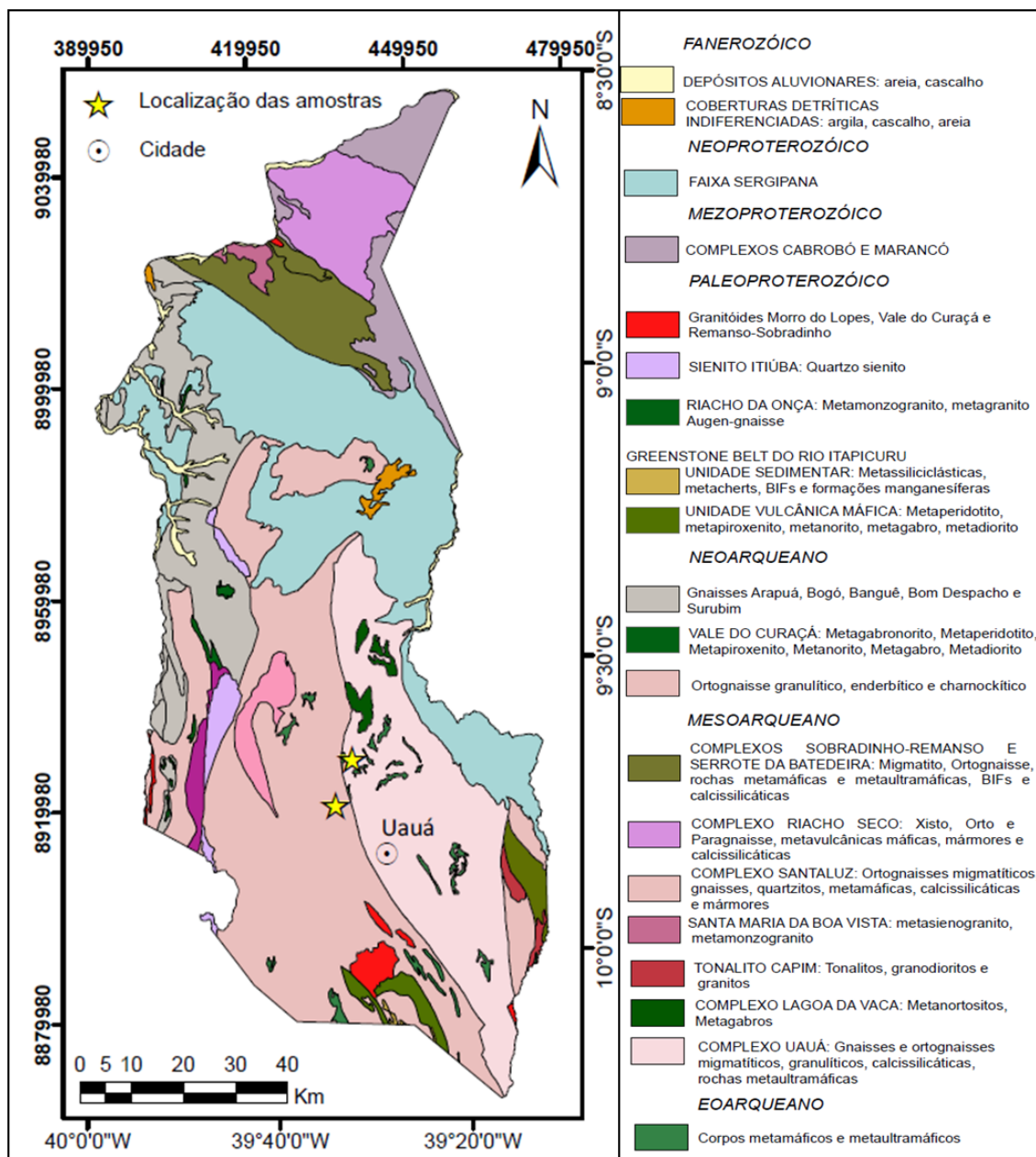


Figure 2. Geological Map of the Uauá/BA region, with the location of the studied occurrence. Source: Bahia geological database (CPRM, 2016)

In the Fazenda Boa Vista area, corundum mineralization occurs in a disseminated way in the contact zone between a mafic body (colocar o tipo de rocha composição) and a feldspar vein (Figure 3). In the mineralized contact zone, the mafic body occurs with a grayish color, medium to thin granulation, and strongly weathered. The feldspar vein presents whitish color, with feldspar crystal predominance, cut by micro quartz veins. Corundum occurs usually involved in a kaolinitic material of yellowish color and very thin granulation, of easy disaggregation.

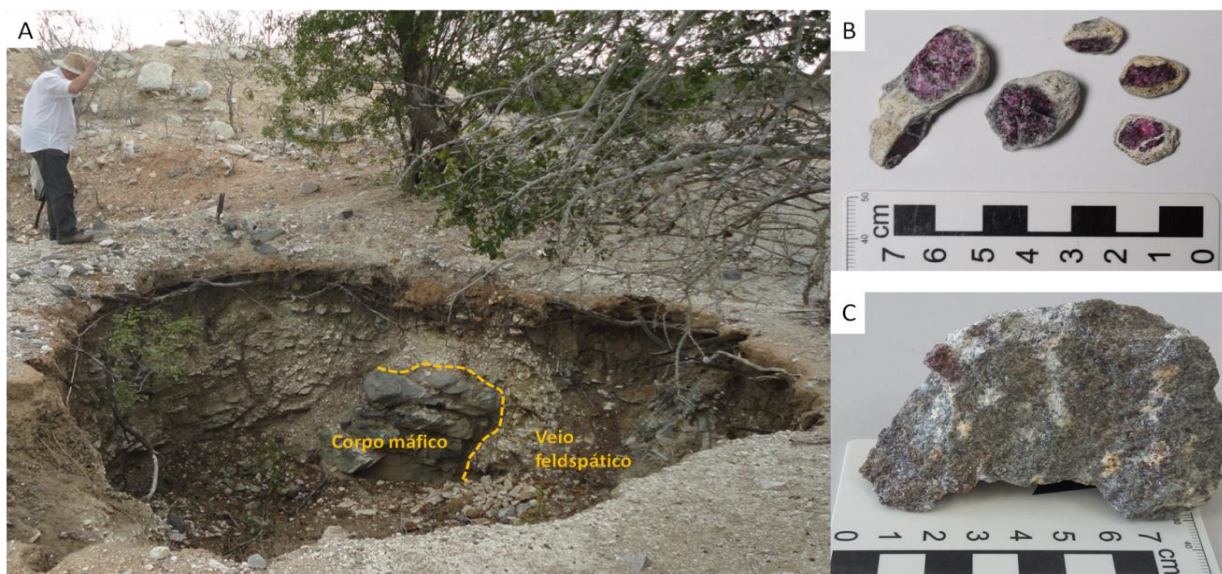


Figure 3. A) Contact zone between the mafic body and a feldspar shaft, where corundum mineralization occurs. B) Corundum crystals involved in kaolinitic material of easy disaggregation. C) Corundum crystal in a rock.

In the Fazenda Riacho Grande, geological features of corundum occurrences are similar to the ones from Fazenda Boa Vista. In both, abandoned mining ditches were found, following the mineralized contact zone.

Capela do Alto Alegre

In the municipality of Capela do Alto Alegre, corundum mineralization is found in the area of the Umbuzeiro Farm, associated to rocks from the Tanque Novo-Ipirá Complex (Figure 4).

The occurrence is found in shallow pits of abandoned mining ditches, with dimensions around 1m x 1m x 3m, aligned by the NNW direction, and 300m away from each other. Mineralization occur in gneisses of medium crystal size, rich in feldspar and biotite. Corundum always occurs associated with pink feldspar leucosomes (Figure 5), which cut in discordance the gneissic foliation. The corundum occur with no preferential orientation and loose corundum crystals are commonly found on the thin soil layers around the pits.

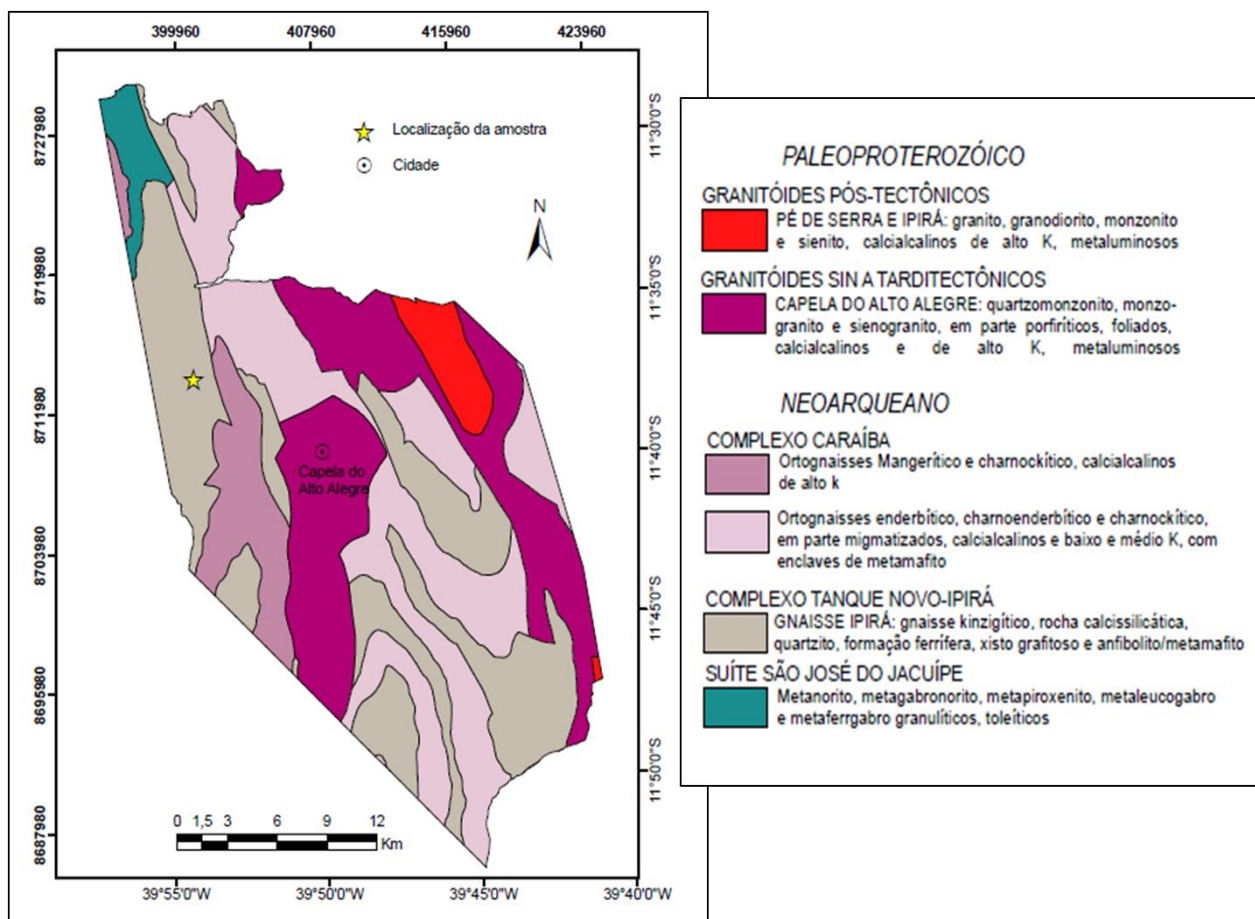


Figure 4. Geological Map of the Capela do Alto Alegre/BA region, with the location of the studied occurrence. Source: Bahia geological database (CPRM, 2016).

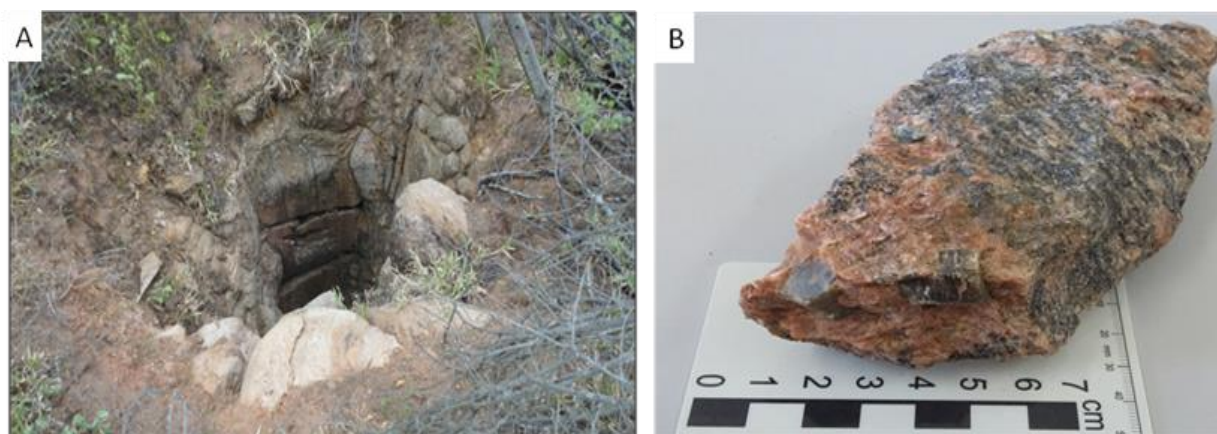


Figure 5. A) Abandoned mining ditch, with dimensions around 1m x 1m x 3m, where mineralization is found. B) Corundum crystals in gneiss, associated to pink feldspar leucosomes.

Mundo Novo/Piritiba

In the Mundo Novo/Piritiba region, corundum mineralization is found associated to rocks from the Mairí Complex, located at Vadu Farm (Figure 6).

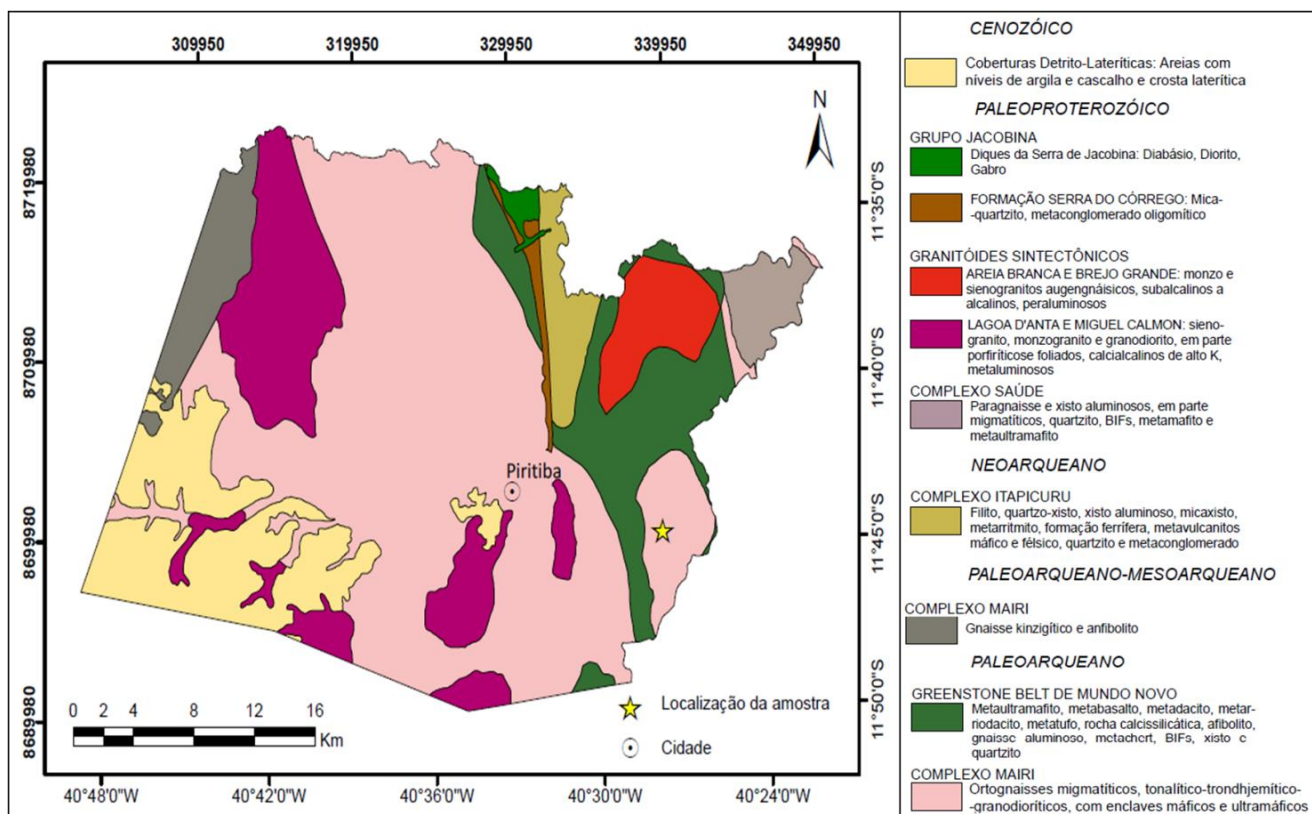


Figure 6. Geological Map of the Mundo Novo/Piritiba - BA region, with the location of the studied occurrence. Source: Bahia geological database (CPRM, 2016)

Corundum mineralization is found hosted in mica-schist (Figure 7), as lenticular bodies with muscovite and kyanite, and/or in granular mass lens. The contact of the mineralized zone with the host rock is gradational.



Figure 7. A) Corundum mineralization in mica-schist. A1 Zone, predominance of corundum shaped as small elongated crystals; A2 Zone, corundum is presented as granular masses. B) Corundum shaped as granular masses. C) Corundum shaped as small crystals.

4.2. Petrography

The studied occurrences have different geological and mineralogical characteristics and some difficulties were found in the thin section polishing, due the great difference in the hardness of the minerals and due the micrometric granulation of some samples, due to the effects of weathering. Thin sections were made from the embedded rocks of each of the occurrences.

Uauá

Samples from the mineralized contact zone between the mafic body and the feldspar vein were collected. The sample have porphyroblastic texture, and corundum porphyroblasts make up almost 50% of the rock, immersed in a thin matrix composed of altered muscovite and biotite crystals. The corundum is presented in an anhedral shape, low pleochroism, tabular habit, and high relief. Generally fractured, corundum crystals have partition planes associated with polysynthetic twinning plans and sometimes, has fractures filled by the matrix. Biotite occurs dispersed in the matrix and in contact with the corundum, strongly fractured (Figure 8).

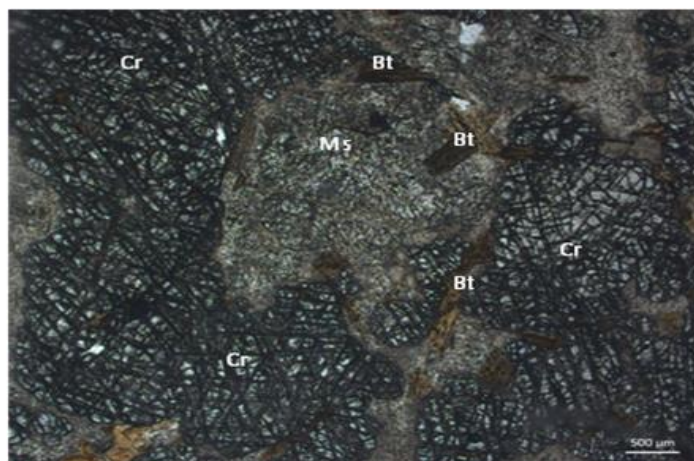


Figure 8. Fractured Corundum (Cr), immerse in Muscovite (Ms) matrix, and Biotite (Bt) crystals, in contact with corundum and dispersed in matrix, with uncrossed polarizers.

The leucocratic feldspar veins has predominance of albite crystals, cut by quartz micro veins and absence of corundum. Plagioclase is subhedral to anhedral, with albite twinning and albite-Carlsbad, and low relief. Some plagioclase crystals are turning into sericite, which occurs in the center and the edges of the mineral (Figure 9).

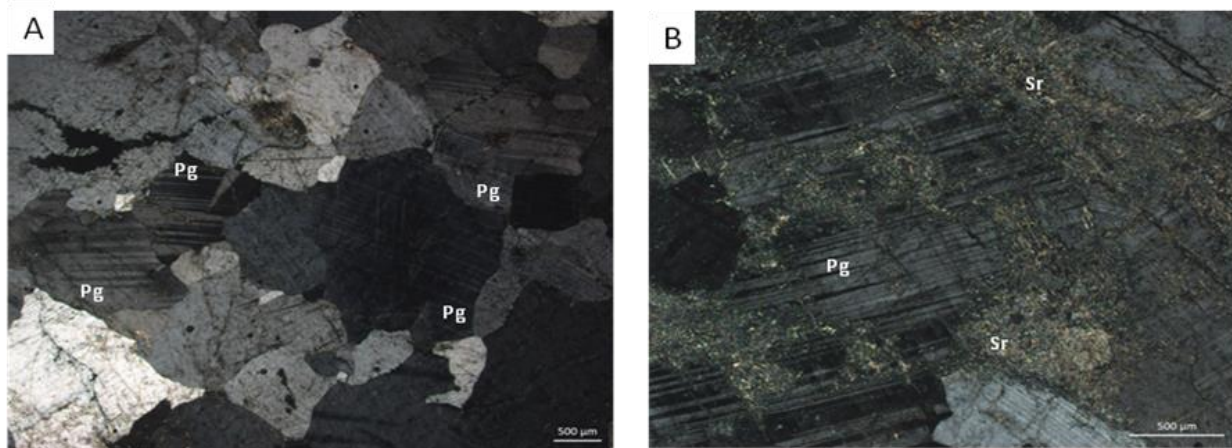


Figure 9. A) Plagioclase (Pg) crystals, with albite-Carlsbad twinning. B) Plagioclase (Pg) turning into sericite (Sr). Both pictures in crossed polarizers.

Capela do Alto Alegre

The mineralized zone sample has granoblastic texture. K-feldspar occurs in subhedral to anhedral shape and biotite exhibit dark brownish colors with crossed polarizers, light brown to dark brown pleochroism with uncrossed polarizers and medium relief. Some biotite crystals have high color interference and in some crystal boundaries occur alteration to iron oxides. Corundum porphyroblasts are subhedral, fractured, and are in reentrant contact with biotite and hercynite. Hercynite crystals are subhedral to anhedral, dark green in color, and are dispersed throughout the sample, always in contact with biotite (Figure 10).

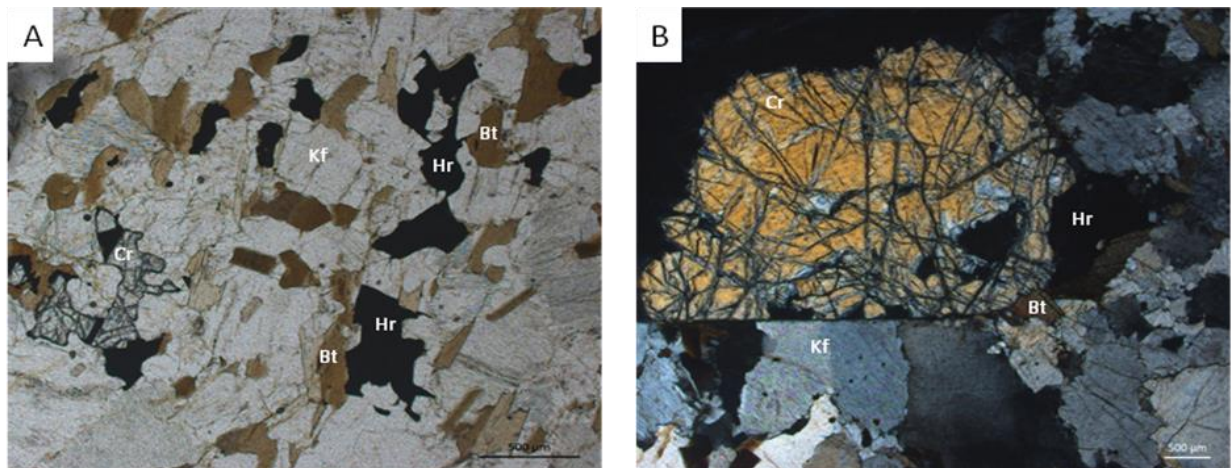


Figure 10. A) Hercynite (Hr) crystals, in contact with Biotite (Bt), with uncrossed polarizers. B) Corundum (Cr) porphyroblasts, fractured, in reentrant contact with Biotite (Bt) and Hercynite (Hr), with crossed polarizers.

Mundo Novo/Piritiba

The mineralized zone sample has nematoblastic texture. Corundum occurs as porphyroblasts, along with kyanite, both altered, immersed in a muscovite and chlorite matrix. Corundum crystals occur in granular masses, overlapping kyanite, and have pink color and pink tones pleochroism, sometimes with partition associated with polysynthetic twinning plans. Some crystals have corrosion features and are filled with muscovite. Kyanite has a prismatic habit, occurs in curved to reentrant contacts with corundum and is often altered. Rutile shows a reddish color, is dispersed in the matrix, can appear as inclusions in the corundum and is sometimes fractured. Chlorite occurs dispersed throughout the sample, associated with muscovite, and sometimes filling the fractures of the other minerals. Muscovite occurs in the matrix of the rock and has high birefringence and anomalous interference colors, showing thin size and some orientation, or medium texture without orientation, being sometimes radiated (Figure 11).

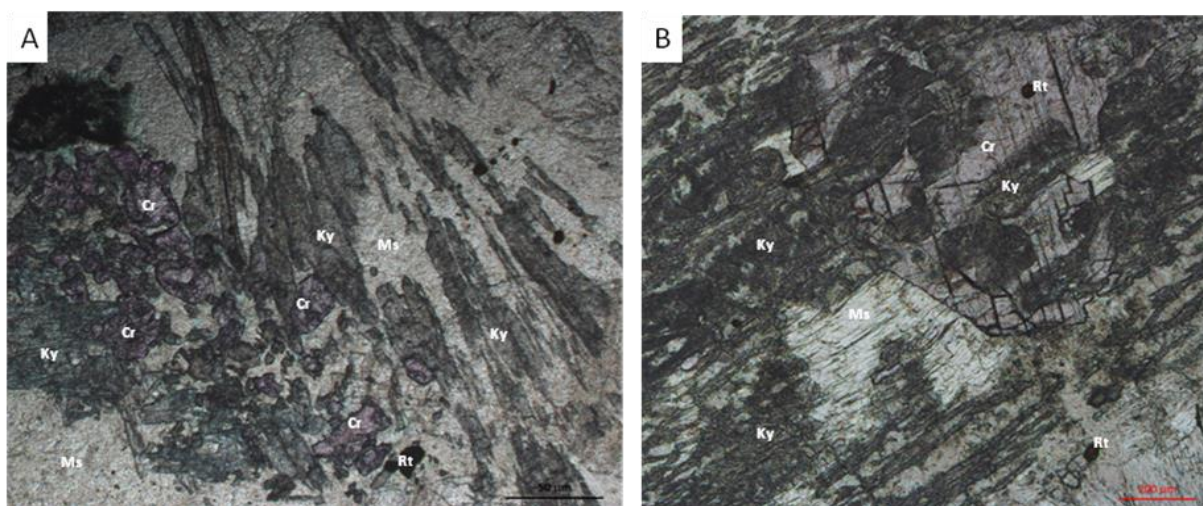


Figure 11. A) Porphyroblasts of corundum (Cr), Kyanite (Ky), and Rutile (Rt) crystals, in a matrix composed of muscovite (Ms) with uncrossed polarizers. B) Corundum (Cr) crystal with inclusion of Rutile (Rt) and Kyanite (Ky), in curved to recessed contacts, having corundum with uncrossed polarizers.

4.3 Corundum mineralogy

Uauá

The crystals present a vitreous luster, dark red, bordeaux, and brown color, ranging from translucent to opaque, and may present color zoning (Figure 12). Refractive indexes range from 1.762 to 1.770, with birefringence of 0.008. The specific weight ranges from 3.97 – 3.99. Under ultraviolet (UV) light, corundum shows a weak response, with reddish tones in both short waves (SW) and long waves (LW). Some corundum crystals have rutile inclusions.

In the Riacho Grande Farm, corundum crystals present the same characteristics of the ones found in the Boa Vista Farm, due to similar geological features from both occurrences.

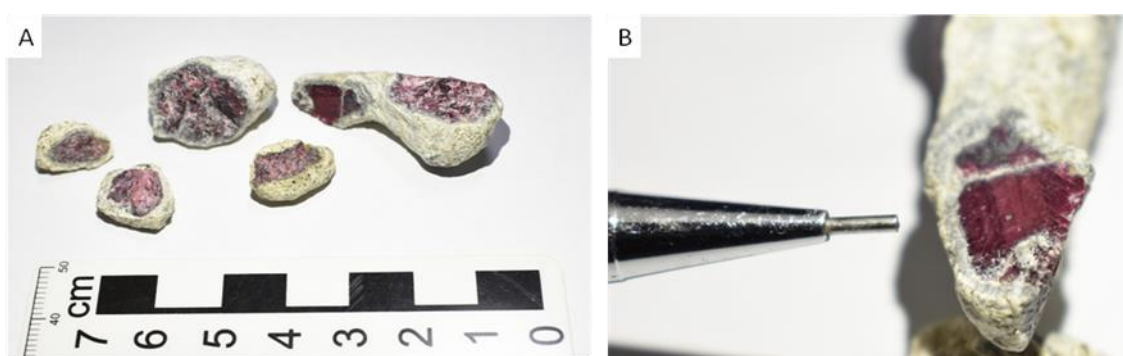


Figure 12. A) Corundum involved in kaolinitic material. B) Corundum with color zoning and partition plans, associated with polysynthetic twinning plans.

Capela do Alto Alegre

In the Umbuzeiro Farm, corundum occurs as hexagonal prisms and barrettes (idiomorphic crystals), with presence of fractures and horizontal streaks on their faces. The crystals have prismatic habit, vitreous luster, bluish, grey, and grayish green color, and may present color zoning. They are usually opaque, with dimensions that vary from millimetric to centimetric (Figure 13).

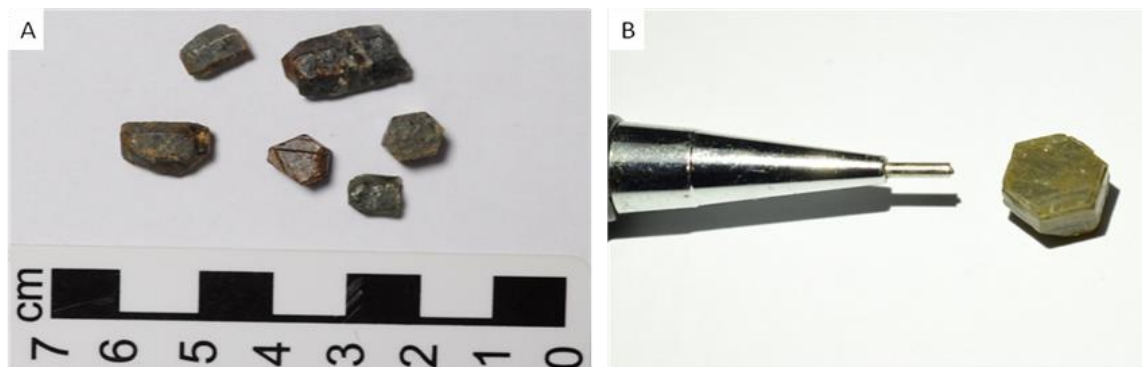


Figure 13. A) Corundum shaped as hexagonal prisms and barrettes. B) Corundum with color zoning.

Refractive indexes range from 1.760 to 1.768, with birefringence of 0.008. The specific weight ranges from 3.93 – 3.97. Under ultraviolet (UV) light, corundum shows weak, violet tones in both short waves (SW) and long waves (LW).

Mundo Novo/Piritiba

In the Vadu Farm, corundum occurs disseminated in a granular mass or in small crystal clusters, usually elongated and fractured, with millimetric to centimetric dimensions. They are opaque, present vitreous luster and pink, reddish pink and purplish red color, and may present color zoning (Figure 14).

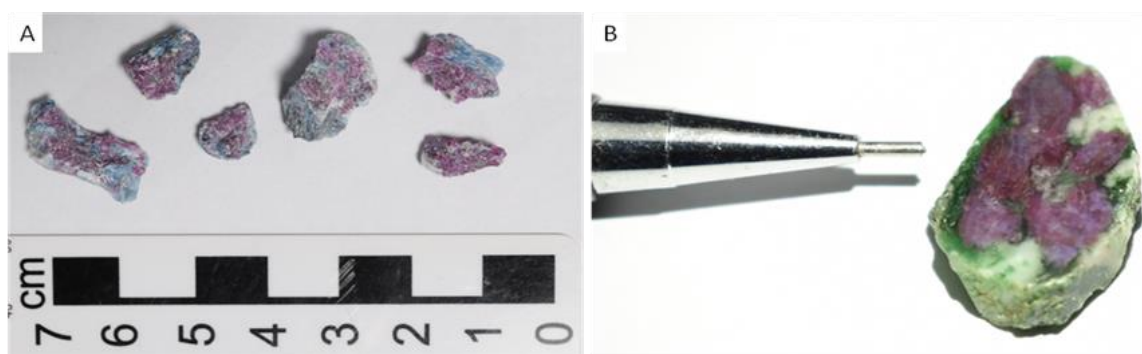


Figure 14. A) Granular masses of corundum crystals. B) Corundum with color zoning.

Refractive indexes range from 1.759 to 1.767, with birefringence of 0.008. The specific weight ranges from 3.87 – 3.92. Under ultraviolet light (UV), corundum shows weak response to short waves (SW) and moderate to strong response in long waves (LW), both in reddish tones.

Table 1 – Corundum mineralogical characteristics:

Properties:	Uauá	Capela do Alto Alegre	Mundo Novo/Piritiba
Color	dark red, bordeaux and brownish	grayish grey, grey and bluish	pink, reddish pink and purplish red
Shape	granular masses, or round crystals	hexagonal prisms and barrettes	granular masses, or elongated crystal clusters
Transparency	translucent to opaque	usually opaque	opaque
Refraction Index	1.762 – 1.770	1.760 – 1.768	1.759 – 1.767
Birefringency	0.008	0.008	0.008
Specific Weight	3.97 – 3.99	3.93 – 3.97	3.87 – 3.92
Fluorescence	SW – Weak LW – Weak In red tones	SW – Weak LW – Weak In violet tones	SW – Weak LW – Moderate to strong In red tones
Internal Characteristics	Polysynthetic twinning, fractures and color zoning	Color zoning, fractures and streaks	Fractures and color zoning

4.4 Corundum genesis and gemological potential of its occurrences

According to Simonet et al. (2008), the main worldwide corundum occurrences are associated to medium/high-grade metamorphic terrains. According to the aforementioned authors, the metamorphic deposits associated with corundum mineralization are very diverse, due to the fact that corundum appears under different pressure and temperature conditions, mainly in high amphibolite to granulite facies and in different geological settings. According to Garnier et al. (2004), the deposits associated with regional metamorphism are classified according to the chemical and geological characteristics of their protoliths, and the corundum crystallization is directly related to the metamorphic isochemical reactions acting on rocks poor in silicon and rich in aluminum. Metasomatic deposits, on the other hand, result from the leaching of the host rock, or the introduction of mineralizing fluids, along tectonic structures or in contact between chemically different rocks, associated with shear zones, to pegmatites, to scarns, or in interaction with mafic/ultramafic rocks (Dahanayake et al., 1980).

Corundum mineralization originated from the interaction between mafic rocks and mineralizing fluids, like the ones occurred in the Uauá region, can be found in Campo Belo/MG, due to the granulitic rocks interaction, with ultramafic bodies (Liccardo & Evangelista, 2001; Basílio, 1999), as well as the gemological corundum from the Mangare region in Mozambique (Rakotondrazafy et al., 2008), which represent the most complex desilicification phenomenon involving fluids from metapelites, in contact with meta-ultrabasites. In Kenya, corundum is found in eluvial gravel derived from desilicated shaft, which cut serpentized ultramafic rocks (Liccardo & Evangelista, 2000).

Corundum occurrences associated to the metasomatism of gneisses and aluminous granulites, such as the ones from the Capela do Alto Alegre region, can be found in deposits from Palmeiras, Indaiá, Sapucaia, and Caputira/MG, inserted in high-grade metamorphic terrains, composed by gneisses, granulites, and enderbites (Liccardo, 2005), or in deposits from Sri Lanka (Simonet et. al., 2008), associated with metamorphic rocks of granulite facies, where occur corundum of gemological quality of different colors.

Mineralization from the Mundo Novo/Piritiba region is associated to mica-schists and inserted in Greenstone Belt terrains, presenting complex geological evolution, with presence of mafic vulcanisms, sedimentations, igneous intrusions, regional metamorphism, and polyphasic deformation. In Passos and Bom Jesus da Penha/MG, there are descriptions of corundum occurrences associated to schists, which also suffered regional metamorphism of medium to high pressure (Zanardo, 1996).

Although there are corundum deposits widely distributed around the world, few are gemological quality deposits. The majority of deposits produce corundum of inferior quality, which are mostly destined to industrial application, to produce abrasives and cutting tools, and a portion of it is used for the fabrication of bijouterie and submitted to color enhancement treatments.

5. FINAL CONSIDERATIONS

The state of Bahia has extensive area of medium- and high-grade metamorphic terrains related to the São Francisco Craton, and composed of lithologies such as gneisses and aluminous granulites, mafic and ultramafic rocks, granitic and pegmatitic intrusions, favorable to corundum formation.

In this study, three occurrences of corundum from the São Francisco Craton were investigated. These occurrences are associated with different geological and genesis contexts within that craton. The

geological data obtained in the field and the petrographic and mineralogical analysis allowed to advance in the understanding of the types of corundum mineralization in Bahia.

In the occurrence of the municipality of Uauá, corundum mineralization occurs in a widespread manner, always in the contact zone between a mafic rock and a feldspar vein. Corundum is generally involved in kaolinitic material, yellowish in color and very fine granulation, easy to disintegrate. Corundum occurs in the form of small rounded crystals, sometimes translucent, with a vitreous luster, intense red and Bordeaux color. Some crystals may have gemological potential.

In the municipality of Capela do Alto Alegre, corundum mineralization is inserted in gneisses, rich in feldspar and biotite, always associated with pink feldspar leucosomes, which appear in discordance with gneiss foliation. The absence of crystals preferential orientation and the idiomorphic shape of the corundum, suggest that the mineralization is post-deformational. The crystals can also be found loose in the thin layer of soil. The corundum crystals are opaque, have a prismatic habit, a vitreous luster, with a color ranging from greyish green to bluish. It is suggested to perform heat treatment to try the improvement of the color.

Corundum mineralization in the Mundo Novo/Piritiba region is associated with mica-schist and inserted in the Greenstone Belt type terrains, which have complex geological evolution. According to Ribeiro (2010), there are two phases of corundum mineralization, which make up more than half of the ore mass in the mineralized zone. The first phase, responsible for the formation of the reddish-purple corundum in the form of granular masses and the second, in the bluish green color, in the form of elongated idiomorphic crystals. According to the author, these two generations of corundum suggest that the action of mineralizing fluids occurred in different pulses, with different proportions of Cr and Fe, responsible for the aforementioned colorations. These two corundum generations mentioned were not found. In this research, corundum occurrences were found only in opaque granular masses, predominantly millimetric, with a color ranging from pink to purplish red. This corundum may be suitable for industrial use.

Corundum from the Uauá and Capela do Alto Alegre regions may have gemological potential. Complementary studies and heat treatment are suggested, seeking to improve the quality of its color for a better use of this material in the lapidary industry. The corundum in the Mundo Novo/Piritiba region, on the other hand, can be used for industrial applications for the manufacture of abrasives.

6. REFERENCES

- ALMEIDA, F. F. M. (1977). O Cráton do São Francisco, *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 7, nº 4, p. 349-364.
- BARBOSA, J. S. F., SABATÉ, P. (2001). Os quatro blocos arqueanos do embasamento do Cráton do São Francisco na Bahia e a colisão no paleoproterozóico. In: SBG/NNE, *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 8, Anais, p. 131-133.
- BASÍLIO, M. S. (1999). A alexandrita de Malacacheta, Nordeste de Minas Gerais. Universidade Federal de Ouro Preto, *Dissertação de Mestrado*. 111p.
- COUTO, P. A. A. (2000). *Mapa Gemológico do Estado da Bahia. Texto Explicativo*, Salvador: CPRM.
- CPRM. (2016). *Base de dados geológicos do Estado da Bahia. Shapes e Mapas*.

- DAHANAYAKE, A. N., LIYANAGE, A. P. (1980). Genesis of Sedimentary Gem Deposits in Sri Lanka. *Sediment. Geol.* 25, p.105-115.
- FRÓES, R. J. B.; NOGUEIRA, F. C. (1976). Bibliografia comentada da geologia da Bahia: 1817 -1975. CPM, 570p.
- GARNIER, V., GIULIANI, G., OHNENSTETTER, D., SCHWARTZ, D. (2004). Les Gisements de Corindon, Classification et Genese. *Le Regne e Mineral.* vol. 55, pp. 7-44.
- HUGHES, R.W. (1990). *Corundum.* London, 314p.
- LICCARDO, A. (2003). Coríndon no Brasil, Ocorrências, Mineralogia, Química e Gênese. Tese de Doutorado, Universidade de Ouro Preto. Escola de Minas, 186p.
- LICCARDO, A. (2005). Rubi e safiras de Minas Gerais, Brasil. *Revista Escola de Minas*, vol. 58, n.3, pp 237-245.
- LICCARDO, A.; EVANGELISTA, H. J. (2000). Ocorrências de coríndon na porção leste de Minas Gerais. *Geonomos*, v.8, p39-45.
- LICCARDO, A.; EVANGELISTA, H. J. Coríndon In: Castaneda, C., Addad, J. E., Liccardo., A. (2001). *Gemas de Minas Gerais*, Ed. SBG, p234-259.
- MASCARENHAS, J. F.; SILVA, E. F. A. (2003). Greenstone Belt de Mundo Novo: caracterização e implicações metalogenéticas e geotectônicas no Cráton do São Francisco. CBPM, 31p.
- MISI, A., TEIXEIRA, J. B. G, SÁ, H. S. (2006). Mapa Metalogenético do Estado da Bahia. Texto explicativo. Mapas. CBPM/CPRM.
- PEREIRA, L. H. M. (1992). Serrinha, folha SC.24-Y-D-VI: Estado da Bahia: Texto explicativo. CPRM, 164p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- RAKOTONDRAZAFY, P. (2008). Gem Corundum deposits of Madagascar: A Review. *Ore Geology Reviews.* vol. 34, pp. 134-154.
- RIBEIRO, T. S. (2010). Mineralizações de Coríndon da Região de Mundo novo/BA: Caracterização Geológica e Petrográfica. Trabalho Final de Graduação, Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, 119p.
- SÁ, J. H. S. (1980). Ocorrências de coríndon da Fazenda Umbuzeiro. Relatório técnico interno da Coordenação de Produção mineral. Não publicado, 5p.
- SÁ, J. H. S. (2012). Coríndon na Bahia, Séries Arquivos Abertos, vol. 38, CPRM.
- SIMONET, C. (2008). A Classification of Gem Corundum Deposits Aimed Towards Gem Exploration. *Ore Geology Reviews*, vol. 34, pp. 127-133.
- SOUZA S. L. (2002). Projeto Greenstone Belt Mundo Novo: Estudos Geológicos Regionais. Salvador, CPRM, v.2, pg 1-62, mapas.
- ZANARDO, A. (1996). Novas ocorrências de coríndon na região de Passos e Bom Jesus da Penha - MG. *Geociências*, vol.15, p. 133-142.

CAPÍTULO 4

30/04/2021

Email – Monica Correa – Outlook

MIPE-D-21-00045 - Submission Confirmation

The Editors at Mineralogy and Petrology <em@editorialmanager.com>

Qua, 14/04/2021 16:02

Para: Monica Correa <monicacorrea_nica@hotmail.com>

Dear Mrs. Correa,

Thank you for submitting your manuscript,
"Corundum from Bahia/Brazil: mineral chemistry and causes of color", to Mineralogy and Petrology

The submission id is: MIPE-D-21-00045
Please refer to this number in any future correspondence.

During the review process, you can keep track of the status of your manuscript by accessing the web site:

Your username is: monicacorrea_nica@hotmail.com
If you forgot your password, you can click the 'Send Login Details' link on the EM Login page at
<https://www.editorialmanager.com/mipe/>.

Springer offers authors the option of making their articles available with open access via our Open Choice programme. We advise you to familiarise yourself with the details of Springer Open Choice in advance, to be able to decide quickly should your paper be accepted for publication. Further information can be found at www.springer.com/openchoice.

With kind regards,

Journals Editorial Office MIPE
Springer
P.O. Box 990
3300 AZ DORDRECHT
The Netherlands
Fax: +31 78 657 6254

CORUNDUM FROM BAHIA/BRAZIL: MINERAL CHEMISTRY AND CAUSES OF COLOR

Monica CORREA¹, Carla Cristine PORCHER², Márcia BOSCATO GOMES³, Ruth HINRICHS⁴, Susan DRAGO⁵

- (¹) Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PO Box 15001, zip code 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil
- (²) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves Avenue, 9500, zip code 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil
- (³) Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves Avenue, 9500, zip code 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil
- (⁴) Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves Avenue, 9500, zip code 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil
- (⁵) Laboratório de Microsonda eletrônica, Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves Avenue, 9500, zip code 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil

ABSTRACT

Coveted all over the world, corundum can have numerous hues of various colors due to the presence of transition metal cations such as Fe³⁺, Fe²⁺, Cr³⁺, Ti⁴⁺, and V³⁺, which isomorphically replace about 1% to 5% of Al³⁺ ions. The identification and quantification of these elements can provide important information about the genesis of the corundum. In Bahia, several occurrences of this mineral are known, but little is known about their origin. Among these occurrences, the most significant are those in the regions of Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba. Corundum specimens of various colors, from these regions, were characterized in mineralogical and chemical terms, with the aim of identifying the chromophoric elements and advancing the understanding of the genesis of mineralization. The corundum of Bahia have Cr and Fe as their main chromophores. In the samples from Uauá, the colorations are related to the simultaneous presence of Cr and Fe, in Capela do Alto Alegre, to the presence of high percentages of Fe and in Mundo Novo/Piritiba to the presence of associated Cr, Fe and Ti, with the intensity of the color varying according to their content. The concentrations of trace elements can also be used as indicative for the different habits of corundum, since the morphological variations are correlated with the levels of Cr and Fe.

Keywords Corundum, Bahia, mineral chemistry, causes of color

1. Introduction

Corundum is an allochromatic mineral and may present a variety of different colors, or hues of the same color, due to the presence of metallic impurities in its crystalline structure, such as Fe, Ti, Cr, Mn, Ga and V. Different quantities, concentrations and proportions of these impurities, are responsible for a large number of color varieties of this mineral. In the nature, corundum can be found in red, blue, lilac, pink, yellow, green, purplish, gray and colorless. Gemological variety of red color (ruby) contains Cr³⁺, while gemological variety of blue color (sapphire) contains Fe²⁺ and Ti⁴⁺. Yellow-colored varieties are due to the presence of Fe⁺³ or Ni⁺³ ions and green ones include Fe⁺² or Fe⁺³ and Ti⁺⁴ ions. Colorless

corundum is made up exclusively of aluminum oxide and may be called colorless sapphire (Deer, et al 1993). According to Nassau (1983), Cr may enter the corundum crystalline structure as a trivalent ion Cr^{3+} , isomorphically replacing some aluminum ions Al^{3+} (about 1%). This substitution may lead to linear increments in structural parameters of the mineral unit cell.

The identification and quantification of minor elements, especially transition metals cations such as Fe^{3+} , Fe^{2+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} and V^{3+} , may provide important information about corundum genesis. Several authors such as Schwarz (1996), Sutherland et al. (1998), Sutherland & Schwartz (2001), Peucat et al., (2007), Zwaan et al., (2015), Sutherland et al. (2015), Wang et al. (2017), Hughes (2017) and Voudouris et al. (2019), have been using, over the years, concentration of metal ions analysis, together with inclusion studies to obtain the mineral origin.

The gemological varieties of corundum, ruby and sapphire, are desired all over the world reaching thousands of dollars per carat (1ct = 0.2g). They comprise about 50% of the gem market in the world, which is only 1% of corundum mined across the globe (Hughes, 1997). Although some occurrences have been cited since the 1930s by Hussak (1917) and Guimarães (1934), corundum deposits in Bahia have not yet been systematically characterized or explored.

The most significant occurrences in Bahia are found in the regions of Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba cities (Fig. 1). Even restricted to nearby regions, these occurrences express a variety of corundum types, with different physical, chemical, mineralogical, crystallographic properties, possibly related to different origins and causes of color. In the Uauá region, corundum appears as dark red, bordeaux and brownish rounded crystals in the contact zone between a mafic rock and a feldspathic vein. In the Capela do Alto Alegre region, corundum is a greyish green and bluish gray prismatic mineral inserted in gneisses. Corundum from Mundo Novo/Piritiba region is a pink, reddish pink and purplish red mineral distributed as granular masses associated with mica schists. The minerals from Uauá and Capela do Alto Alegre regions may have gemological potential, while the ones from Mundo Novo/Piritiba region are intended for industrial application. Genesis and characterization of these occurrences were described in detail by Correa et al., (2020) and in Table 1. In the current work, we bring mineral chemistry results of these samples, aiming to identify the causes of color and their variations.

Table 1 Corundum mineralogical characteristics: (adapted from Correa et al., 2020)

Properties:	Uauá (U)	Capela de Alto Alegre (CAA)	Mundo Novo/Piritiba (MN/P)
Color	Dark red, bordeaux and brownish	Grayish green and bluish gray	Pink, reddish Pink and purplish red
Variety	Ruby	Sapphire	Ruby
Shape	Granular masses, or round crystals	Hexagonal prisms and barrettes	Granular masses, or elongated crystal clusters
Transparency	Translucent to opaque	Usually opaque	Opaque
Internal Characteristics	Polysynthetic twinning, fractures and color zoning	Color zoning, fractures and streaks	Fractures and color zoning

Refraction Index	1.762 – 1.770	1.760 – 1.768	1.759 – 1.767
Specific Weight	3.97 – 3.99	3.93 – 3.97	3.87 – 3.92
Occurrences	in the contact zone between mafic rock and a feldspar shaft	inserted in gneisses, always associated with pink feldspar leucosomes	associated to mica-schists
genesis	interaction between mafic rock and mineralizing fluids	metasomatism of gneisses and aluminous granulites	inserted in Greenstone Belt terrains
samples	E, D, 3	2B, 2P, C (CR)	B, A (AM, AE)
inclusions	-	zircon	Rutile

2. Materials and Methods

2.1 Samples preparation

Eight samples of corundum from the cities of Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba were investigated (Fig. 1), being five polished samples and three samples in raw state (Fig. 2). Samples were cut and mounted on a resin support, polished and metallized with carbon to further Electron Microprobe and Scanning Electron Microscopy analysis. To Raman Spectroscopies analysis, corundum samples were cut into thin sections and polished on both sides. Due to its high hardness, corundum was cut with the assistance of a small circular diamond saw, and its polishing was performed on a cut table, using copper disc, diamond paste and rotation speed around 700 rpm.

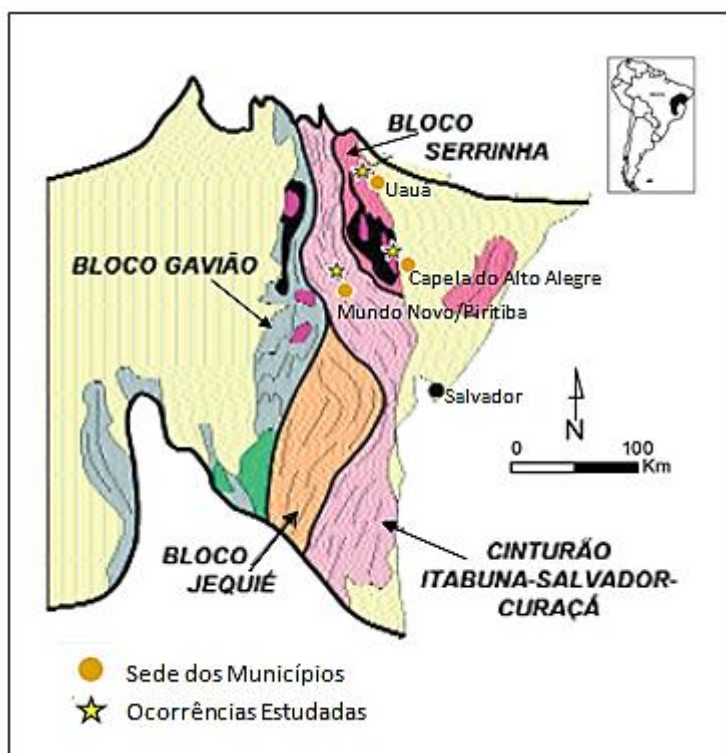


Fig. 1 Simplified image of part of the São Francisco Craton with the main geological units and location of the studied corundum

2.2 Color description and classification

Color description was carried out based on the GIA GemSet shade set (full version of 324 pieces) in the Analysis Laboratory of the Gemological Center of Bahia. Color description and classification were carried out through visual naked eye comparison, with a hand magnifier and a Schneider lamp, with daylight and ultraviolet light, specific for color grading.

2.3 Scanning electron microscopy

Scanning Electron Microscopy analyzes were performed in order to obtain information about textures, compositional zoning, mineral chemistry, distribution of elements in the samples and inclusions identification. We used a scanning electron microscope JEOL-6610LV with a Bruker XFLASH 5030 EDS (energy dispersive spectroscopy) detector from the Isotopic Geology Laboratory of the Center for Studies in Petrology and Geochemistry at the Geosciences Institute, of the Federal University of Rio Grande do Sul. Backscattered electron imaging and EDS analysis were performed under analytical conditions of 15 kV of acceleration voltage. The calibration of the EDS detector was performed with a Cu standard and typical analytical errors of around 2%.

2.4 Electronic microprobe

Electronic Microprobe was performed to quantify the mineral chemistry associated with color zoning and to verify presence of hydrated phases and polycrystalline material in twinning plans. The equipment used was a electronic microprobe Probe Cameca SXFive from the Laboratory of Electronic Microprobe, Center of Petrology and Geochemistry Studies in the Institute of Geosciences of the Federal University of Rio Grande do Sul.

The analytical conditions were: acceleration potential of 15keV, beam current of 20nA, 15nA and 7nA for the detection of trace elements and beam diameter from 5 μ m to 1 μ m. The analyzes were performed in WDS (wavelength dispersive spectroscopy) with crystals of TAP, LLIF and LPET. The elements analyzed and the standards used were, respectively: Si-wollastonite, Ti-rutile, Al-corundum, Cr-chromite, Fe-hematite, Mg-periclase, Mn-rhodonite, Ca-wollastonite, Na-albite, Zn -willemite, V-vanadium metal, synthetic gallium Ga-arsenide.

2.5 Raman spectroscopy

Raman Spectroscopy Analyzes in corundum samples aimed to identify hydrated phases and alteration products associated with this mineral, and were carried out using the Acton Research bench Raman Spectrometer equipped with a 632.8nm wavelength laser, Zeiss microscope and Princeton CCD camera, installed at the Laboratory of Microanalysis of the Physics Institute at the Federal University of Rio Grande do Sul. The spectra was previously calibrated with the addition of diamond as standard. ($\lambda = 1332 \text{ cm}^{-1}$). The spectra were made in the range of 200 to 1800 number of wave. cm^{-1} .

3. Results

3.1 Varieties of color and habit of corundum

Corundum from the Uauá city showed a dark red, bordeaux and brownish color, with a predominance of rounded crystals, prismatic habit, which may tend to rhombohedron. In the Capela do Alto Alegre region, on the other hand, the corundum colors are greyish green, bluish gray and gray, and occur as hexagonal prisms and barrel. In the Mundo Novo/Piritiba cities, corundum are pink, reddish pink and purplish red and are found as granular masses, or crystals clusters with prismatic habit.

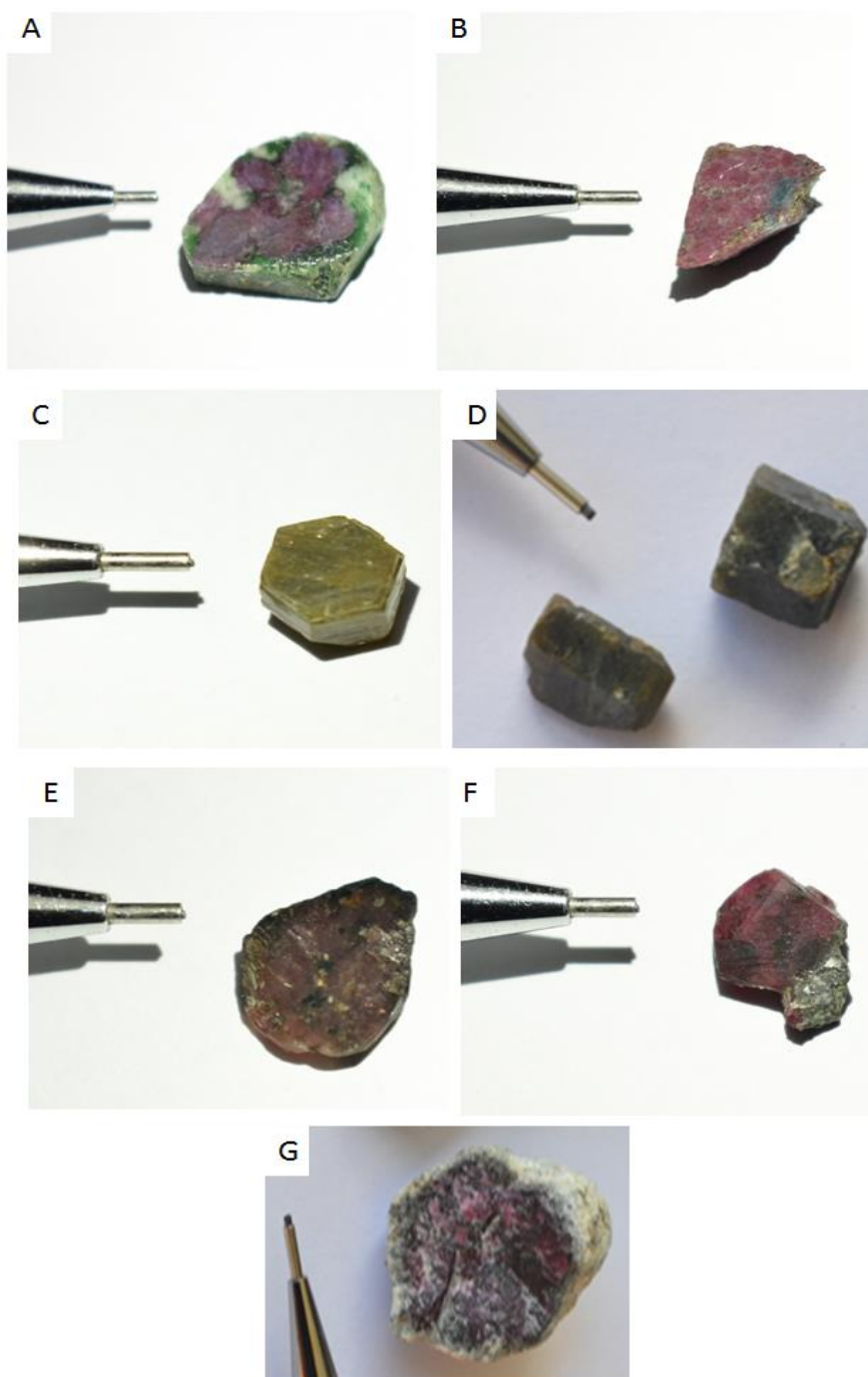


Fig. 2 Analyzed corundum samples: A) sample of polished crystal cluster from Mundo Novo/Piritiba, with color ranging from reddish pink to purplish red (sample A); B: sample of polished granular mass from Mundo

Novo/Piritiba, with pink color (sample B); C: polished sample from Capela do Alto Alegre, with grayish green color and prismatic habit (sample C); D: crude samples from Capela do Alto Alegre, in barrettes, with bluish gray color (samples 2P and 2B, respectively); E: rounded polished crystal from Uauá, with brownish color (sample E); F: polished sample of Uauá, with dark red coloring and prismatic habit (sample D); G: raw rounded crystal from Uauá, with bordeaux color (sample 3)

3.1 Corundum mineral chemistry

Corundum shows many different colors or hues of the same color, due to the presence of chromophore elements in its crystalline structure, such as Fe, Ti, Cr, Mn, Ga, and V, and may include Zn, Mg, Na and Ca in different quantities, concentrations and proportions. The obtained electron microprobe analyzes can be found in Tables 2, 3, 4 and 5, and allowed to identify the chromophore elements and their percentages responsible for the corundum coloration, as following results and discussions. Tables 2, 3 and 4 present, respectively, representative analyzes of the corundum of Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba. Table 5 presents all the Chemical analyzes results in these occurrences.

Table 2: Chemical representative analyzes results (% weight) of the Uauá corundum

Sample	3		D		E	
V₂O₃	n.d.	n.d.	0,002	0,004	n.d.	n.d.
SiO₂	0,027	1,14	0,020	0,021	0,19	0,039
TiO₂	0,031	0,004	0,011	0,031	0,089	0,024
Al₂O₃	93,9	94,5	95,4	98,1	95,3	98,4
Cr₂O₃	2,19	2,11	4,43	2,14	0,44	0,26
Ga₂O₃	0,020	n.d.	-	-	-	n.d.
MgO	0,010	0,020	0,019	0,003	0,078	n.d.
CaO	n.d.	0,018	0,009	0,017	0,32	0,001
MnO	n.d.	0,005	n.d.	0,031	0,016	0,017
FeO	0,50	0,54	0,30	0,37	0,26	0,49
ZnO	n.d.	0,050	-	n.d.	-	n.d.
Na₂O	n.d.	0,006	-	-	-	n.d.
Total	96,6	98,4	100,2	100,7	98,7	99,2
V	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Si	0,001	0,040	0,001	0,000	0,007	0,000
Ti	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001
Al	3,926	3,876	3,872	3,932	3,905	3,98
Cr	0,061	0,058	0,121	0,058	0,067	0,007
Ga	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001
Ca	0,000	0,001	0,000	0,001	0,012	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Fe	0,015	0,016	0,009	0,011	0,008	0,014
Zn	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	4,005	3,993	4,003	4,004	4,005	4,004

n.d. = not detected; **Number of ions on the basis of 6 O equivalents**

Table 3: Chemical representative analyzes results (% weight) of the Capela do Alto Alegre corundum

Sample	2B		2P		C		CR	
V₂O₃	n.d.	0,020	n.d.	0,019	0,006	n.d.	0,026	0,018
SiO₂	0,033	0,007	0,064	0,072	0,003	0,032	0,055	0,023
TiO₂	0,008	0,005	0,015	n.d.	n.d.	0,018	0,020	n.d.
Al₂O₃	96,1	97,3	97,8	96,9	99,2	97,4	98,2	96,4
Cr₂O₃	0,021	0,003	0,021	0,015	0,010	n.d.	n.d.	n.d.
Ga₂O₃	0,023	0,046	0,085	n.d.	-	0,053	-	-
MgO	n.d.	0,001	0,005	0,003	0,005	0,002	0,010	n.d.
CaO	0,004	0,014	0,013	n.d.	n.d.	0,001	n.d.	0,019
MnO	0,018	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,002	n.d.	0,027
FeO	1,19	1,14	1,18	1,05	1,29	0,98	1,26	1,15
ZnO	n.d.	0,020	0,027	n.d.	-	0,015	-	-
Na₂O	n.d.	n.d.	0,015	n.d.	-	n.d.	-	-
Total	97,4	98,6	99,3	98,1	100,6	98,5	99,6	97,7
V	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Si	0,001	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002	0,001
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Al	3,973	3,975	3,970	3,963	3,975	3,971	3,972	3,974
Cr	0,001	0,000	0,001	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
Ga	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ca	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,035	0,033	0,034	0,029	0,037	0,036	0,036	0,035
Zn	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	4,011	4,011	4,012	4,009	4,012	4,011	4,011	4,011

n.d. = not detected; **Number of ions on the basis of 6 O equivalents****Table 4:** Chemical representative analyzes results (% weight) of the Mundo Novo/Piritiba corundum

Sample	A		AM		AE	
V₂O₃	0,012	0,029	0,009	0,031	0,032	0,027
SiO₂	0,020	n.d.	0,0375	0,0337	0,044	0,0429
TiO₂	0,167	0,146	0,012	0,025	0,037	0,008
Al₂O₃	95,7	98,7	95,9	95,4	98,1	97,8
Cr₂O₃	1,04	0,17	2,82	2,62	0,99	1,29
Ga₂O₃	n.d.	0,001	-	-	-	-
MgO	0,015	0,005	0,001	0,007	0,012	n.d.
CaO	0,002	n.d.	0,009	n.d.	0,003	0,016
MnO	n.d.	n.d.	n.d.	0,014	0,026	n.d.
FeO	0,25	0,27	0,13	0,15	0,12	0,10
ZnO	0,034	0,005	-	-	-	-

Na₂O	0,001	n.d.	-	-	-	-
Total	97,2	99,3	98,9	98,3	99,4	99,3
V	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
Si	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001
Ti	0,004	0,004	0,000	0,001	0,001	0,001
Al	3,958	3,984	3,918	3,921	3,966	3,960
Cr	0,029	0,005	0,077	0,072	0,027	0,035
Ga	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Fe	0,007	0,008	0,004	0,004	0,004	0,003
Zn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	4,001	4,001	4,001	4,001	4,001	4,001

n.d. = not detected; **Number of ions on the basis of 6 O equivalents**

The Uauá dark red corundum (sample D) analysis show a high Cr₂O₃ concentration, with values of Cr₂O₃ ranging from 2.15% to 4.43%, followed by a bordeaux colored corundum (sample 3), ranging from 2.11% to 2.19%. The brownish-colored corundum (sample E) had a low Cr₂O₃ concentration, with values of Cr₂O₃ ranging from 0.26% to 0.45%. Regarding the FeO content, the bordeaux - colored corundum (sample 3) showed the greatest concentration, with values of FeO ranging from 0.47% to 0.55%. The dark red corundum (sample D) has values ranging from 0.27% to 0.44%, and the brownish corundum (sample E) from 0.26% to 0.49%. Regarding TiO₂ and MgO contents, the dark red corundum (sample D) presented the highest concentrations in comparison to the other samples, with values ranging from 0 to 0.13% of TiO₂ and 0 to 0.02% of MgO. The brownish corundum (sample E) has values ranging from 0 to 0.09% and 0 to 0.02 respectively, while the bordeaux - colored corundum (sample 3) range from 0.004% to 0.033% and 0.007% to 0.023% respectively (Fig. 3).

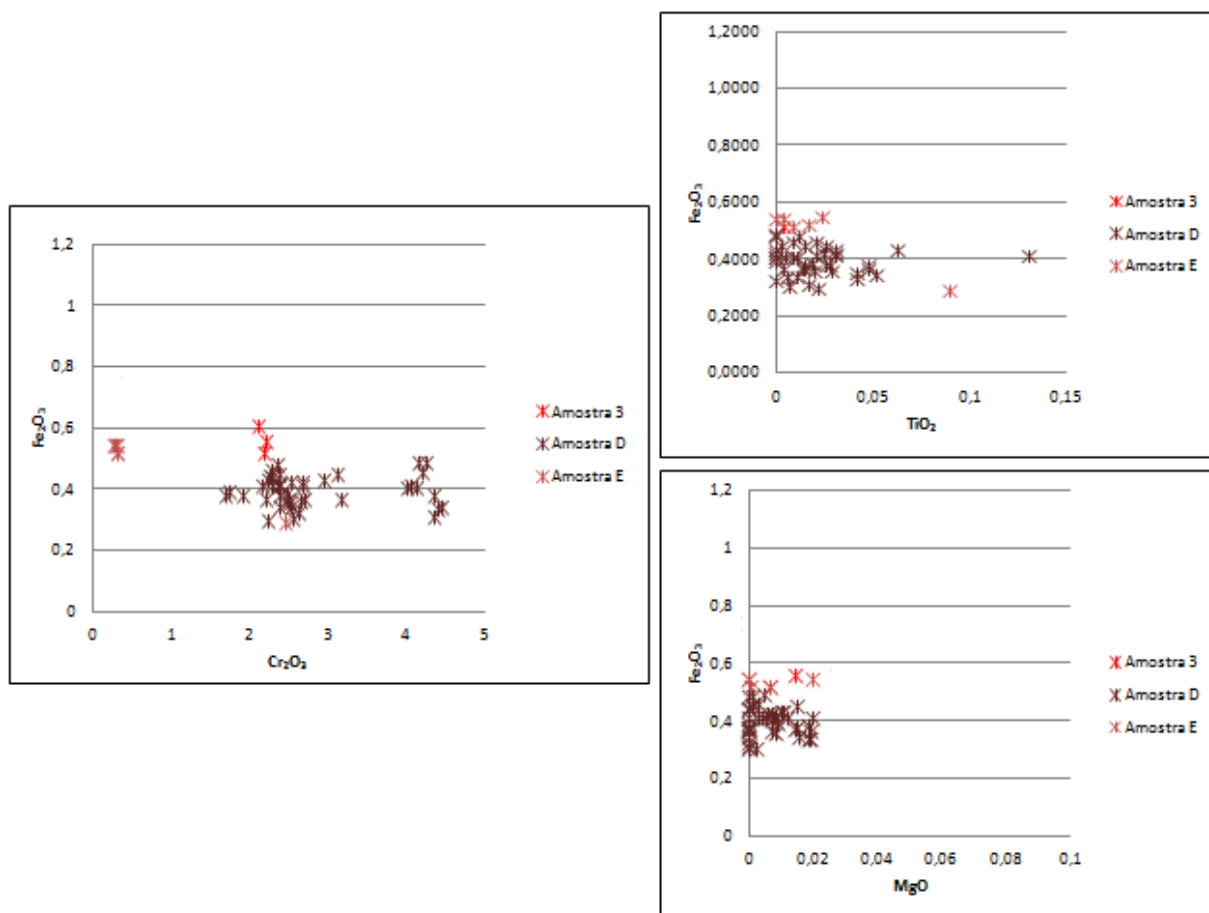


Fig. 3 Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 and MgO contents of the Uauá corundum samples

In the Capela do Alto Alegre occurrence, bluish gray corundum is represented by samples 2B (basal) and 2P (prismatic). The grayish green corundum is represented by samples C and CR (the sample CR consists of a color zoning area of sample C).

In general, all samples had low % of MgO , TiO_2 and Cr_2O_3 , and a higher concentration for FeO . Sample 2B has values ranging from 0 to 0.009% of MgO , 0 to 0.008% of TiO_2 and 0 to 0.021 Cr_2O_3 . FeO values ranged from 1.14% to 1.19%. The 2P sample has values ranging from 0 to 0.019% of MgO , 0 to 0.024% of TiO_2 and 0 to 0.020% of Cr_2O_3 , and its FeO values ranged from 1.05% to 1.18%. Sample C contents ranged from 0 to 0.015% of MgO , 0 to 0.035% of TiO_2 and 0 to 0.02% of Cr_2O_3 . FeO values ranged from 0.98% to 1.29%. The CR sample contents ranged from 0 to 0.015% of MgO , 0 to 0.035% of TiO_2 , 0 to 0.019% of Cr_2O_3 and had the highest FeO concentration, with values ranging from 1.15% at 1.25% (Fig. 4).

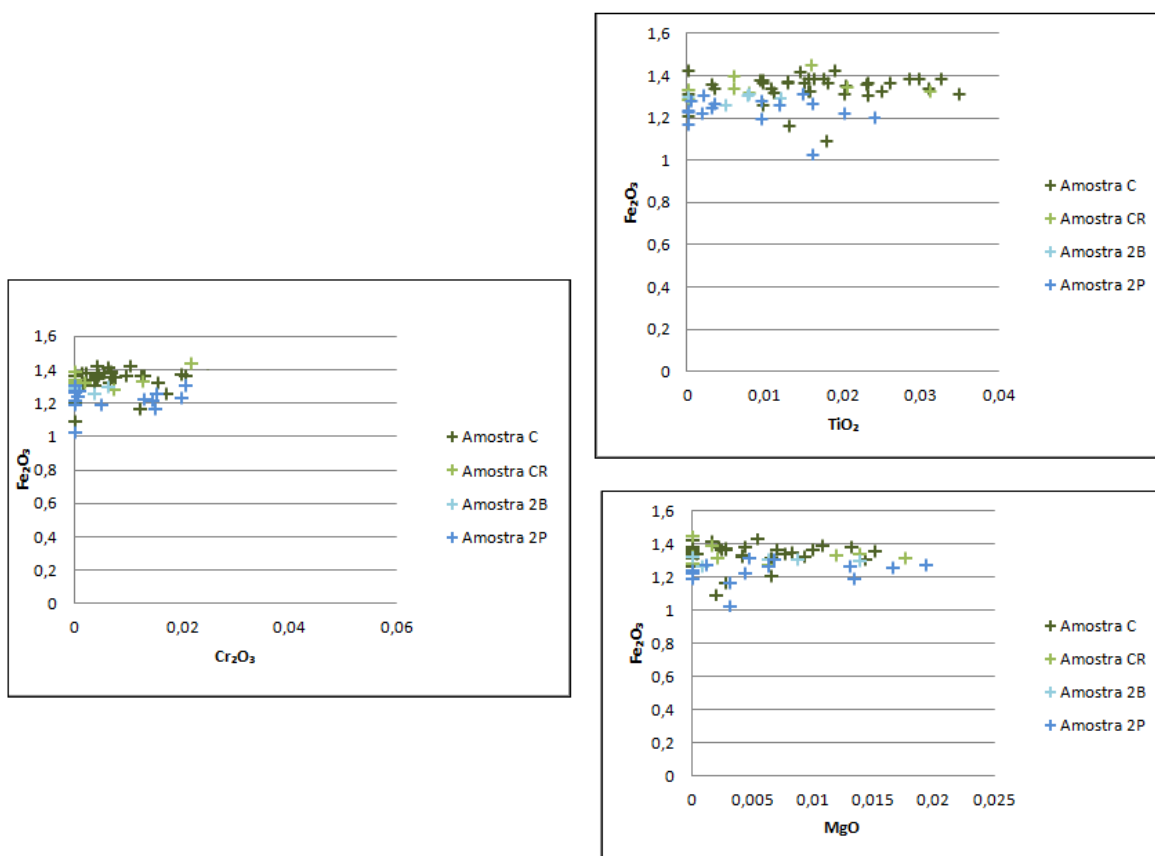


Fig. 4 Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e MgO contents of the Capela do Alto Alegre corundum samples

In the Mundo Novo/Piritiba region, pink-colored corundum is represented by samples A and B. Samples AM and AE correspond to the color zoning in sample A. Sample AE has a purplish red color, and the AM sample has a pink reddish color.

Analysis obtained in the pink corundum samples show similar values of MgO , higher concentration of FeO and TiO_2 in sample A and higher concentration of Cr_2O_3 in sample B. In sample A, MgO varies from 0 to 0.015%, TiO_2 from 0 to 0.24%, Cr_2O_3 from 0.17% to 1.05% and FeO from 0.18% to 0.27%. In sample B, MgO varies from 0 to 0.018% TiO_2 from 0 to 0.036%, Cr_2O_3 from 0.11% to 1.63% and FeO 0.06% to 0.13%.

The purplish red corundum has 0 to 0.012% of MgO , 0.008% to 0.037% of TiO_2 , 0.99% to 1.29% of Cr_2O_3 and 0,099% to 0.123% of FeO . The reddish-pink corundum, shows 0.001% to 0.007% of MgO , 0.012% to 0.025% of TiO_2 , and FeO contents slightly higher than purplish red sample, varying from 0.13% to 0.15%, and finally high Cr_2O_3 concentration, with values between 2.62% to 2.82% (Fig. 5).

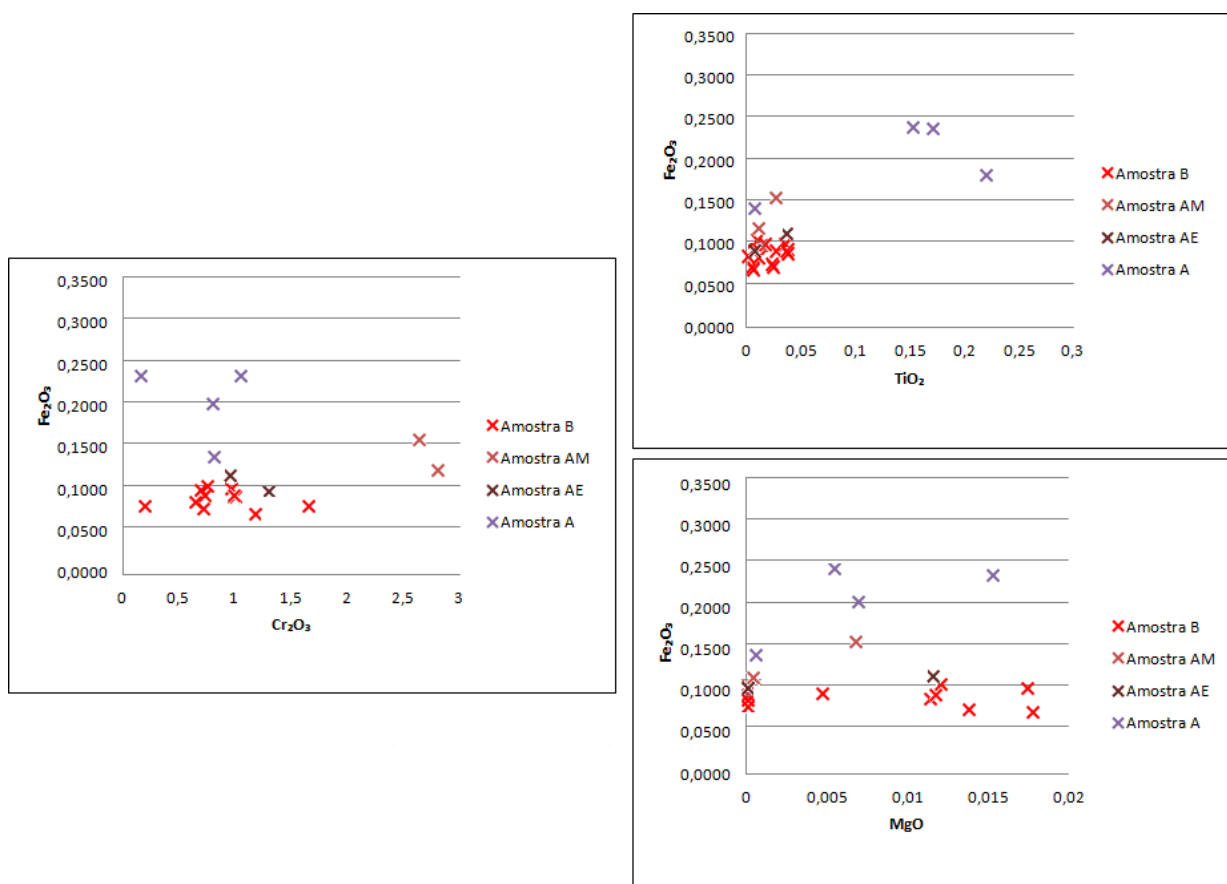


Fig. 5 Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 and MgO contents of Mundo Novo/Piritiba corundum samples

Concentrations of the chromophore elements can also be used as indicative for different habits of corundum (Sorokina et al 2016). These morphological variations may be directly correlated with the concentration of Cr and Fe in the crystal. When plotting the morphological variations of the corundum correlated with the Cr and Fe concentration (Fig. 6), it was observed that Cr and Fe concentrations of Uauá and Capela do Alto Alegre corundum, correspond with their respective habits, prismatic and hexagonal prism/barrels. The Mundo Novo/Piritiba corundum, which are found as prismatic and elongate crystals fall in a area of the graphic within dipyramidal and prismatic habit.

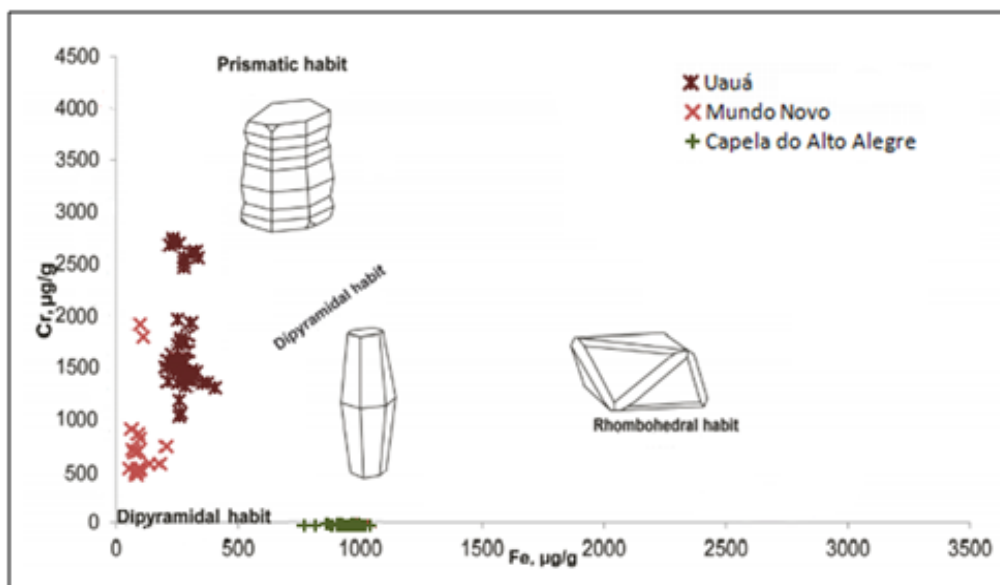


Fig. 6 Morphological variations of corundum from Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba correlated with the levels of Cr and Fe (Adapted from Sorokina et al, 2016).

3.2 Alteration in corundum

Samples from the three occurrences of corundum were analyzed in order to verify the presence of hydrated phases of alumina such as diaspore ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), bohemite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), gibbsite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) and bayerite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), and other possible aluminous minerals such as damourite, zoisite, muscovite and spinel, as products of alteration of corundum.

The presence of zoisite mineral, as a product of corundum alteration were detected in the Uauá corundum through Raman spectroscopy (Fig. 7). Diaspore was not verify with this technique. We confirmed the absence of diaspore with the microprobe/electronic microscopy results, which result in values of Al_2O_3 of 94.06% to 98.85% in weight, without the presence of water (Table 5).

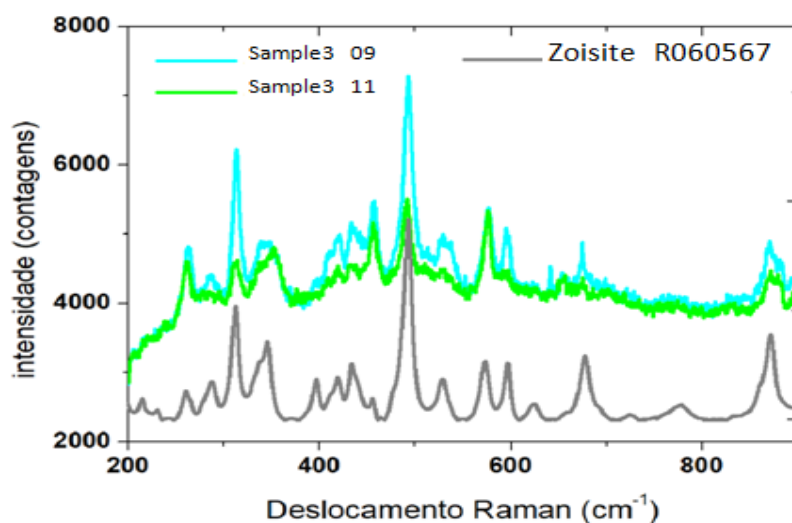


Fig. 7 Raman spectroscopy showing the presence of zoisite mineral, in corundum from Uauá

3.3 Inclusions

In the Capela do Alto Alegre corundum, zircon (Zr) inclusions were observed (Fig. 8). The inclusions are micrometric with dimensions around 320 microns and may be subhedral, sometimes rounded. In Mundo Novo/Piritiba, subhedral micrometric inclusions of rutile (Ti), with dimensions around 150 μm were observed (Fig. 8). The presence of the inclusions are restricted to few crystals and in few quantities. In the Uauá corundum, no inclusions were found.

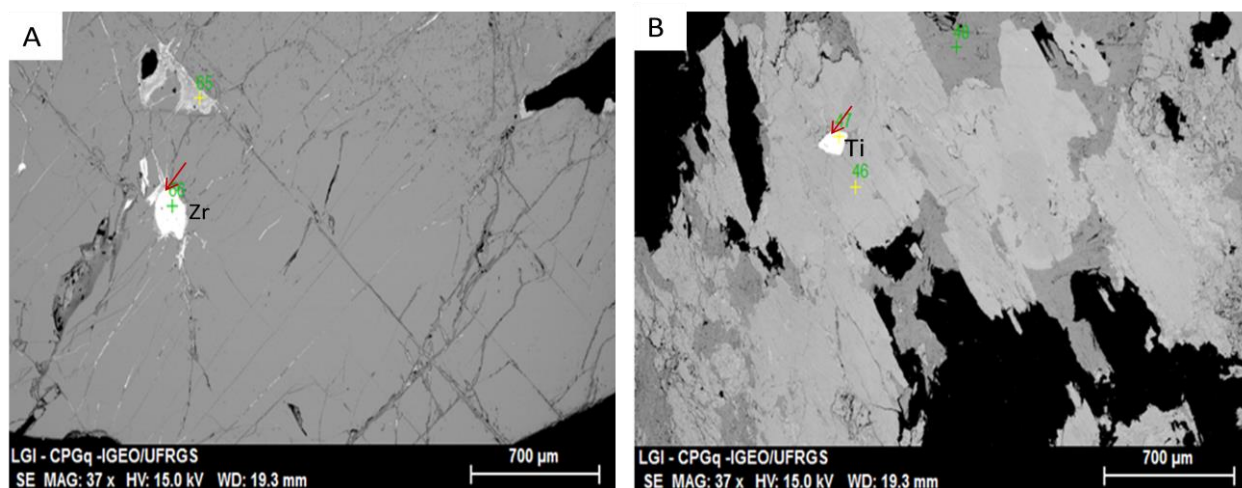


Fig. 8 A) Inclusion of zircon (Zr) in a corundum crystal from Capela do Alto Alegre. B) Inclusion of rutile (Ti) in corundum crystal from Mundo Novo/Piritiba, evidenced in scanning electron microscopy

4. Discussion

4.1 Corundum mineralogical characteristics

Corundum crystallizes as trigonal system and occurs in the form of perfect hexagonal prisms or in granular masses with thick or thin shapes (Klein & Hurlbut, 2002). According to Goldschmidt (1918), the ruby variety tends to form tabular hexagonal prisms, with vertices truncated by rhombohedral faces, while sapphire predominate in the form of barrels, hexagonal prisms or hexagonal bipyramids. In Uauá city, ruby corundum variety has a prismatic habit, which may tend to rhombohedron. In Capela do Alto Alegre sapphire corundum type occurs in the form of hexagonal prisms and barrels, while in Mundo Novo/Piritiba region, ruby corundum has a prismatic habit, with generally elongated crystals.

According to Hughes (1990) and Kelly (2009), corundum is a negative uniaxial mineral, and its refractive indices may vary, but its birefringence is usually constant. According to Henn et al. (1989), iron is the main responsible for variations in corundum refraction indices and its content is directly proportional to indices values. According to the aforementioned authors, corundum darker colorings tend to show higher refractive indices and densities, as well as iron percentage present in crystals. According to Danna & Hurlbut, (1969), corundum density ranges from 4.0 g/cm^3 to 4.2 g/cm^3 , with small variations, due to the crystal inclusions. This fact can be proven in the studied occurrences (Table 1).

4.1.1 Inclusions

Minerals, fluid, melt and structural inclusions are common in corundum crystals of gemological potential (Hughes, 1997) and some authors discuss even, the origin of corundum from the mineral inclusions, although of difficult distinguishment (Guo et al., 1996a). Optical effects can be related to inclusions, as well, and according to Webster (1975), the intensity and perfection of this effects can vary, depending on the inclusion nature and quantity present in the crystals.

In the corundum from Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba, few inclusions were found exposed on the surface of the polished sections. In Capela do Alto Alegre, micrometric inclusions of zircon (Zr) were observed, and in Mundo Novo/Piritiba, micrometric inclusions of rutile (Ti) were detected, but the optical effects were not seen in any of the analyzed corundum.

4.2 Mineral chemistry

4.2.1 Chromatophore elements and causes of color

Identification and quantification of chromophore elements provide important information about the different colors displayed by the corundum.

According to Chodur (1997), sapphires have varying amounts of Fe and Ti, and very low or not detected quantity of Cr. Green sapphire has a high FeO value. In rubies, Cr is the element responsible for the red coloration, which may occur in variable amounts, producing variations in shades from deep dark red to light pinkish red, as verified in the electronic microprobe analyzes carried out in the studied corundum.

According to Nassau (1984), the mechanism that produces blue color in sapphires is much more effective than what happens in ruby red color. In order to show red color, corundum needs about 1% of Cr, while for the blue tones, it is necessary only about 0.001% of Fe and Ti. According to Chodur (1997) excess of Fe present in corundum causes high color saturation, reducing transparency, and loss of some gemological quality, a fact observed in the studied samples. Application of heat treatment in corundum contributes to decrease their saturation of colors, in order to bring significant improvement in coloration and gemological qualities of the material.

In corundum from Mundo Novo/Piritiba, the contents of Cr, Fe and Ti associated indicate that they are responsible for the pink color (ruby), and their contents vary according to the intensity of color, while the Cr content is responsible for the reddish pink ruby color. Purplish red corundum (ruby) comes from the association of Cr and Fe.

In dark red specimens from Uauá region, Cr content is responsible for the ruby color. Bordeaux and brown color ones, meanwhile, include Cr and Fe content responsible for their color (ruby). In bluish gray and greyish green crystals from Capela do Alto Alegre, Cr is practically non-existent, and its shades are directly related to Fe content (sapphire).

Chromophore elements cited, can also be responsible for color zoning existing in corundum. Most of the analyzed corundum showed color zoning, and mineral chemistry varies with the zoning, as shown

in Fig. 4 and 5, demonstrating corundum from Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba, respectively. This color zonings are probably growth features and according to Key & Ochieng (1991), they can be resulted from the diffusion of Cr and Ti metallic elements.

Corundum color zoning present variable thicknesses, alternating from light to dark tones, and may spread from the center to crystal borders (Correa et al., 2020). In Capela do Alto Alegre samples, this color zoning is present in basal planes and displays slight color and thickness variation. In corundum of Mundo Novo/Piritiba, color zoning occurs from the edge to the center of crystals, marked by different variable colorations, whereas in Uauá corundum, zoning appears as parallel bands of variable thickness and intense colorations, similar to the crystal color.

4.2.2 Hydrated phases and alteration products

Corundum includes features related to their crystallization setting (primary-genetic factors), or later acquired features (secondary), as a product of the impact, abbration and resistance in sedimentation environments (Coenraads, 1992). In these plans it is common to detect hydrated phases such as boehmite and diaspoire. White (1979) observed that corundum twinning plans are not weakness plans. He demonstrated that along these planes there may be an associated mineral phase, such as boehmite $\text{AlO}(\text{OH})$ - γ , resulted from the corundum exsolution along rhombohedral planes. Due to the lower resistance of the mineral, this author considered boehmite as responsible for rhombohedral partition of the corundum in these places. Hughes (1990) described occurrences of a distinct partition along the basal plane, which hematite is responsible for the partition along the corundum basal planes. Chodur & Svisero (1994), on the other hand, describe diaspoire mineral $\text{AlO}(\text{OH})$ - α as responsible for the partition along the corundum twinning plans.

According to Licardo (2003), hydrated phases along polysynthetic twinning plans of the host usually results in a transparency loss, and consequent loss of gemological use. These minerals, when associated with corundum or as a product of its alteration, are usually difficult to identify by optical means. It is necessary to carry out infrared spectroscopy and electron probe / microscopy analyzes (Chodur & Licardo, 2000). Water in corundum is related to associated diaspoire, and occurs by stretching (characteristic band at $3,240\text{cm}^{-1}$), and deformation (band at $1,639\text{cm}^{-1}$, little pronounced) (Moenke, 1966).

According to Deer et al., (1993), diaspoire is characterized by containing lower values of Al_2O_3 in relation to corundum, varying between 85 to 88% in weight. Another significant difference is water in diaspoire, whose contents can reach up to 14% by weight. Fe has lower levels in diaspoire, in relation to corundum, whereas other elements, such as Cr and Ti, remain the same amounts. Hydrated phases were not detected in the studied corundum, and the Al_2O_3 values in relation to corundum varied between 94.06 to 98.85% by weight, without water presence (Table 5).

As reported by the same author, alteration products are associated with corundum, and most of them are other aluminous minerals, such as damourite, zoisite, muscovite, gibbsite and spinel. Zoisite was found, in Uauá corundum as an alteration product, filling small cavities existing on the crystal surfaces.

4.2.3 Corundum genesis

Concentration of metal ions analysis has been used together with inclusion studies, as a tool for geological/geochemical association to obtain mineral origin. Schwarz (1996), Sutherland et al. (1998), Sutherland & Schwartz (2001), Peucat et al., (2007), Zwaan et al., (2015), Sutherland et al. (2015), Wang et al. (2017), Hughes, (2017) and Voudouris et al. (2019), through geochemical analyzes of trace elements, used Fe, Ti, Cr, Ga and Mg amounts and ratios of Ga/Mg, Fe/Ti, Fe/Mg, and Cr/Ga as an indicative parameter of mineral genesis, in order to obtain a distinction between metamorphic and basaltic origins. According to Liccardo (2003), higher levels of Cr and lower levels of Ga and Fe are indicative of a metamorphic origin, while higher levels of Fe, Ti, and lower extent of Ga, indicate basaltic origin. According to Sutherland et. al., (2015), high Ga/Mg ratios suggest magmatic affinity. Results using Cr/Ga x Fe/Ti ratios, or oxide equivalents, usually show Cr/Ga ratios <1 for corundum of magmatic origin, while higher Cr/Ga values for corundum of metamorphic origin.

According to Peucat et al., (2007) and Zwaan et al., (2015), Mg and Cr are enriched in rubies, while Ga is significantly enriched in sapphires. Metamorphic sapphires have low levels of Mg/Ga and high levels of Fe, while sapphires of basaltic origin have low levels of Ga and Fe.

Results obtained from concentrations of trace elements show that in samples from Mundo Novo/Piritiba and Uauá, Cr is noticeably higher, and Ga is usually extremely low, whereas in Capela do Alto Alegre samples, Ti contents are lower than Ga. According to Giuliani et al. (2014), corundum have varied their lithological affinities, and this is shown in Fig. 9 for the samples of this study. Uauá corundum predominate in the Ruby-in-mafic-ultra-mafic field. The Mundo Novo/Piritiba corundum predominate in the Metassomatic corundum field, with some representatives at the edge of the Ruby-in-mafic-ultra-mafic field, while the Capela do Alto Alegre corundum concentrated in the Sapphire in syenite field.

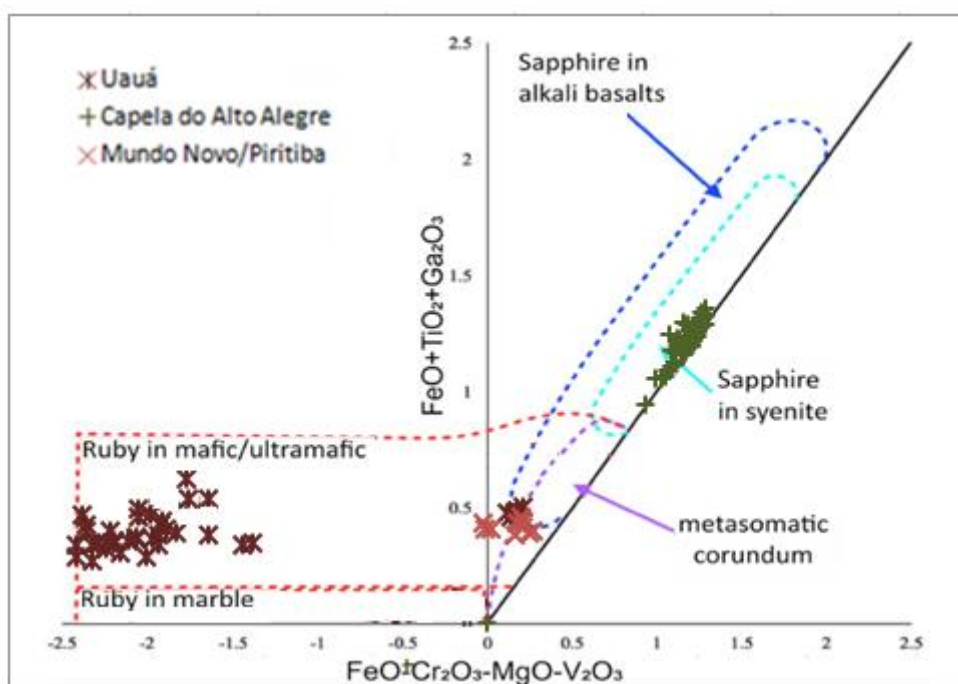


Fig. 9 Lithological affinities of corundum: Uauá corundum predominate in the ruby-in-mafic-ultra-mafic field. The Mundo Novo/Piritiba corundum predominate in the metasomatic corundum field, with some representatives at the edge of the ruby-in-mafic-ultra-mafic field, while the Capela do Alto Alegre corundum concentrated in the sapphire in syenite field. (Modified by Giuliani et al., 2014; and Frederick et al., 2019).

Peucat et al. (2007) and Sutherland et al., (2015), carried out research on Fe variation content (ppm) x Ga/Mg ratio, as a tool to separate sapphires of metamorphic and magmatic origin. Recent studies show that corundum crystals vary in their Ga/Mg ratio (Harris et al, 2017). In addition, some sapphire/ruby suites with low Ga/Mg, previously considered metamorphic, may contain melt inclusions suggesting a magmatic origin (Palke et al., 2018), defining Ga/Mg ratios, if considered in isolation, as an unreliable genetic indicator. Fe (or Fe/Mg) x Ga/Mg plots, however, remain useful to help distinguish between fields from different locations (Sutherland et al., 2015). Plotting chemical data of corundum of this study, all samples are in the metamorphic/metasomatic field (Fig. 10).

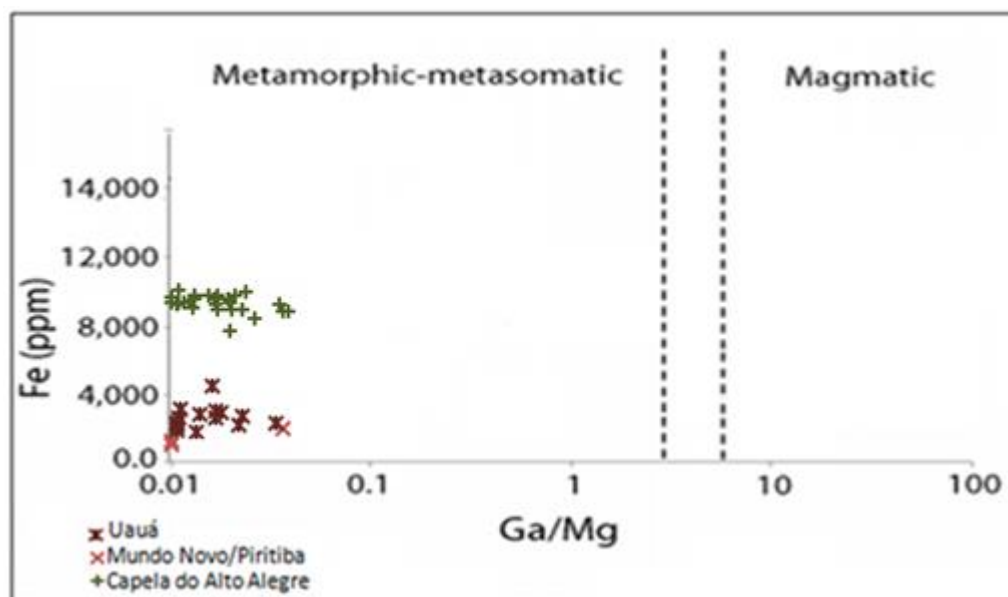


Fig. 10 Fe (ppm) versus Ga/Mg diagram for Corundum from Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Piritiba. All studied corundum is found in the metamorphic / metasomatic field. Modified by Sutherland et al., (2015 e 2016).

Corundum mineralization associated with metamorphic deposits are very diverse, due to the fact that corundum is present in different geological environments, temperature and pressure conditions. In the Uauá region, corundum mineralization come from the interaction of mafic rock and mineralizing fluids, similar to the corundum deposit associated with metamorphic mafic and ultramafic rocks that occur in Montepuez, Mozambique, which corundum is originated from gabbroic and dunitic rocks in a ophiolite or volcano-sedimentary sequence. The deposit of Montepuez is the main sources of pink and red corundum of the Mozambique, and are generally exposed to heat treatment, in order to improve color and gemological potential (Giuliani et al., 2020).

In Capela do Alto Alegre, corundum is associated with metasomatism of gneisses and aluminous granulites, similar to the sapphire deposit from Khao Wua, in Thailand, which sapphires were formed in high-grade gneissic rock, originated from a metasomatized mantle and magmas of highly alkaline composition (Saminpanya & Sutherland, 2011).

The Mundo Novo/Piritiba, mineralizations are inserted in greenstone belt terrains, with complex geological evolution and presence of volcanisms, sediments, igneous intrusions, regional metamorphism and polyphasic deformations. This occurrence can be compared with the corundum occurrence from Maniitsoq region (Kangerdluarssuk), exposed in archean greenstone belts, from North Atlantic Craton of West Greenland, where ultramafic rocks (amphibole-peridotite) are in direct contact with the corundum-bearing areas, which were transformed into mica schist by metasomatic reactions (Yakymchuk, & Szilas, 2018).

5. Conclusions

The most frequent habits observed in the studied corundum samples are prismatic, predominant in Uauá region; barrel, characteristic from Capela do Alto Alegre region; and elongated prismatic, from Mundo Novo/Piritiba region. Concentrations of trace elements may also be used as indicative for different habits of corundum. These morphological variations are correlated with the crystal amount of Cr and Fe.

The most common internal characteristics observed in corundum were color zoning, present in most of the studied samples. In Capela do Alto Alegre, corundum has a grayish-green zoning, with higher levels of Fe. In Mundo Novo/Piritiba corundum show reddish red and a reddish pink color zoning. The reddish pink portion has a high Cr₂O₃ content.

Zircon micrometric inclusions were observed in corundum crystals from Capela do Alto Alegre region, and rutile in some corundum crystals from Mundo Novo/Piritiba, but without optical effects related to the inclusions. No inclusions were observed in Uauá corundum.

Significant data were not found regarding diaspore amount, but through Raman spectroscopy analyzes, it was possible to observe in the corundum from Uauá region, zoisite presence as a product of its alteration.

Corundum from Bahia show the main chromophore elements Cr and Fe. In Uauá, dark red ruby is related to high percentage of Cr while darker colored rubies tending to bordeaux and brownish, have their color due to Cr associated with percentages of Fe. The brownish colored corundum showed low concentrations of Cr, while the bordeaux colored corundum showed high concentration and Fe content.

In Capela do Alto Alegre region, bluish-gray and greyish-green colorings of the sapphires are directly linked to the high percentages of Fe. Pink-colored rubies from Mundo Novo/Piritiba are related to the presence of associated Cr, Fe and Ti, with content varying according to the intensity of the color, while reddish-pink rubies own this color due to the association of high percentages of Cr and Fe. Purple-red rubies own this color due to the association of low percentages of Cr and Fe.

The excess of Fe present in corundum may be related to the lack of transparency and high color saturation present in the analyzed samples. Heat treatment is suggested as an option to improve transparency and color, which may give corundum gemological qualities.

Mineral chemistry and chromophore elements research contributed significantly to reinforce the knowledge about the genesis of corundum occurrences complementing the studies carried out by Correa et al., (2020).

References

- Chodur NL (1997) Mineralogia e geologia dos depósitos de rubi e safira da região de Barra Velha, Santa Catarina. Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo
- Chodur NL, LiccardoA (2000) Identificação de Fases Hidratadas em Coríndon no Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Tratamento e Caracterização de Gemas 1, Ouro Preto MG, Boletim de Resumos p 36

- Chodur NL, Svisero DP (1994) Diásporo em rubi e safiras do depósito de Barra Velha SC. In: Congresso Brasileiro de Geologia 38, Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos 3:58-59
- Coenraads RR (1992) Sapphires and rubies associated with volcanic provinces: inclusions and surface features shed light on their origin. *Australian Gemmology*, vol 18, 3:70-78
- Correa M, Porcher C, Boscato M (2020) Geology, petrography, and mineralogy of corundum occurrences in Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*
- Dana JD, Hurlbut CS (1969) *Manual de Mineralogia*. 2 ed. V I e II. Tradução Ao livro técnico S. A., Rio de Janeiro
- Deer WA, Howie RA, Zussman J (1993) *Introduction to the rock-forming minerals*. 2 ed. Harlow, Longman. 696 pp
- Duda R, Rejl L (1986) *A Collector's Guide to Rock, Mineral, & Fossil Localities of Utah*, Utah Geological Survey, 147 pp
- Fritsch E, Rossman GR (1987) An update on color in gems part 1: introduction and colors caused by dispersed metal ions. *Gems & Gemology*, vol 23, 3:126-139
- Giuliani G, Caumon G, Rakotozamisany S, Ohnenstetter D, Rakotondrazafy M (2014) Classification chimique des corindons par analyse factorielle discriminante: Application à la typologie des gisements de rubis et saphirs. *Rev. Gemmol.* 188:14–22
- Giuliani G, Groat LA, Fallick AE, Pignatelli I, Pardieu V (2020) Ruby Deposits: A Review and Geological Classification. *Minerals*, 83 pp
- Goldschmidt V (1918) *Atlas der Krystallformen*. Heidelberg, Carl Winter. vol 2
- Gomes CB (1984) Microsonda eletrônica: princípios e aplicações na geologia. In: *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia*. São Paulo, Edgard Blucher, pp 159-208
- Guimarães D (1934) À margem de “Os Satélites do Diamante”. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Estado de Minas Gerais, Monografia vol 2, p 58
- Harris SJ, Graham IT, Lay A, Powell W, Belousova E, Zappetini E (2017) Trace element geochemistry and metasomatic origin of alluvial sapphires from the Orosuyo region, Jujuy Province, Northwest Argentina. *Can. Mineral.* 55:595–617
- Henn U, Bank H, Bank F H (1989) Orangefarbene korunde aus Malawi. *Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft* 38:164-166
- Hughes RW (1990) *Corundum*. London, Butterworth-Heinemann, 314 pp
- Hughes RW (2017) *Ruby & sapphire: A Gemologist's guide*. Bangkok, RWH Publishing/Lotus Publishing, 816 pp
- Hughes RW (1997) *Ruby & Sapphire*. RWH Publishing, Boulder, CO USA, 511 pp
- Hussak E (1917) Os satélites do diamante. Rio de Janeiro, Typografia do Jornal do Commercio
- Kelly R (2009) Corundum variety sapphire, ruby. *Metal, Stone & Glass Vol 48*, p 12

- Key RM, Ochieng F O (1991) The growth of rubies in south-east Kenya. *Journal of Gemmology*, vol 22, 8:484-489
- Klein C, Hurlbut Jr CS (2002) *Manual of Mineralogy: after J D Dana 21 ed. rev.* New York, John Wiley & sons 681 pp
- Krzemnicki MS (2012) Fancy-coloured sapphires: classical gemstones with a rich colour spectrum. *SSEF Facette* 19:6-7
- Liccardo A (2003) *Coríndon no Brasil, ocorrências, mineralogia, química e gênese.* Tese de Doutorado, Universidade de Ouro Preto. Escola de Minas, 186 pp
- Moenke H (1966) *Mineralspektren, II.* Berlin, Akademie - Verlag
- Nassau K (1983) *The physics and chemistry of color: the fifteen causes of color.* New York, John Wiley & sons, 454 pp
- Nassau K (1984) Heat treatment used on gemstones materials. Parts I, II. *Lapidary Journal*, vol 38, 1:18-24
- Palke AC, Wong J, Verdel C, Ávila JN (2018) A common origin for Thai/Cambodian rubies and blue and violet sapphires from Yogo Mountain Gulch, Montana, USA. *Am Mineral* 103:469–479
- Palke AC (2020) Coexisting Rubies and Blue Sapphires from Major World Deposits: A Brief Review of Their Mineralogical Properties. *Minerals* vol 10 p 472
- Peucat JJ, Ruault P, Fritsch E, Bouhnik-Le Coz M, Simonet C, Lasnier B (2007) Ga/Mg ratio as a new geochemical tool to differentiate magmatic from metamorphic blue sapphires. *Lithos* 98:261–274
- Saminpanya S, Sutherland FL (2011) Different origins of Thai area sapphire and ruby, derived from mineral inclusions and co-existing minerals. *European Journal of Mineralogy* 13 pp
- Schwarz D (1996) Sapphires from the Andranondambo Region, Madagascar. *Gems & Gemology*, vol 32, 2:80-99
- Schumann W (1994) *Rocas y Minerales: minerales, piedras preciosas, rocas, menas.* Ed. Omega 226 pp
- Sorokina ES, Hofmeister W, Häger T, Mertz-Kraus R, Buhre S, Saul JM (2016) Morphological and chemical evolution of corundum (ruby and sapphire): Crystal ontogeny reconstructed by EMPA, LA-ICP-MS, and Cr³⁺ Raman mapping . *American Mineralogist*, Vol 101, 2716–2722
- Sutherland EL, Schwarz D (2001) Origin of gem corundum from basaltic fields. *The Australian Gemmologist* 21:30-33
- Sutherland F, Zaw K, Meffre S, Thompson J, Goemann K, Thu K, Nu TT, Mohd Zin M, Harris EJ (2019) Diversity in Ruby Geochemistry and Its Inclusions: Intra- and Inter- Continental Comparisons from Myanmar and Eastern Australia. *Minerals* 41pp
- Sutherland FL, Coenraads RR, Abduriyim A, Meffre S, Hoskin PWO, Giuliani G, Beattie R, Wuhler R, Sutherland GB (2015) Corundum (sapphire) and zircon relationships, Lava Plains gem fields, NE Australia: Integrated mineralogy, geochemistry, age determination, genesis and geographical typing. *Mineralogical Magazine* 79(3):545–581

- Sutherland FL, Zaw K, Meffre S, Yui TF, Thu K (2015) Advances in Trace Element “Fingerprinting” of Gem Corundum, Ruby and Sapphire, Mogok Area, Myanmar. *Minerals* 5:61–79
- Sutherland L, Graham I, Harris S, Khin Z, Meffre S, Coldham T, Coenraads R, Sutherland G (2016) Rubis australasiens. *Rev. Ass. Fr. Gemmol* 197:13–20
- Sutherland EL, Schwarz D, Jobbins EA, Coenraads RR, Webb G (1998) Distinctive gem corundum suites from discrete basalt fields: a comparative study of Barrington, Australia and West Pailin, Cambodia gemfields. *Journal of Gemmology* 26:65-85
- Voudouris P, Mavrogonatos C, Graham I, Giuliani G, Melfos V, Karampelas S, Karantoni SV, Wang K, Tarantola A, Zaw K, Meffre S, Klemme S, Berndt J, Heidrich S, Zaccarini F, Fallick A, Tsortanidis M, Lampridis A (2019) Gem Corundum Deposits of Greece: Geology, Mineralogy and Genesis. *Minerals* 41pp
- Wang KK, Graham IT, Lay A, Harris SJ, Cohen DR, Voudouris P, Belousova E, Giuliani G, Fallick AE, Greig A (2017) The Origin of A New Pargasite-Schist Hosted Ruby Deposit From Paraneosti, Northern Greece. *Can. Mineral* 55:535–560
- Webster R (1975) *Gems: their sources, descriptions and identification*. 3ed. London, Butterworths, 938 pp
- White JS (1979) Boehmite exsolution in corundum. *American Mineralogist* 64:1300-1320
- Yakymchuk C, Szilas K (2018) Corundum formation by metasomatic reactions in Archean metapelite, SW Greenland: Exploration vectors for ruby deposits within high-grade greenstone belts. *Geoscience Frontiers* 9:727-749
- Zwaan JC, Buter E, Mertz-Kraus R, Kane RE (2015) Alluvial sapphires from Montana: Inclusions, geochemistry, and indications of a metasomatic origin. *Gems Gemol* 51:370–391

ATTACHMENT

Table 5: Chemical analyzes results (% weight) by Electronic Microprobe

Sample	Color	Local	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MnO	ZnO	Total
2B	Bluish gray	CAA	97,3126	0,0008	0,0049	0,0203	0,0035	1,1382	0,0457	0,0068	0,0000	0,0140	0,0000	0,0198	98,5666
2B	Bluish gray	CAA	96,6471	0,0087	0,0000	0,0092	0,0000	1,1738	0,0000	0,1103	0,0049	0,0146	0,0102	0,0579	98,0368
2B	Bluish gray	CAA	96,0963	0,0000	0,0079	0,0000	0,0205	1,1882	0,0229	0,0331	0,0000	0,0040	0,0177	0,0000	97,3907
2B	Bluish gray	CAA	95,8674	0,0063	0,0076	0,0000	0,0061	1,1772	0,0000	0,0000	0,0098	0,0000	0,0001	0,0000	97,0745
2P	Bluish gray	CAA	98,5915	0,0043	0,0202	0,0041	0,0000	1,1013	0,0000	0,0078	0,0035	0,0022	0,0000	0,0358	99,7707
2P	Bluish gray	CAA	96,5822	0,0000	0,0240	0,0000	0,0050	1,0781	0,0717	0,0311	0,0000	0,0005	0,0000	0,0235	97,8162
2P	Bluish gray	CAA	96,7215	0,0134	0,0095	0,0214	0,0000	1,0771	0,0000	0,0085	0,0161	0,0104	0,0031	0,0000	97,8811
2P	Bluish gray	CAA	98,7333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0199	1,1118	0,0000	0,0396	0,0000	0,0018	0,0000	0,0000	99,9066
2P	Bluish gray	CAA	98,6944	0,0000	0,0031	0,0000	0,0004	1,1234	0,0916	0,0329	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	99,9459
2P	Bluish gray	CAA	97,1008	0,0166	0,0119	0,0000	0,0151	1,1330	0,0818	0,0221	0,0021	0,0091	0,0000	0,0230	98,4155
2P	Bluish gray	CAA	97,8402	0,0047	0,0147	0,0000	0,0205	1,1839	0,0850	0,0636	0,0154	0,0127	0,0000	0,0274	99,2683
2P	Bluish gray	CAA	97,2879	0,0000	0,0018	0,0255	0,0144	1,1015	0,1341	0,0438	0,0049	0,0090	0,0049	0,0153	98,6432
2P	Bluish gray	CAA	98,4095	0,0067	0,0020	0,0112	0,0000	1,1778	0,0393	0,0000	0,0000	0,0000	0,0136	0,0156	99,6757
2P	Bluish gray	CAA	97,1896	0,0000	0,0000	0,0255	0,0129	1,1061	0,0000	0,0243	0,0000	0,0053	0,0000	0,0344	98,3982
2P	Bluish gray	CAA	96,1423	0,0193	0,0005	0,0051	0,0009	1,1498	0,0131	0,0279	0,0000	0,0159	0,0225	0,0114	97,4088
2P	Bluish gray	CAA	97,0104	0,0063	0,0161	0,0285	0,0000	1,1401	0,0589	0,0119	0,0000	0,0000	0,0000	0,0341	98,3064
2P	Bluish gray	CAA	96,5797	0,0012	0,0095	0,0000	0,0000	1,1536	0,0000	0,0068	0,0000	0,0000	0,0096	0,0000	97,7604
2P	Bluish gray	CAA	96,9370	0,0032	0,0000	0,0194	0,0149	1,0535	0,0000	0,0716	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	98,0996
C	Grayish green	CAA	96,6445	0,0151	0,0229	0,0010	0,0069	1,2242	0,0312	0,0495	0,0046	0,0000	0,0145	0,0108	98,0252
C	Grayish green	CAA	97,3630	0,0000	0,0162	0,0143	0,0022	1,2479	0,0304	0,0544	0,0000	0,0000	0,0000	0,0254	98,7538
C	Grayish green	CAA	97,3440	0,0044	0,0297	0,0000	0,0055	1,2491	0,0000	0,0276	0,0127	0,0000	0,0045	0,0431	98,7206
C	Grayish green	CAA	97,2188	0,0000	0,0093	0,0036	0,0043	1,2406	0,0460	0,0372	0,0000	0,0144	0,0169	0,0261	98,6172
C	Grayish green	CAA	97,4850	0,0022	0,0324	0,0000	0,0014	1,2487	0,0567	0,0049	0,0014	0,0000	0,0221	0,0000	98,8549
C	Grayish green	CAA	97,5116	0,0069	0,0129	0,0000	0,0124	1,2294	0,0000	0,0385	0,0021	0,0000	0,0000	0,0075	98,8213
C	Grayish green	CAA	97,6287	0,0093	0,0157	0,0102	0,0000	1,1955	0,0468	0,0196	0,0000	0,0078	0,0086	0,0000	98,9423
C	Grayish green	CAA	96,9538	0,0107	0,0155	0,0010	0,0068	1,2508	0,0000	0,0267	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	98,2655
C	Grayish green	CAA	97,4719	0,0000	0,0348	0,0000	0,0000	1,1851	0,0000	0,0179	0,0067	0,0000	0,0062	0,0000	98,7226
C	Grayish green	CAA	97,5032	0,0000	0,0309	0,0000	0,0030	1,2084	0,0271	0,0251	0,0123	0,0000	0,0025	0,0042	98,8166
C	Grayish green	CAA	98,0504	0,0042	0,0249	0,0000	0,0065	1,1948	0,0230	0,0296	0,0060	0,0090	0,0023	0,0000	99,3506
C	Grayish green	CAA	97,6055	0,0024	0,0179	0,0087	0,0130	1,2294	0,0000	0,0203	0,0000	0,0039	0,0022	0,0000	98,9033
C	Grayish green	CAA	97,2292	0,0000	0,0189	0,0118	0,0042	1,2855	0,0197	0,0077	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	98,5770
C	Grayish green	CAA	97,3653	0,0020	0,0177	0,0000	0,0000	0,9833	0,0534	0,0319	0,0000	0,0010	0,0024	0,0153	98,4722
C	Grayish green	CAA	97,1153	0,0099	0,0259	0,0000	0,0096	1,2284	0,0000	0,0001	0,0000	0,0082	0,0000	0,0000	98,3974
C	Grayish green	CAA	97,3683	0,0065	0,0202	0,0026	0,0016	1,1811	0,0123	0,0145	0,0018	0,0000	0,0000	0,0000	98,6089
C	Grayish green	CAA	96,6471	0,0143	0,0231	0,0154	0,0036	1,1774	0,0000	0,0096	0,0137	0,0288	0,0034	0,0000	97,9365
C	Grayish green	CAA	97,0621	0,0028	0,0150	0,0123	0,0000	1,2304	0,0000	0,0265	0,0000	0,0109	0,0000	0,0000	98,3600
C	Grayish green	CAA	97,2582	0,0000	0,0284	0,0092	0,0041	1,2461	0,0395	0,0109	0,0088	0,0011	0,0000	0,0000	98,6063
C	Grayish green	CAA	97,2293	0,0132	0,0175	0,0167	0,0066	1,2481	0,0000	0,0305	0,0076	0,0081	0,0030	0,0144	98,5950
C	Grayish green	CAA	97,5199	0,0004	0,0108	0,0117	0,0000	1,2085	0,0008	0,0213	0,0086	0,0001	0,0000	0,0000	98,7820

C	Grayish green	CAA	97,6474	0,0027	0,0128	0,0000	0,0045	1,2343	0,0122	0,0132	0,0000	0,0043	0,0182	0,0000	98,9498
C	Grayish green	CAA	96,9005	0,0016	0,0145	0,0000	0,0061	1,2780	0,0651	0,0242	0,0000	0,0089	0,0186	0,0140	98,3314
C	Grayish green	CAA	97,5646	0,0041	0,0155	0,0182	0,0153	1,1966	0,0155	0,0308	0,0052	0,0109	0,0000	0,0000	98,8768
C	Grayish green	CAA	97,0132	0,0083	0,0203	0,0000	0,0042	1,2176	0,0472	0,0000	0,0000	0,0119	0,0054	0,0000	98,3282
C	Grayish green	CAA	97,0025	0,0000	0,0031	0,0041	0,0074	1,2259	0,0302	0,0262	0,0097	0,0101	0,0000	0,0022	98,3213
C	Grayish green	CAA	99,2437	0,0054	0,0000	0,0055	0,0103	1,2867		0,0028		0,0000	0,0000		100,555
C	Grayish green	CAA	98,3758	0,0065	0,0000	0,0000	0,0000	1,1987		0,0170		0,0031	0,0000		99,6012
C	Grayish green	CAA	97,9575	0,0065	0,0000	0,0087	0,0175	1,0900		0,0409		0,0097	0,0019		99,1328
C	Grayish green	CAA	98,8102	0,0000	0,0097	0,0190	0,0000	1,1084		0,0316		0,0093	0,0254		100,014
C	Grayish green	CAA	97,9344	0,0000	0,0111	0,0024	0,0000	1,2221		0,0243		0,0000	0,0101		99,2044
C	Grayish green	CAA	98,7258	0,0000	0,0097	0,0000	0,0538	1,1868		0,0218		0,0000	0,0000		99,9979
C	Grayish green	CAA	98,5318	0,0000	0,0232	0,0302	0,0171	1,1370		0,0194		0,0058	0,0000		99,7644
C	Grayish green	CAA	98,6968	0,0000	0,0097	0,0278	0,0278	1,1896		0,0025		0,0013	0,0000		99,9556
C	Grayish green	CAA	97,5832	0,0077	0,0035	0,0127	0,0247	1,2302		0,0000		0,0131	0,0072		98,8822
C	Grayish green	CAA	97,6817	0,0119	0,0107	0,0000	0,0206	1,2313		0,0000		0,0067	0,0104		98,9734
C	Grayish green	CAA	97,8325	0,0000	0,0301	0,0008	0,0197	1,2407		0,0046		0,0000	0,0000		99,1285
C	Grayish green	CAA	98,0505	0,0063	0,0180	0,0008	0,0000	1,2083		0,0199		0,0000	0,0142		99,3181
CR	Grayish green	CAA	98,5757	0,0000	0,0211	0,0000	0,0072	1,1592		0,0297		0,0067	0,0008		99,8004
CR	Grayish green	CAA	98,3288	0,0175	0,0311	0,0238	0,0000	1,1984		0,0197		0,0000	0,0203		99,6396
CR	Grayish green	CAA	98,2169	0,0138	0,0204	0,0262	0,0000	1,2579		0,0546		0,0000	0,0000		99,5897
CR	Grayish green	CAA	96,4111	0,0021	0,0080	0,0111	0,0000	1,1913		0,0323		0,0071	0,0005		97,6635
CR	Grayish green	CAA	97,0759	0,0000	0,0000	0,0135	0,0000	1,2113		0,0000		0,0000	0,0000		98,3009
CR	Grayish green	CAA	97,2536	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,1869		0,0202		0,0018	0,0196		98,4822
CR	Grayish green	CAA	96,8329	0,0016	0,0059	0,0000	0,0126	1,2063		0,0456		0,0123	0,0059		98,1232
CR	Grayish green	CAA	96,4131	0,0000	0,0000	0,0183	0,0000	1,1543		0,0228		0,0192	0,0269		97,6547
CR	Grayish green	CAA	97,0093	0,0108	0,0000	0,0000	0,0018	1,1996		0,0283		0,0121	0,0000		98,2619
3	Bordeaux	U	94,4902	0,0226	0,0037	0,0000	2,1108	0,5449	0,0000	1,1389	0,0063	0,0178	0,0045	0,0500	98,3899
3	Bordeaux	U	95,5003	0,0067	0,0334	0,0000	2,1814	0,4669	0,1369	0,0209	0,0000	0,0042	0,0000	0,0000	98,3508
3	Bordeaux	U	93,8616	0,0143	0,0309	0,0000	2,1896	0,5000	0,0196	0,0265	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	96,6425
D	Dark red	U	95,8312	0,0150	0,0262	0,0000	2,3807	0,4054	0,0377	0,0322	0,0120	0,0091	0,0000	0,0000	98,7495
D	Dark red	U	95,8762	0,0000	0,0116	0,0102	2,3490	0,4341	0,0327	0,0130	0,0000	0,0029	0,0480	0,0000	98,7778
D	Dark red	U	95,5185	0,0032	0,0208	0,0000	2,2745	0,4132	0,0000	0,0000	0,0262	0,0099	0,0000	0,0758	98,3420
D	Dark red	U	93,2292	0,0197	0,0043	0,0102	3,9879	0,3666	0,0294	0,0000	0,0050	0,0043	0,0000	0,0000	97,6566
D	Dark red	U	94,0552	0,0048	0,0000	0,0275	4,1415	0,4385	0,0424	0,0176	0,0000	0,0028	0,0000	0,0776	98,8079
D	Dark red	U	95,1543	0,0108	0,0310	0,0041	2,9368	0,3888	0,0572	0,0231	0,0092	0,0063	0,0000	0,0128	98,6345
D	Dark red	U	95,9725	0,0000	0,0151	0,0000	2,2385	0,3997	0,0000	0,0113	0,0071	0,0145	0,0266	0,0000	98,6854
D	Dark red	U	95,6895	0,0000	0,0197	0,0071	2,6377	0,3235	0,1390	0,0375	0,0000	0,0025	0,0000	0,0000	98,8566
D	Dark red	U	94,3906	0,0008	0,0030	0,0194	3,1195	0,4033	0,0915	0,0406	0,0064	0,0024	0,0202	0,0053	98,1031
D	Dark red	U	95,2498	0,0000	0,0146	0,0000	2,6815	0,3294	0,0000	0,0067	0,0000	0,0042	0,0000	0,0000	98,2862
D	Dark red	U	95,2334	0,0000	0,0204	0,0000	2,6711	0,3694	0,0425	0,0118	0,0114	0,0041	0,0000	0,0000	98,3641
D	Dark red	U	95,7321	0,0071	0,0248	0,0020	2,6702	0,3812	0,0000	0,0233	0,0139	0,0131	0,0114	0,0000	98,8793

D	Dark red	U	96,2976	0,0000	0,0291	0,0000	2,4634	0,3258		0,0149		0,0146	0,0000		99,1454
D	Dark red	U	95,4264	0,0193	0,0110	0,0016	4,4332	0,3047		0,0204		0,0091	0,0000		100,226
D	Dark red	U	96,0208	0,0000	0,0168	0,0000	4,3371	0,2786		0,0208		0,0000	0,0229		100,697
D	Dark red	U	95,3895	0,0183	0,0412	0,0000	4,3840	0,2998		0,0059		0,0179	0,0000		100,156
D	Dark red	U	96,0447	0,0000	0,0278	0,0016	4,3560	0,3394		0,0290		0,0000	0,0111		100,809
D	Dark red	U	96,6100	0,0000	0,0069	0,0000	2,5345	0,2716		0,0132		0,0036	0,0000		99,4399
D	Dark red	U	96,3687	0,0000	0,0000	0,0239	2,6203	0,2929		0,0207		0,0000	0,0000		99,3265
D	Dark red	U	97,6494	0,0083	0,0418	0,0080	2,4877	0,3178		0,0149		0,0080	0,0292		100,565
D	Dark red	U	95,9127	0,0010	0,0083	0,0095	4,2076	0,4120		0,0087		0,0007	0,0000		100,560
D	Dark red	U	95,8782	0,0139	0,0368	0,0079	3,4604	0,3048		0,0145		0,0048	0,0043		100,326
D	Dark red	U	96,0444	0,0012	0,0000	0,0000	4,2377	0,4363		0,0258		0,0051	0,0000		100,751
D	Dark red	U	98,1310	0,0144	0,0138	0,0000	2,1946	0,3319		0,0159		0,0071	0,0000		100,709
D	Dark red	U	97,4720	0,0078	0,0086	0,0104	2,2685	0,3682		0,0337		0,0060	0,0000		100,175
D	Dark red	U	97,5810	0,0000	0,0000	0,0000	2,2665	0,3900		0,0135		0,0122	0,0000		100,263
D	Dark red	U	97,9090	0,0151	0,0259	0,0024	2,3734	0,3412		0,0192		0,0000	0,0200		100,706
D	Dark red	U	98,1469	0,0102	0,0629	0,0000	2,2334	0,3889		0,0050		0,0000	0,0188		100,866
D	Dark red	U	97,8587	0,0092	0,0187	0,0104	2,4702	0,3495		0,0092		0,0071	0,0143		100,747
D	Dark red	U	98,1126	0,0028	0,0308	0,0040	2,1457	0,3716		0,0213		0,0170	0,0313		100,737
D	Dark red	U	98,5517	0,0000	0,0142	0,0000	2,6745	0,3401		0,0094		0,0000	0,0206		100,611
D	Dark red	U	98,0597	0,0043	0,1310	0,0064	2,3568	0,3701		0,0179		0,0000	0,0000		100,946
D	Dark red	U	97,2456	0,0192	0,0476	0,0000	3,1667	0,3289		0,0000		0,0141	0,0000		100,822
D	Dark red	U	97,9316	0,0073	0,0041	0,0000	2,4989	0,3277		0,0018		0,0121	0,0000		100,784
D	Dark red	U	97,9155	0,0085	0,0000	0,0000	2,3703	0,3758		0,0142		0,0000	0,0000		100,684
D	Dark red	U	98,0530	0,0024	0,0215	0,0000	2,2216	0,2702		0,0248		0,0011	0,0143		100,608
D	Dark red	U	97,2415	0,0121	0,0104	0,0008	2,3660	0,3680		0,0408		0,0030	0,0328		100,075
D	Dark red	U	98,4213	0,0000	0,0000	0,0199	2,7298	0,3518		0,0083		0,0037	0,0000		100,535
D	Dark red	U	98,1724	0,0000	0,0059	0,0191	2,3817	0,3053		0,0168		0,0000	0,0000		100,902
E	Brownish	U	98,4657	0,0004	0,0164	0,0195	0,3135	0,4682	0,0000	0,0401	0,0039	0,0052	0,0000	0,0000	99,3327
E	Brownish	U	98,1440	0,0067	0,0084	0,0062	0,2909	0,4651	0,0000	0,0357	0,0000	0,0022	0,0000	0,0000	98,9594
E	Brownish	U	98,5676	0,0200	0,0000	0,0000	0,2807	0,4912	0,0000	0,0382	0,0235	0,0073	0,0000	0,0000	99,4285
E	Brownish	U	98,3624	0,0000	0,0241	0,0000	0,2630	0,4919	0,0000	0,0393	0,0000	0,0014	0,0173	0,0000	99,1995
E	Brownish	U	98,3366	0,0000	0,0038	0,0036	0,2916	0,4887	0,0008	0,1115	0,0027	0,0000	0,0489	0,0336	99,3219
E	Brownish	U	95,2815	0,0782	0,0892	0,0000	0,4457	0,2608		0,1912		0,3157	0,0162		98,6786
A	Pink	MN/P	98,8474	0,0000	0,0000	0,0241	0,7909	0,1814	0,0000	0,0000	0,0000	0,0026	0,0038	0,0000	99,8503
A	Pink	MN/P	98,6962	0,0053	0,1463	0,0287	0,1708	0,2697	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0047	99,3225
A	Pink	MN/P	95,6712	0,0152	0,1666	0,0123	1,0452	0,2541	0,0000	0,0199	0,0004	0,0019	0,0000	0,0340	97,2207
A	Pink	MN/P	98,4054	0,0068	0,2385	0,0320	0,7942	0,2246	0,0683	0,0218	0,0147	0,0000	0,0000	0,0000	99,8064
AM	Reddish Pink	MN/P	95,9243	0,0005	0,0123	0,0087	2,8211	0,1307		0,0375		0,0088	0,0000		98,9439
AM	Reddish Pink	MN/P	95,4048	0,0068	0,0254	0,0308	2,6230	0,1520		0,0337		0,0000	0,0138		98,2904
AE	Purplish red	MN/P	98,1340	0,0117	0,0374	0,0318	0,9917	0,1230		0,0442		0,0032	0,0257		99,4026
AE	Purplish red	MN/P	97,8279	0,0000	0,0083	0,0270	1,2916	0,0987		0,0429		0,0164	0,0000		99,3127
B	Pink	MN/P	95,1581	0,0065	0,0307	0,0123	1,6290	0,1396	0,0549	0,0361	0,0067	0,0045	0,0000	0,0000	97,0784
B	Pink	MN/P	96,7928	0,0154	0,0226	0,0343	1,2832	0,1265	0,0074	0,0535	0,0000	0,0032	0,0214	0,0261	98,3863
B	Pink	MN/P	98,5604	0,0000	0,0147	0,0302	0,6035	0,1307	0,0000	0,0187	0,0021	0,0000	0,0000	0,0000	99,3603

B	Pink	MN/P	98,7465	0,0116	0,0217	0,0226	0,6558	0,1332	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000	0,0036	0,0210	99,6362
B	Pink	MN/P	98,2125	0,0018	0,0269	0,0487	1,0257	0,1035	0,0000	0,0908	0,0000	0,0037	0,0088	0,0000	99,5225
B	Pink	MN/P	98,7390	0,0137	0,0232	0,0080	0,9952	0,1072		0,0216		0,0202	0,0000		99,9281
B	Pink	MN/P	98,1304	0,0000	0,0256	0,0358	1,2383	0,1245		0,0440		0,0000	0,0000		99,5986
B	Pink	MN/P	96,5525	0,0000	0,0099	0,0308	0,6378	0,1179		0,0427		0,0011	0,0000		97,3927
B	Pink	MN/P	97,1093	0,0113	0,0000	0,0055	0,6886	0,1189		0,0343		0,0000	0,0000		97,9679
B	Pink	MN/P	96,1984	0,0125	0,0199	0,0300	0,7231	0,0659		0,0414		0,0083	0,0118		97,1313
B	Pink	MN/P	97,4526	0,0046	0,0364	0,0545	0,7407	0,1257		0,0411		0,0000	0,0000		98,4556
B	Pink	MN/P	96,3875	0,0120	0,0079	0,0379	0,7101	0,1354		0,0000		0,0221	0,0000		97,3129
B	Pink	MN/P	97,3196	0,0000	0,0223	0,0142	0,9533	0,1106		0,0364		0,0181	0,0145		98,4890
B	Pink	MN/P	97,7827	0,0000	0,0151	0,0229	1,1723	0,1319		0,0367		0,0000	0,0000		99,1616
B	Pink	MN/P	99,5169	0,0177	0,0052	0,0126	0,1131	0,1054		0,0367		0,0000	0,0125		99,8203

CAPÍTULO 5

30/04/2021

Email – Monica Correa – Outlook

Confirming submission to Resources Policy

Resources Policy <em@editorialmanager.com>

Sex, 30/04/2021 22:00

Para: Monica Correa <monicacorrea_nica@hotmail.com>

This is an automated message.

SOCIOECONOMIC POTENTIAL OF CORUNDUM FROM BAHIA/BRAZIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT
IN ARTISANAL MINING

Dear Mrs Correa,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Resources Policy.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at
<https://www.editorialmanager.com/jrpo/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
Resources Policy

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub:
<https://www.elsevier.com/authors>

SOCIOECONOMIC POTENTIAL OF CORUNDUM FROM BAHIA/BRAZIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN ARTISANAL MINING

Monica CORREA¹, Carla Cristine PORCHER^{1,2}, Márcia Elisa BOSCATO GOMES^{1,3}

⁽¹⁾ Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PO Box 15001, zip code 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil. monica.correa@sde.ba.gov.br

⁽²⁾ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves Avenue, 9500, zip code 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil. carla.porcher@ufrgs.br

⁽³⁾ Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves Avenue, 9500, zip code 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil. marcia.boscato@ufrgs.br

ABSTRACT

Despite the economic importance that gemstones represent for the economy of the State of Bahia, the sector presents many problems. Artisanal mining is basically performed informally by miners and middlemen who sell the production on a small-scale, usually in a raw state, practicing values well below market rate. Gemstones' producing municipalities are poor and underdeveloped. The development of means of utilization and processing gems, may come to stand out as socioeconomic potentials, for local growth and the elaboration of public policies for social inclusion. By conducting a case study, applying techniques of processing such as polishing, lapidary and making pieces of mineral handicraft for better utilization and appreciation of corundum from the regions of Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Piritiba, this article aims to characterize the socioeconomic potential of the corundum varieties from Bahia. The pieces obtained as a result of this case study, harnessed to simple processing techniques, have shown potential for commercial use, and for the promotion of local social development, becoming an alternative source of income, and as a tool for promoting public policies, linked to artisanal mining of corundum in Bahia.

Keywords: Gemstones, Artisanal Mining, Sustainable Development

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

1. INTRODUCTION

In many countries, artisanal mining has been proposed as a viable strategy to promote the development of extraction regions and their populations, taking into account the specific design of this kind of mineral extraction (Hilson. 2003; Siegel & Veiga, 2009; Hilson & Maconachie, 2020). The development of appropriate practices and policies has triggered innovation with positive effects on the performance of artisanal mining in the gemstones' sector, with some improvements in the economic,

social and environmental local conditions (Puppim de Oliveira & Ali, 2011; Milanez & Puppim de Oliveira, 2013).

Brazil is recognized as one of the largest producers of gemstones in the world, with an unquestionable diversity of precious stones, and territorial extension of the areas of occurrence (Svisero & Franco, 1991), occupying the first position among the Latin American countries in the production and commercialization of this mineral good (IBGM, 2013). In this scenario, Bahia stands out as the second place in the national production of gemstones.

Coveted all over the world, the gemological varieties of corundum, ruby and sapphire, can reach values of thousands of dollars per carat (1ct = 0.2g), constituting about 50% of the gemstone market in the world, and corresponding to only 1 % of corundum mined across the globe (Hughes, 1997).

Gemstones' production from Bahia is especially geared towards the foreign market, being the lapidary and jewelry industry the main sectors of consumption. Besides the high jewelry market, there are other means of utilization of corundum, which may come to stand out as socioeconomic potential for the development of domestic market and public policies for social inclusion, such as collection minerals, ornamental gemstones, alternative gem cutting and mineral handicrafts in gemstones. Positive experiences have been developed in Brazil, in Pedro II – Piauí (Puppim de Oliveira & Ali, 2011); Campos Verdes/Santa Terezinha - Goiás, Nova Era/Itabira - Minas Gerais, Carnaíba/Campo Formoso - Bahia (Milanez & Puppim de Oliveira, 2013); Soledade - Rio Grande do Sul (Donato et al, 2017); and in Sub-Saharan Africa (Hilson & Maconachie, 2020).

This article aims to characterize the socioeconomic potential of the corundum varieties from Bahia, of the regions of Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba, following the studies of the referred occurrences carried out in Correa et al., (2020 e 2021), by conducting experiments through processing techniques such as polishing, lapidary and making pieces of mineral handicrafts, for better utilization and appreciation of the studied corundum. These techniques could be developed with local communities, as a tool for promoting public policies for regional development, in accordance with the United Nations Agenda 2030 for Sustainable Development.

2. The corundum from Bahia

The gemological potential of Bahia is expressed by the long exploration history of varied gemstones in addition to the creation of Gemological Center of Bahia, which largely subsidizes the development and expansion of this potential.

2.1. Gemstones' Mining in Bahia

The exploration of gemstones in Bahia has its history recorded in the memories of the many miners from Chapada Diamantina, Serra do Espinhaço and others regions of the State, and for a few centuries have been incorporating it into their lives and that of their families.

This story is told by countless miners, calloused hands' hard workers, who describe in their story tales and reports, the real history of gemstones' mining in Bahia, the time when the "gringos" here arrived and began to open amidst untouched land of the caatinga and cerrado, roads and airfields; the first journeys in armed convoys or by plane, of the extracted mineral; the arrival of the first machinery to assist in the mineral exploration; the first polariscope that arrived here, brought by the north-Americans, in order to separate the crystals into good and bad; the years of good and bad earnings; the prolonged "breakers" and dynamite explosions; the enchant with whom they talk about the purchase of slag material which was previously thrown away; the domestic market prices that "varies" according to the "foreign" one; (Stoiber & Butler, 1945).

The first records of diamonds in the Serra do Sincorá in Chapada Diamantina date back to 1820. Deposits were known since long before, but due to the crown's impositions, the mining was kept secret in order to control the supply and price of the gemstones (Cornejo & Bartorelli, 2010). In 1832, the diamonds' exploration in Bahia was permitted, and in the 1850 s to 1860 s, the production reached its peak (Dieulafait, 1871). According to Tavares et al., (1998), Bahia has been highlighted, along with Minas Gerais, Goiás, and Rio Grande do Sul, in the natural precious stones' production from Brazil. Country that holds a large part of the world reserves of these mineral goods, with an internationally recognized quality gemstones' production.

Svisero & Franco (1991) pointed out that in the past decades there has been an extraordinary development of gemological activities, caused essentially by the expansion of international gemstones' trade. Consequently, there was an increase in the investigations for new gemstones' deposits, generating a great rush for new mines' discoveries in several countries. In this context, as good Brazilian examples, are the gemstones' deposits from Bahia. Among the more than 700 gemstones' mines registered in Bahia (Fig. 1), according to Couto (2000) e Misi (2006), some deposits stand out by their economic importance, such as the occurrences of emerald from Campo Formoso and Pindobaçu, amethyst and citrine from Caetité and Licínio de Almeida, rutiled quartz from Novo Horizonte, rock crystal from Brotas de Macaúbas, rose quartz from Macarani, dumortierite from Boquira and Macaúbas, diamond from Nordestina, aquamarine from Itambé, apatite in Ipirá, besides andalusite and fluorite in Serra do Ramalho.

Despite the economic importance that gemstones represent to the State's economy, the sector still presents many problems. Historically, most gemstones' production has been traded on a small scale, usually in a raw state, informally by miners and middlemen, and these transactions often involve the practice of exchanging different types of gems and materials. There's no market study, and the values practiced are dictated by the momentary supply and demand for the material (Agnaldo et al., 2021).

In the early 2000s, the International Labour Organization (ILO) estimated that more than 13 million artisanal miners work around the world (Hinton et al., 2003; Veiga, 2001). The National Survey of Gold Miners (DNPM, 1993) evaluated the active gold mining population in the country at 400 thousand, and 18 thousand gold miners working in cooperatives (DNPM, 2008). Of this total, an estimated 13,700 were the number of miners working in Bahia. Gemstones and jewelry segments in Bahia

are responsible for only 2,804 formal jobs in the mines (SENAI/SICM, 2012), the informality in this sector still being the rule. Just as important as understanding the gemological potential of Bahia's occurrences is to know its reserves and production.

2.2 Gemological Center of Bahia

The Gemological Center of Bahia is a center for evaluating, researching, disseminating and valuing gems and jewelry. Conceived by the private sector, in partnership with the State Government, it was opened in 1995, to meet the demand of consumers and producers of local gems and jewelry. Seeking to guarantee the authenticity of the products acquired and traded by the state segment and also having in the scope of its actions the elaboration of research's projects, courses and trainings, organization of exhibitions, fairs and workshops of jewelry and lapidary, aims to disseminate the knowledge and enchantment of precious stones universe and gems and jewelry segment (CGB, 2018).

Counting on a precision gemological laboratory, the center emits reports, opinions and certificates of authenticity of gemstones with international recognition. The laboratory of Gemological Center of Bahia is the only one in the North/Northeast belonging to the IBGM Network of Gemological Laboratories, accredited by the Confédération Internationale de la Bijouterie, Joaillerie, Orfèvrerie Des Diamantes, Perles et Pierres (CIBJO), the international regulatory entity for the jewelry segment in the world (CGB, 2018).

In addition to maintaining permanent programs for the development of the gems and jewelry segment and interactive actions with schools and the community, aiming to popularize gemology, the space also houses the Jewelry School of the Gemological Center of Bahia, which promotes training courses and professional improvement in partnership with SENAI/BA. Technical and technological capacitation courses in jewelry, lapidary, stone setting, metal casting, wax modeling, jewelry design with Rhinoceros, management and assembly line for jewelry, gemology and mineral handicraft aims to form, qualify, specialize and certify professionals for the jewelry sector, seeking to facilitate labor access to a productive market that needs constant expansion and modernization. From 2009 to 2019, the Jewelry School trained 788 people (ASCOM SDE/BA, 2021).

2.3. Occurrences of corundum in Bahia

Although some occurrences of corundum have been cited since the 1930s by Hussak (1917) and Guimarães (1934), the first studies on an occurrence of corundum in Bahia were performed by Ribeiro (2010) and a simplified description of the occurrences was done by Sá (2012).

The most remarkable occurrences in Bahia are found in the regions of Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba (Fig.1). Even if restricted to nearby regions, these occurrences present a large diversity of genesis and types of corundum with different physical, chemical, mineralogical, crystallographic properties and causes of color. The characterization of these occurrences was described by Correa et al., (2020 and 2021) and are shown in Table 1.

Table 1: Characteristics of the studied corundum in Bahia (Correa et al., 2020 e 2021).

Properties:	Uauá (U)	Capela de Alto Alegre (CAA)	Mundo Novo/Piritiba (MN/P)
Color	dark red, wine, brownish	Grayish green, bluish gray	Pink, reddish pink, purplish red
Variety	Ruby	Sapphire	ruby
Form/Habit	Rounded crystals and prismatic tending to the rhomboid	Hexagonal, tabular and barrel prisms	Granular masses, clusters of elongated prismatic crystals
Transparency	Translucent to opaque	opaque	opaque
Internal characteristics	Polysynthetic twinning, fractures and color zoning	Color zoning, fractures and stretch marks	Fractures and color zoning
Inclusions	-	Zircon	Rutile
Density	3.97 – 3.99	3.93 – 3.97	3.87 – 3.92
Causes of color	Dark red ruby: high percentage Cr. Ruby wine and brownish: presence of Cr associated with Fe percentages.	Bluish gray and greyish green sapphire: presence of Fe high percentages	Pink ruby: presence of Cr, Fe and Ti associated with content varying according to the intensity of the color, Reddish pink ruby: associated with Cr and Fe high percentages. Purplish red ruby: associated with Cr and Fe low percentages.
Occurrence	In contact zone between mafic rock and feldspar	Associated with feldspar leucosome in gneiss	In muscovite – corundum – kyanite lenses, housed in mica schist
Genesis	Interaction of mafic rock and mineralizing fluids	Metasomatism of gneisses and aluminous granulites	Regional metamorphism in Greenstone Belt terrains

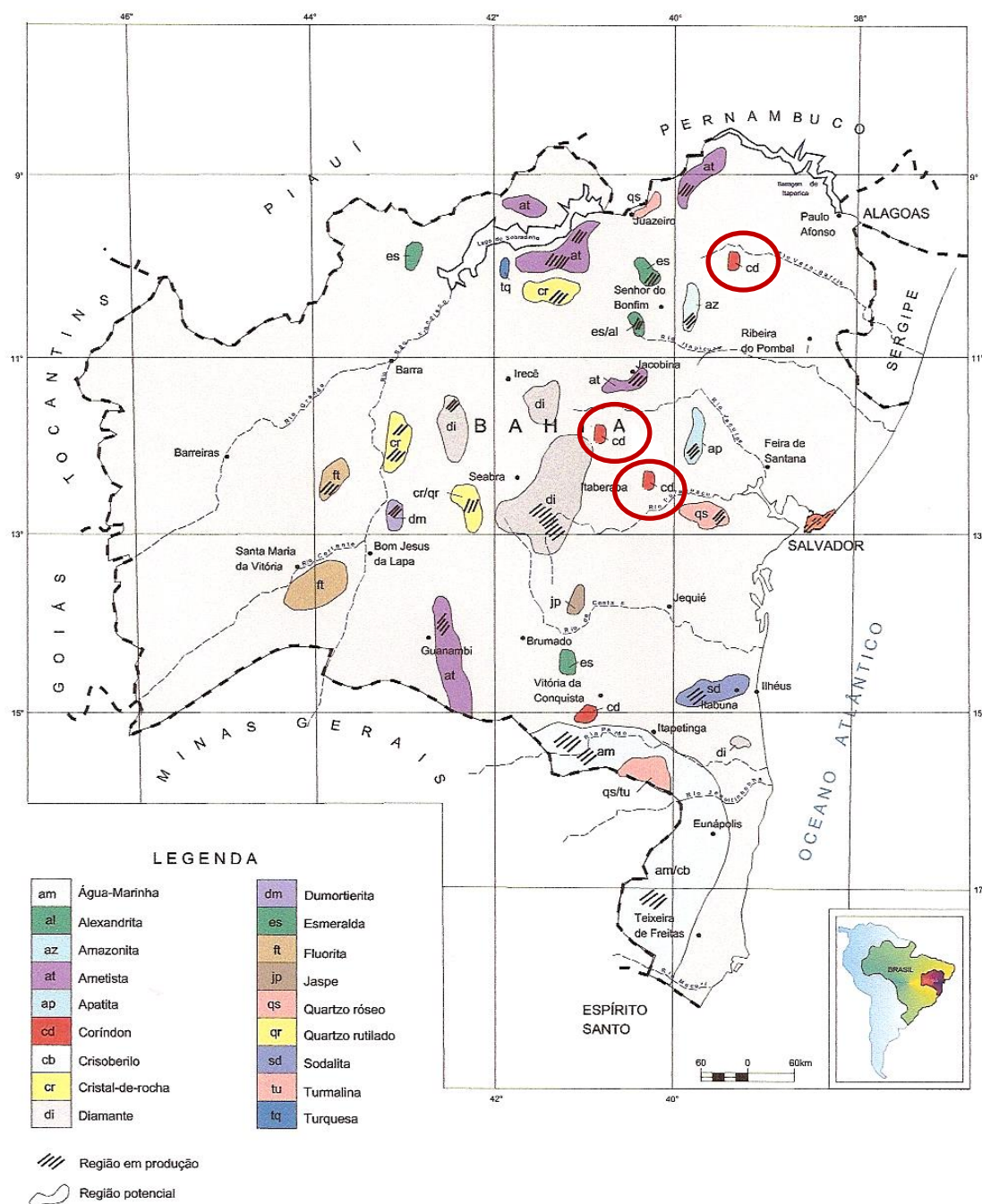


Fig. 1. Map of the main gemstones producing/ potential regions of the state of Bahia, with the geographic location of the occurrences of Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba circled in red (modified from Carvalho Filho et al (1976) and Couto (2000)).

2.3.1 Socioeconomic conditions of the localities

Uauá

Uauá is a municipality in the mesoregion of northeastern Bahia, with a population of 25,853 inhabitants, and a total area of 2,950.274 km² (IBGE, 2020).

It is economically sustained and driven by the subsistence economy, characterized by the management of goat and sheep farming in the caatinga, known regionally as “Capital of the Goat” due to the reputation of having the tastiest goat meat in the region. The goat represents 1/3 of the municipality’s GDP (IBF, 2010).

In the late years the municipality has been implementing in association with IRPAA (Regional Institute of Small Appropriate Agriculture) and the Coopercuc (Cooperative of Family Farming in Canudos, Uauá and Curaçá), a program of coexistence with the semi-arid that has already changed the life of many families through the processing of fruits from sertão like Umbú. It has an average HDI of 0.605, according to the UNDP (2010).

Capela do Alto Alegre

Capela do Alto Alegre is also a municipality in the mesoregion of Bahia northeastern, with a population of 11.673 inhabitants, and total area of 629,586 km² (IBGE, 2020).

Its wavy topography, covered by caatinga natural vegetation, had its peak of economic development around 1964 with the sisal production, but it went into decadence because of the commercialization of other products more acceptable than sisal, such as polyethylene. The municipality’s income basically comes from a bashful cattle ranching, milk production, handicrafts and objects made of clay, and from occasional events held in the city’s Vaquejada Park. It has a low HDI of 0.599 (UNDP 2010).

Mundo Novo/Piritiba

Mundo Novo/Piritiba are municipalities of Chapada Diamantina, in the Center-North region of Bahia’s state.

Piritiba has a territorial area of 994,5 km², and an estimated population of 24.755 inhabitants, while Mundo Novo has a territorial area of 1.491,993 km², and an estimated population of 27.364 inhabitants (IBGE, 2020).

For decades, their economies have worked based on a subsistence agriculture, especially the cultivation of cassava, and June’s festivities. São João’s festivity, usually held between the 20th and 24th of June in Mundo Novo/Piritiba regions, is the season when the municipalities receive a considerable amount of income and people. They have a low HDI of around 0.59 (UNDP 2010).

The socioeconomic characteristics of these regions do not differ from the general picture of gemstones’ mining in northeastern Brazil (Milaneza & Puppim de Oliveira, 2013), harnessed to informality and technical and environmental precariousness.

3. Case study of socioeconomic potential of corundum from Bahia

Aiming alternatives for the production development and domestic trade of corundum, samples in araw state, of the rock with corundum, and corundum's crystals from the occurrences of the municipalities of Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba were submitted to tests of lapidary, polishing and mineral handicraft, as an alternative of processing, searching for the best means of utilization and appreciation of the material in question. The results obtained were promising.

Lapidary

Lapidary is a traditional technique that consists of producing flat faces or rounded surfaces, by cutting and polishing the surfaces of the gemstones, (Webster, 2020). All stages were guided and supervised now adays by instructor Mairton Ieso, lapidary technician (SENAI/BA) and professor at the Jewelry School of the Gemological Center of Bahia.

Gem cutting forms used were created from the needs of corundum, to provide the best utilization of the samples in question. They were carried out in the semi-mechanical lapidary's classroom, at the Jewelry School of the Gemological Center of Bahia, in partnership with SENAI/BA.

The crystals were lapidated into oval and round shapes, both faceted and in cabochon shape (Fig. 2). The best results were obtained with the cabochon gem cutting, which in addition to preserving greater weight of corundum's crystals, provided an enhancement of the color in the crystals with low transparency, it helped to disguise the existing fractures, and provided the appearance of luminous figures of the chatoyancy or cat's eye type in one of the lapidated crystals. Chatoyancy consists of the light reflection in a luminous band form (cat's eye), over inclusions on the crystals surface, that the gem when rotated, causes the cat's eye effect to move on the crystal surface (Sinkankas, 1984).



Fig. 2. Lapidated crystals into oval and round shapes, both faceted and in cabochon shape.

Samples of corundum with the rock were also lapidated, in order to use the opaque, fractured corundum, or in the form of crystals' masses, which allowed the confection of exotic pieces, in cabochon shape (Fig. 3).



Fig. 3. Lapidated samples of corundum with the rock, in cabochon shape.

Artisanal Mining

Artisanal mining consists of transforming a portion of a certain mineral substance, from its raw state into pieces or polished forms, enhancing its natural beauty (Agamesf, 2008). The confection process of the pieces in artisanal mining had the guidance and mainly the creativity of the mineral artisan Adãoilson Martins, who assisted in the development of the sculptures and adornments made for the execution of this study. For making these pieces, it was used the artisanal mining workshop belonging to the Association of Mineral Artisans of the municipality of Campo Formoso/BA.

Polished and lapidated corundum samples were used for the confection of adornment pieces, such as necklace and bracelet (Fig. 4).



Fig. 4. Adornment Piece made with samples of corundum.

Other samples were carved for the confection of sculptures, using the rock along with the corundum. The biggest difficulty towards the studied materials was the great difference in hardness between corundum and the embedding rock. This difference can be used quite well for artisanal mining, bringing depth to the piece, providing the realization of very interesting sculptures (Fig. 5).



Fig. 5. Sculptures made by using the rock along with the corundum

Collection Minerals

Collection Minerals or ornamental gemstones are pieces of differentiated formations, with exclusive characteristics, destined for decoration (Agamesf, 2008).

Some samples that presented interesting and representative shapes were only polished and resined, keeping their original shape to the fullest, to value these models considered to be collection minerals (Fig. 6).



Fig. 6. Resined sample of the rock along with the corundum, considered to be collection minerals.

4. DISCUSSION

Since mankind began to use gemstones as a personal ornament, it has been undergoing all types of polishing, with the goal of enhancing its beauty and consequently increasing its value. Throughout

time, humanity discovered that it could create suitable forms for the types of jewelry the gems were intended for, taking into account their physical characteristics (Coenraads, 1992).

Although Brazil is a country that traditionally produces precious stones, only in relatively recent times, could be observed a governmental concern with gemological studies in the country. This delay could be partly attributed to the type of extraction applied to these mineral goods, almost always using primitives' methods of mining, which bring in their core the entire informal economy, even when considered the social aspects involved (Couto, 2000). A particularity of artisanal gemstones' mining is the kind of environmental impact it creates. This activity does not use chemicals and, is frequently restricted to small areas (Eggert, 2001). Presumably, these characteristics make the mitigation and remediation of environmental impacts much simpler.

Particularly, informality is high in gemstones' mining in Brazil for several reasons. Gemstones are often extracted without technology and the access to more suitable machinery is limited, activities are usually performed manually or with the use of simple and rustic tools (Macedo et al., 2003). The work is carried out mainly by unskilled workers (Miranda, 1997), commonly hired through verbal contracts (Barreto, 2001). Gemstone's mining is a non-perennial activity due to the uncertainties in finding good quality gems even with good geological research, discouraging the involvement of large companies, besides the government agencies generally lack of staff and infrastructure capable of controlling efficiently the gemstone's mining in the State (IBGM, 2005).

The State of Bahia is recognized as one of the greatest handicraft barns in Brazil, presenting one of the most relevant varieties of types of handicrafts in the country, and one of the largest production volumes (Agamesf, 2008), but artisanal mining as an alternative for harnessing residues is still underdeveloped.

Nowadays, due to the Covid- 19 pandemic, gemstones' mining production practically stopped all over the world, leading the miners to unemployment (Hilson et al, 2021), as witnessed in the state of Bahia. The development of techniques for making adornment pieces, utilities and utensils using simple techniques of artisanal mining, and using local raw material, has emerged as a possible source of income for an extremely vulnerable population. Similar projects have been implemented in the region of Pedro II, in Piauí (Puppim de Oliveira & Ali, 2011), and in sub-Saharan Africa (Hilson & Maconachie, 2020).

Cabochon-shape lapidated is widely used for opaque gems, and to highlight the optical effects of asterism and chatoyancy, which some species of gems present (Coenraads, 1992). In one of the samples of cabochon-shape lapidated corundum, it was possible to observe the effect of chatoyancy on its surface. In order to make better utilization of the gemstones and allow the appearance of optical effects on its surfaces, it is essential to offer training and professional improvement courses. For this purpose, the Gemological Center of Bahia is developing a project to expand its Jewelry School, in partnership with SENAI/BA and city halls, to meet the demands of the State's countryside, aiming at greater interaction with gemstones' producing communities.

Gemstones' mining regions attract many migrants, increasing the demand for public services such as infrastructure, health, education, among others, but the local governments are unable to provide them, on account of the difficulties and underdevelopment that already exist. Often the municipality's activities are restricted to subsistence agriculture and cattle farming that produce little or no tax revenue, generating a growing gap in socio-environmental problems (DNPM, 2008).

The development of artisanal mining and lapidary's centers could help to shed light on policies to improve the local benefits of gemstones' mining, organizing the miners into associations and cooperatives to allow investments and public/private partnerships, which may bring improvements to the region (Teixeira & Lima, 2004). Strengthening public government partnership's ties with existing cooperatives could be an alternative to make them facilitators, and an incentive for the creation and development of new similar entities, in other gemstones' producing regions in the State.

Working with small economic agents as a whole and not individually could promote not only more economic development, but also effectively incorporate environmental issues (recycling and reuse of residues, for example), as a strategy to strengthen the positives effects and mitigate the negative ones from the activities related to artisanal mining (Puppim de Oliveira & Ali, 2011), which would lead to a reduction in the stigma of artisanal mining of gemstones as a degrading economic activity.

5. CONCLUSIONS

Gemology is going through a process of expanding its universe of activity, not only interacting with geology, regarding to the prospect of the occurrences, but also increasingly extends its interactions with chemistry and physics, related to the treatment and synthesis processes, and strengthening its ties with gemstones' design.

Good results were obtained in the case study performed with samples of corundum from the regions of Uauá, Capela do Alto Alegre and Mundo Novo/Piritiba, through the application of simple techniques of lapidary, polishing and making pieces of artisanal mining, seeking the development of alternatives for better utilization and gemological appreciation of the material in question.

Lapidated gemstones, adornment pieces, sculptures of artisanal mining and collection minerals obtained as a result from this case study, present potential for commercial use, and local social development, becoming an alternative source of income, linked to artisanal mining of corundum in Bahia.

The exploration of corundum' deposits in Bahia, is performed in the form of artisanal mining and generate residues, often consisting of material that could be used economically. Such residues could be harnessed for sustainable development of the region, creating new types of gem cutting and differentiated objects of artisanal mining, adornments and decorations, with local identity, referring to the gems of each region. Beyond an alternative income, it could become an important differential for better utilization of gemstones, and greater gain in the consumer market.

It is necessary to improve the means of utilization and processing the gemstones, as well their residues, in order to add greater value to the material. The increase in added value of the means of

gemstones' processing could be achieved through the diversification, quality improvement, innovation and development into specific design with regional characteristics, creating a local identity, and effective marketing actions, capable of raising the commercial potential of these products, beyond the domestic market.

The Gemological Center of Bahia could act as a technical based instrument to subsidize the development of multiples facets of artisanal mining in these regions.

It is suggested the realization of a study capable of attracting business and cooperative investments directed towards the extraction of corundum, with outcomes in the processing, lapidary and trade segments, aiming to leverage the socioeconomic gains of the producing regions of the state of Bahia.

6. REFERENCES

Agamesf. (2008). Artesanato Mineral de Juazeiro - Bahia, Ed Franciscana, 94p

Agnaldo, Floriano and Fernando. (2021). Oral information provided by the miners Agnaldo e Floriano, members of the Cooperativa Mista de Agropecuária e de Mineração - COOMAC, in Brejinho das Ametistas/BA, and by Fernando, at Mina do Coxo, in Jacobina/BA.

ASCOM SDE/BA. (2021). Centro Gemológico da Bahia completa 25anos em novo endereço e oferta de sete novos cursos. Revista Esmeralda Bahia, 1ª ed. Cooperativa Mineral da Bahia.

Barreto, M. L. (2001). Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil. CETEM/MCT, Rio de Janeiro

Carvalho Fº, A. R.; Froes, R. J. B.; Lima, U. S. (1976). Pedras Preciosas e Semipreciosas no Estado da Bahia, Salvador, vol. 1, Diagnóstico, Secretaria de Minas e Energia, Coordenação de Produção Mineral

CGB (2018). Histórico Institucional. Accessed on April 23, 2021. <http://www.cgb.ba.gov.br/>

Coenraads R. R. (1992). Sapphires and rubies associated with volcanic provinces: inclusions and surface features shed light on their origin. Australian Gemmology, vol 18, 3:70-78

Cornejo C, Bartorelli A, (2010). Minerais e pedras preciosas do Brasil. São Paulo: Solaris Edições Culturais, 701p

- Correa M, Porcher C. C, Boscato M. E. (2020). Geology, petrography, and mineralogy of corundum occurrences in Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*
- Correa M, Porcher C. C, Boscato M. E, Hinrichs R, Drago S. M. (2021). Corundum from Bahia/Brazil: mineral chemistry and causes of color. *Mineralogy and Petrology*
- Couto. P. A. A. de. (2000). Mapa Gemológico do Estado da Bahia, Texto explicativo, Salvador: CPRM
- Dieulafait, L. (1871). *Diamants et Pierres Précieuses "Bibliothèque des Merveilles"*, collection dirigée par Edouard Charton. Paris, Librairie de L. Hachette, 326pp.
- DNPM. (1993). Levantamento Nacional dos Garimpeiros, Brasília, 22p
- DNPM. (2008). Cooperativismo mineral no Brasil, o caminho das pedras passo a passo. Brasília, 134p
- Donato M, Duarte L. C., Vilasbôas, F. S. (2017). *Ações Aplicadas à Cadeia Produtiva de Gemas e Joias do Rio Grande do Sul*. 1. ed. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, v. 1. 145p
- Eggert, R. G. (2001). Mining and economic sustainability: National economies and local communities. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, n.19, 84p
- Guimarães, D. (1934). À margem de “Os Satélites do Diamante”. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Estado de Minas Gerais, Monografia vol 2, p 58
- Hilson G, Bockstael S. V, Sauerwein T, Hilson A, Mc Quilken J. (2021). Artisanal and small-scale mining and COVID-19 in sub-Saharan Africa: A preliminary analysis. *World Development*, vol.139, 13p
- Hilson G, Maconachie R. (2020). Artisanal and small-scale mining and the Sustainable Development Goals: Opportunities and new directions for sub-Saharan Africa. *Geoforum*, vol. 111 125–141
- Hilson, G. (2003). *Socio-Economic Impacts of Artisanal and Small-Scale Mining in Developing Countries*. A.A. Balkema Publishers, Lisse
- Hinton J. J., Veiga, M. M., Veiga, A. T. C. (2003). Clean artisanal gold mining: a utopian approach? *Journal of Cleaner Production* vol.11, 99–115
- Hughes, R. W. (1997). *Ruby and Sapphire*. RWH Publishing, 512 p

Hussak, E. (1917). Os satélites do diamante. Rio de Janeiro, Typografia do Jornal do Commercio

IBF. (2010). Bioma Caatinga. Accessed on April 23, 2021. <https://www.ibflorestas.org.br/>

IBGE. (2020). Panorama das cidades e produto interno bruto dos municípios. Accessed on April 23, 2021. <https://ibge.gov.br/>

IBGM. (2005). Políticas e ações para a cadeia produtiva de gemas e joias. Brasília, 116p

IBGM. (2013). Polo de gemas, joias e artesanato mineral do estado da Bahia. Produção Mineral - PDF

Macedo, A. B, Freire, D. J. A. M, Akimoto, H. (2003). Environmental management in the Brazilian non-metallic small-scale mining sector .Journal of Cleaner Production vol. 11, 197–206

Milanez B, Puppim de Oliveira J. A. (2013). Innovation for sustainable development in artisanal mining: Advances in a cluster of opal mining in Brazil. Resources Policy vol. 38, 427–434

Miranda, J. G. (1997). Atividades garimpeiras no Brasil: aspectos técnicos, econômicos e sociais. CETEM Série Estudos e Documentos, vol. 38

Misi, A. (2006). Mapa Metalogenético do Estado da Bahia. Texto Explicativo. Mapas

PNUD. (2010). Ranking decrescente do IDH-M dos municípios do Brasil, atlas do desenvolvimento humano - PDF

Puppim de Oliveira, J. A., Ali, S. H. (2011). Gemstone mining as a development cluster: a study of Brazil's emerald mines. Resources Policy 36,132–141

Ribeiro, T. S. (2010). Mineralizações de Coríndon da Região de Mundo novo/BA: Caracterização Geológica e Petrográfica. Trabalho de conclusão de curso de graduação em geociências. Universidade Federal da Bahia.

SÁ, J. H. S. (2012). Coríndon na Bahia, Séries Arquivos Abertos, vol. 38, CBPM

SENAI/SICM. (2012). Questionário para Diagnóstico do Setor de Gemas e Joias. Questionários aplicados em levantamentos de campo, nos municípios visitados durante a realização do projeto: pesquisa cadastral das joalherias e lapidações do estado da Bahia

Siegel, S, Veiga, M. M. (2009). Artisanal and small-scale mining as an extralegal economy: De Soto and the redefinition of “formalization”. *Resources Policy*, vol. 34, 51–56

Sinkankas, J. (1984). *Gem Cutting a lapidary's manual*. Van Nosteand Reinhold. New York, 198p

Stoiber, E. R, Tolman, C, Butler, D. R. (1945). *Geology of Quartz Cristal Deposits*, *American Mineralogist*, Vol. 30, p 219-229

Svisero, D, Franco, R. R. (1991). *Província gemológica brasileira*. In: Schobbenhaus, C.; Queiroz, E. T.; Coelho, C. E. S. *Principais depósitos minerais do Brasil: gemas e rochas ornamentais*. Brasília: DNPM/CPRM, vol. 4, parte A, p. 9-16

Tavares, S. A, Andrade, C, A, de, Baião, S. M. G, Gama, N. L. J. da, Silveira, G. A. L. da, Leite, M. W. (1998). *Manual Técnico de Gemas – DNPM, IBGM*, 112 p

Teixeira, N. S, Lima, M. H. R. (2004). *Características e atuação das organizações de garimpeiros no Brasil*, in: *Proceeding of XII Jornada de Iniciação Científica*. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro

Veiga, M. M. (2001). *Mining with communities*. *Natural Resources Forum* vol. 25, 191–202

Webster, R. (2002). *Gems, Their sources, descriptions and identification*. Butterworth-Heinemann. Revised by Read, P. G. Fifth Edition. Oxford, 652-738p

CAPÍTULO 6

6. DISCUSSÃO

6.1. Tipos das Ocorrências

De acordo com Simonet et al. (2008), as principais ocorrências mundiais de coríndon estão inseridas em terrenos metamórficos, de médio a alto grau. Análises geoquímicas de elementos traços, utilizando teores de Fe, Ti, Cr, Ga e Mg e razões como Ga/Mg, Fe/Ti, Fe/Mg, e Cr/Ga como parâmetros indicativos da gênese mineral têm sido utilizadas como ferramenta para uma associação geológica/geoquímica para obtenção da origem do mineral, de acordo com Schwarz (1996), Sutherland et al. (1998), Sutherland & Schwartz (2001), Peucat et al. (2007), Zwaan et al. (2015), Sutherland et al. (2015), Wang et al. (2017), Hughes, (2017) e Voudouris et al. (2019), de modo a obter uma distinção entre origens metamórfica e magmática.

Peucat et al. (2007) e Sutherland et al. (2015) realizaram estudos de variação do conteúdo de Fe (ppm) x Razão Ga/Mg, como uma ferramenta para separar coríndon de origem metamórfica e magmática. Todos os cristais de coríndon estudados são de origem metamórfica (Fig. 20), com base nos estudos realizados nos capítulos 3 e 4.

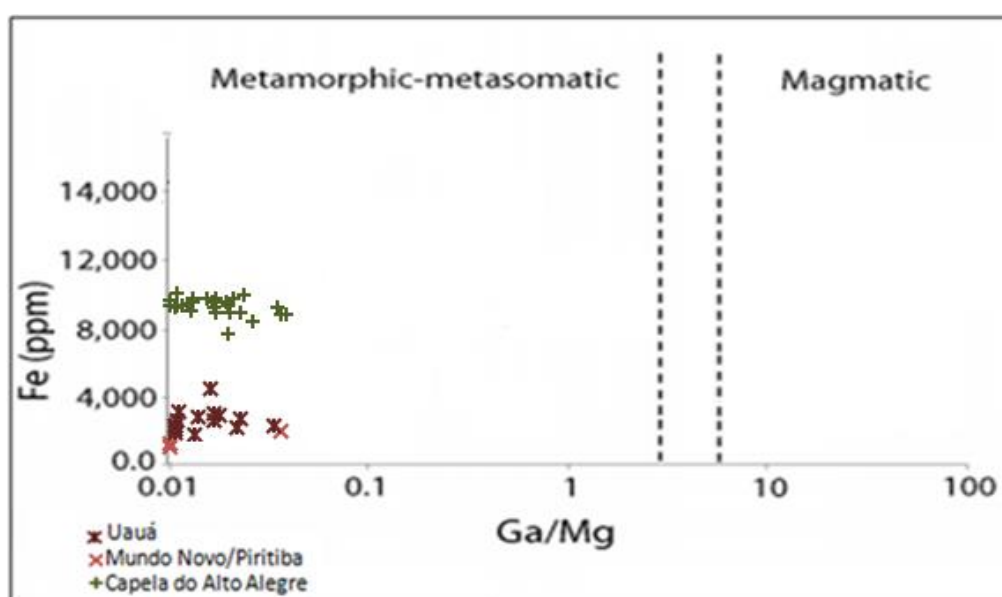


Fig. 20: Gráfico de separação de coríndon de origem metamórfica e magmática, com base na variação do conteúdo de Fe (ppm) x Razão Ga/Mg. Modificado de Sutherland et al., (2015).

As mineralizações de coríndon associadas a depósitos metamórficos são muito diversificadas em função de o coríndon estar presente em diferentes ambientes geológicos, condições de temperatura e pressão.

Na região de Uauá, as mineralizações de coríndon são provenientes da interação de rocha máfica e fluidos mineralizantes, como ocorre no depósito de coríndon associado a rochas máficas e ultramáficas metamorfizadas de Montepuez em Moçambique, onde o coríndon se origina do metamorfismo/metassomatismo de rochas gabroicas ou sequências vulcanossedimentares. Esses depósitos são as principais fontes de coríndon de coloração rosa e vermelho da região, os quais geralmente são submetidos a tratamento térmico para melhoria da cor (Giuliani et al., 2020). Mineralizações de coríndon, provenientes da interação de rocha máfica e fluidos mineralizantes, também podem ser encontrados em Campo Belo/MG, devido a interação de rochas granulíticas, com corpos ultramáficos (Liccardo & Evangelista, 2001, Basílio, 1999), bem como o coríndon gemológico da região de Mangare em Moçambique (Rakotondrazafy et al., 2008), que representam o mais complexo fenômeno de dessilicificação envolvendo fluidos provenientes de metapelitos, em contato com metaultrabasitas. No Quênia, o coríndon é encontrado em cascalhos eluvionares derivados de veios dessilicificados, que cortam rochas ultramáficas serpentinizadas (Liccardo & Evangelista, 2000).

Em Capela do Alto Alegre, as ocorrências de coríndon estão associadas ao metassomatismo de gnaisses e granulitos aluminosos, como é o caso do depósito de Safiras Khao Wua, na Tailândia, onde as safiras se formaram em rocha gnáissica de alto grau, proveniente de um manto metassomatizado e magmas de composição altamente alcalina (Saminpanya & Sutherland, 2011). Ocorrências de coríndon associadas ao metassomatismo de gnaisses e granulitos aluminosos, também podem ser encontradas nos depósitos de Palmeiras, Indaiá, Sapucaia e Caputira/MG, inseridas em terrenos metamórficos de alto grau, compostos por gnaisses e granulitos (Liccardo, 2005), ou nos depósitos do Sri Lanka (Simonet et al., 2008), associados a rochas metamórficas da fácies granulito, onde ocorrem coríndon de qualidade gemológica, de diferentes cores.

Já em Mundo Novo/Piritiba, as mineralizações encontram-se associadas à micaxisto, inseridas em terrenos do tipo *Greenstone Belt*, os quais apresentam complexa evolução geológica, com presença de vulcanismos, sedimentações, intrusões ígneas, metamorfismo regional e deformações polifásicas. Essa ocorrência pode ser comparada com o coríndon da região de Maniitsoq (Kangerdluarssuk), região dos Cinturões *Greenstone Belts* arqueanos, do Cráton do Atlântico Norte da Groenlândia Ocidental, onde rochas ultramáficas (anfíbólio-peridotito) estão em contato

direto com as zonas portadoras de coríndon, que foram transformadas em micaxisto por reações metassomáticas (Yakymchuk & Szilas, 2018). Em Passos e Bom Jesus da Penha/MG, também existem descrições de ocorrências de coríndon associadas a xistos, que também sofreram metamorfismo regional de pressão média a alta (Zanardo, 1996).

6.2. Aspectos Mineralógicos, Gemológicos e Causas de Cor

A palavra coríndon é de origem indiana (*kaurundaka*), mas também é conhecida desde antiguidade, por (*ratnara*), que significa "o rei das pedras". Devido as suas variedades gemológicas, rubi e safira, o coríndon é considerado, após o diamante, o mineral gemológico mais importante. A palavra rubi é derivada do latim (*rubeus*) que significa "vermelho". Já a safira é derivada do árabe (*safir*), que significa "preciosa". O termo safira é designado para nomear a variedade gemológica do coríndon de cor azul, mas também serve para nomear outras cores desse mineral, com exceção da cor vermelha, a qual recebe o nome de rubi (Duda & Rejl, 1986).

Cobiçados em todo o mundo, as variedades gemológicas do coríndon, rubi e safira, podem alcançar valores de milhares de dólares o quilate (1ct = 0,2g), constituem cerca de 50% do mercado de gemas no mundo, e correspondem a apenas 1% do coríndon minerado em todo o globo (Hughes, 1997).

No mundo, depósitos de coríndon podem ser encontrados no Paquistão, China, Rússia, Estados Unidos, Zimbábue, Austrália, Birmânia, Índia, Madagascar, Colômbia e Brasil. No Sri Lanka, um dos maiores produtores mundiais de rubi e safira, a presença desse mineral é verificada em terrenos granulíticos. No Brasil, existem terrenos granulíticos, encontrados em regiões cratônicas, (crátons Guaporé, São Francisco, São Luiz, Luis Alves), mas muito pouco ainda se conhece sobre as ocorrências de coríndon nos terrenos granulíticos brasileiros.

De acordo com Hughes (1990), embora se encontre depósitos de coríndon amplamente distribuídos pelo mundo, poucos são os depósitos de qualidade gemológica. A grande maioria dos depósitos produz coríndon de qualidade inferior, destinados à aplicação industrial, na fabricação de abrasivos e ferramentas de corte, e uma parcela é aproveitada na fabricação de bijuterias, e submetida a tratamentos para melhoria de sua cor.

Segundo Ernst (1971), a dureza é um dos fatores determinantes para a utilização gemológica de um mineral, já que a dureza é uma das características responsáveis pela durabilidade de uma gema. No caso de rubis e safiras, essa é uma das principais justificativas para seu grande destaque no mercado gemológico.

Na região de Uauá, o coríndon ocorre na forma de pequenos cristais arredondados, por vezes translúcidos, com coloração intensa nas cores vermelho escuro, vinho e amarronzado. Em Capela do Alto Alegre, os cristais de coríndon são opacos, apresentam hábito prismático, com coloração variando de verde acinzentado a cinza azulado. Já em Mundo Novo/Piritiba, o coríndon ocorre geralmente em massas granulares, opacos, com coloração variando de rosa, rosa avermelhado e vermelho arroxeado.

Os hábitos mais frequentes observados nas amostras de coríndon estudadas são o prismático, predominante na região de Uauá; barrilete, característico da região de Capela do Alto Alegre; e prismático alongado, na região de Mundo Novo/Piritiba. As concentrações dos elementos traços também podem ser usadas como indicativos para diferentes hábitos do coríndon, essas variações morfológicas estão diretamente correlacionadas com os teores de Cr e Fe existentes no cristal (Sorokina et al, 2016).

As características internas mais comuns observadas nos cristais de coríndon foram zoneamentos de cor, presentes na maioria das amostras estudadas. Em Capela do Alto Alegre, o coríndon apresenta um zoneamento de coloração verde acinzentado. Já no coríndon de Mundo Novo/Piritiba, o zoneamento de cor apresenta coloração tanto vermelho arroxeada como rosa avermelhado.

O coríndon pode apresentar-se nas cores vermelha, azul, lilás, rosa, amarela, verde, arroxeada, cinzenta e incolor. A variedade gemológica de coloração vermelha (rubi) contém Cr^{+3} , enquanto a variedade gemológica de coloração azul (safira) contém Fe^{+2} e Ti^{+4} . As variedades de coloração amarela são devidas à presença de íons de Fe^{+3} ou Ni^{+3} e as verdes de Fe^{+3} e Ti^{+4} . O coríndon incolor é constituído exclusivamente de óxido de alumínio, podendo ser denominado de safira incolor (Deer, et al. 1993).

Com base nos critérios analisados e os resultados obtidos sobre as causas de cor no capítulo 4, os cristais de coríndon da Bahia possuem Cr e Fe como seus principais elementos cromóforos.

Nas ocorrências de Uauá, a coloração vermelha escura está relacionada ao elevado percentual de Cr. Já as colorações tendendo ao vinho e amarronzado, devem sua cor a presença de Cr associadas a porcentagens de Fe. O coríndon de coloração

amarronzado apresentou baixas concentrações de Cr, enquanto que o coríndon de coloração vinho apresentou elevada concentração e Fe. Na região de Capela do Alto Alegre, as colorações cinza azulado e verde acinzentado estão diretamente ligadas à presença de elevadas porcentagens de Fe. Os cristais de coríndon de colorações rosa de Mundo Novo/Piritiba estão relacionados a presença de Cr, Fe e Ti associados, com conteúdo variando de acordo com a intensidade da cor, enquanto que os de coloração rosa avermelhado devem sua cor a associação de elevados percentuais de Cr e Fe. Já o coríndon de coloração vermelho arroxeadado deve sua cor a associação de baixas porcentagens de Cr e Fe.

O excesso de Fe presente nos cristais de coríndon estudados pode ser o causador da falta de transparência e elevada saturação de cor presente nas amostras analisadas. A realização de tratamento térmico é sugerida como uma opção para melhoria da transparência e cor, podendo conceder ao coríndon melhor qualidade gemológica.

6.3. Inovação no Segmento de Gemas e Joias e o Potencial Socioeconômico

A gemologia está passando por um processo de ampliação de seu universo de atuação, não interagindo apenas com a geologia, no que se refere à prospecção das ocorrências, mas amplia cada vez mais suas interações com a química e a física, para melhor desenvolvimento de tratamentos e sínteses de gemas, e também vem estreitando seus laços com o design de gemas.

O design de gemas é um processo criativo, em que o conhecimento das propriedades dos minerais gemológicos são essenciais para o desenvolvimento dos processos de corte, facetamento e polimento, caminhando atrelados a conhecimentos técnicos em joalheria, ergonomia e moda (Nadur, 2014).

A produção baiana de gemas é voltada especialmente para o mercado externo, tendo como principais setores de consumo a indústria de lapidação e joalheria. Além do mercado tradicional da alta joalheria, existem outros meios de aproveitamento das gemas, que tem ganhado cada vez mais espaço. Formas alternativas de lapidação, atreladas ao design de gemas estão cada vez mais, permitindo novas criações e confeções de peças diferenciadas, e com personalidade (Nadur, 2014). A criação de artesanato mineral em gemas, assim como o aproveitamento de algumas gemas para minerais de coleção, também vem ganhando destaque no mercado.

As regiões produtoras de gemas na Bahia sofrem com diversos problemas de infraestrutura, saúde, educação, entre outros, mas os governos locais são incapazes de supri-los, pois as atividades dos municípios, muitas vezes restringem-se a agricultura e pecuária de subsistência, que produzem pouca ou nenhuma receita fiscal, gerando um descompasso crescente de problemas socioambientais (DNPM, 2008).

O desenvolvimento de formas alternativas de lapidação e aproveitamento das gemas, confecção de peças de adorno, utilitários e utensílios a partir das técnicas simples de artesanato mineral, e utilizando matéria prima local, vem surgir como potenciais socioeconômicos, para desenvolvimento do mercado interno e políticas públicas de inclusão social. Experiências positivas vêm sendo desenvolvidas no em Pedro II - Piauí (Puppim de Oliveira e Ali, 2011), em Soledade - Rio Grande do Sul (Donato et al, 2017); e na Africa Sub-Saariana (Hilson e Maconachie, 2020).

Bons resultados foram obtidos no capítulo 5, demonstrando que com o beneficiamento das amostras de coríndon provenientes das regiões de Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Piritiba, em busca de um melhor aproveitamento e valorização gemológica do material, foi possível produzir peças com potencial para aproveitamento comercial, e desenvolvimento social local, como uma alternativa de fonte de renda, vinculada a mineração artesanal do coríndon na Bahia.

Apesar de o Brasil ser um país tradicionalmente produtor de pedras preciosas, somente em tempos relativamente recentes, observou-se o surgimento de uma preocupação governamental com os estudos gemológicos no país (Couto, 2000).

A Secretaria de Desenvolvimento Economico, através do Centro Gemológico da Bahia, e em parceria com o SENAI/BA, desenvolveram a Escola de Joalheria, com o propósito de oferecer cursos de formação e aperfeiçoamento profissional, voltados ao segmento de gemas e jóias e artesanato mineral, na capital baiana. Com a crescente demanda vinda dos interiores, e com o propósito de elaborar políticas públicas para desenvolvimento socioeconômico e capacitação de mão de obra, atrelados a sustentabilidade local, o governo do estado da Bahia, em parceria com prefeituras, cooperativas e associações de diversos municípios produtores de gemas, está desenvolvendo um projeto de expansão da Escola de Joalheria do Centro Gemológico da Bahia para o interior do Estado, através da criação de cursos voltados para atender as demandas específicas de cada região, visando uma maior interação com as comunidades produtoras de gemas.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSÃO

A Bahia possui extensa área de terrenos metamórficos de médio e alto grau, do Cráton do São Francisco, compostos por litologias tais como gnaisses e granulitos aluminosos, rochas máficas e ultramáficas, intrusões graníticas e pegmatíticas, favoráveis à formação do coríndon. Neste trabalho foram estudadas três ocorrências de coríndon existentes no Cráton do São Francisco, pertencentes às regiões de Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo Piritiba. Essas ocorrências estão associadas a diferentes contextos geológicos e gêneses, dentro do referido Cráton.

Os dados geológicos obtidos em campo e as análises petrográficas, mineralógicas, gemológicas, cristalográficas, de química mineral e causas de cor, permitiram avançar na compreensão das gêneses das mineralizações e dos tipos de coríndon na Bahia.

No município de Uauá o coríndon ocorre na zona de contato entre uma rocha máfica e um veio feldspático, na forma de cristais arredondados, nas cores vermelho e vinho. Em Capela do Alto Alegre, o coríndon está inserido em gnaisses, com hábito prismático e coloração verde acinzentado. O coríndon da região de Mundo Novo/Piritiba encontra-se associado à micaxistos, em massas granulares, com coloração vermelho arroxeado.

Os cristais de coríndon da Bahia possuem como seus principais elementos cromóforos Cr e Fe. Nas ocorrências de Uauá, as colorações do coríndon estão relacionadas à presença de Cr associado a porcentagens de Fe. Na região de Capela do Alto Alegre, as colorações do coríndon estão diretamente ligadas à presença de elevadas porcentagens de Fe. Enquanto que em Mundo Novo/Piritiba, as colorações estão relacionadas à presença de Cr, Fe e Ti associados, com conteúdo variando de acordo com a intensidade da cor.

Os estudos realizados sobre a química mineral e a gênese das ocorrências do coríndon da Bahia são de relevância para orientação de futuros trabalhos e estudos de critérios de prospecção e dimensionamento das ocorrências em questão.

A caracterização das ocorrências de coríndon permitiu a realização de estudos a respeito do potencial socioeconômico do coríndon. Conhecer detalhadamente cada uma das ocorrências foi fundamental para se compreender este potencial, que era inteiramente desconhecido.

Através da aplicação de técnicas simples de beneficiamento no coríndon das regiões de Uauá, Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Piritiba, pode se obter bons resultados. As peças produzidas apresentaram potencial para aproveitamento comercial, e a promoção do desenvolvimento social local, se tornando uma alternativa de fonte de renda, e como ferramenta de fomento para políticas públicas, vinculadas à mineração artesanal do coríndon na Bahia.

Os cristais de coríndon foram lapidados nas formas oval e redonda, tanto facetados quanto em formato cabochão. Os melhores resultados foram obtidos com a lapidação cabochão nos cristais de coríndon de Uauá, que valorizou a cor dos corindons com pouca transparência, disfarçou as fraturas existentes, e proporcionou o surgimento de figuras luminosas do tipo acatassolamento em um dos cristais lapidado. Este material foi destinado para a confecção de peças de adorno, como colar e pulseira. Foram também lapidadas amostras de coríndon com a rocha, da região de Mundo Novo/Piritiba, visando aproveitar o coríndon opaco, fraturado, ou na forma de massas de cristais, o que proporcionou a confecção de peças exóticas, em formato cabochão. Os cristais de coríndon de Capela do Alto Alegre não foram possíveis de serem lapidados, devido a presença de inúmeras microfraturas internas existentes nos cristais, o coríndon acabou se partindo em diversos fragmentos, durante as primeiras etapas do processo de lapidação, impossibilitando a conclusão da mesma.

Amostras das três regiões produtoras de coríndon foram aproveitadas para a confecção de esculturas de artesanato mineral, utilizando a rocha juntamente com o coríndon, assim como algumas também foram aproveitadas como minerais de coleção, devido apresentavam formatos interessantes e representativos. A maior dificuldade encontrada durante o beneficiamento foi a grande diferença de dureza existente entre o coríndon e a rocha encaixante, diferença esta, que pode ser muito bem aproveitada para o artesanato mineral, proporcionando a realização de esculturas interessantes.

Apesar da importância econômica que as gemas representam para a economia do estado da Bahia, o setor ainda apresenta muitos problemas. A mineração é desenvolvida de forma artesanal, e realizada informalmente por garimpeiros e atravessadores, que comercializam a produção em pequena escala, geralmente em estado bruto, praticando valores muito abaixo do valor de mercado. Os municípios produtores de gemas são carentes e pouco desenvolvidos. O desenvolvimento de meios de aproveitamento e beneficiamento das gemas pode vir a se destacar como

potenciais socioeconômicos, para crescimento local e elaboração de políticas públicas de inclusão social.

O potencial gemológico da Bahia se expressa através do longo histórico da exploração de variadas gemas ao qual se soma a criação do Centro Gemológico da Bahia, que subsidia em grande parte o desenvolvimento e a ampliação deste potencial no Estado. Através de seus projetos em parceria com instituições, prefeituras, cooperativas e associações, o Centro Gemológico da Bahia visa se constituir como um instrumento de base técnica, para subsidiar as necessidades das múltiplas facetas da mineração artesanal nestas regiões, visando promover o desenvolvimento econômico e inclusão social, e proporcionar oportunidades de capacitação, emprego e geração de negócios, para os municípios produtores, bem como sustentabilidade ambiental na mitigação e gestão de impactos através do aproveitamento de rejeitos da mineração. Os projetos de capacitação do Centro Gemológico da Bahia para os municípios produtores de gemas visam a valorização cultural e a criação de uma identidade capaz de trazer regionalidade às peças, de modo a permitir um melhor aproveitamento e maior valorização do material de cada região.

O desenvolvimento de núcleos de artesanato mineral e lapidação, e a organização dos garimpeiros em associações e cooperativas podem ajudar a trazer benefícios para a região, através de investimentos e parcerias públicas e privadas.

É necessário que cada vez mais sejam aperfeiçoadas as formas de aproveitamento e beneficiamento das gemas, bem como de seus rejeitos, de forma a agregar maior valor ao material. A elevação do valor agregado das gemas poderá ser alcançada através da diversificação, melhoria da qualidade, inovação e desenvolvimento em design, e ações mercadológicas eficazes, capazes de elevar o potencial comercial destes produtos, para além do mercado local.

Sugere-se a realização de um estudo capaz de atrair investimentos empresariais e cooperativados dirigidos para a extração do coríndon, com desdobramentos nos segmentos de beneficiamento, lapidação e comercialização, visando alavancar os ganhos socioeconômicos das regiões produtoras do estado da Bahia. Sugere-se também, a realização de estudos complementares de tratamento térmico, buscando a melhoria da qualidade da cor do coríndon, para um melhor aproveitamento deste material no setor joalheiro.

CAPÍTULO 8

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. (1977). O Cráton do São Francisco, *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 7, nº 4, p. 349-364.

ANDRIAMAMONJY, S. A. (2006). Les Corindons Associes aux Roches Metamorphiques du Sud ouest de Madagascar: le Gisement de Saphir de Zazafotsy. Unpublished M.Sc. thesis, Antananarivo University, Madagascar, 103 p.

BASÍLIO, M. S. (1999). A Alexandrita de Malacacheta, Nordeste de Minas Gerais. Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, 111p.

BIONDI, J. C. (2003). Processos Metalogenéticos e os Depósitos Minerais Brasileiros. Ed. São Paulo: Oficina de Textos – CBMM, vol.1, 528p.

BOYLE, R. W. (1976). Mineralization Processes in Archean Greenstone and Sedimentary Belts. *Canada Geol. Survey Paper*, vol. 75-15, pp. 1-45.

BRIDGES, C. R. (1982). Gemstones of East Africa. In: *Proceedings of the International Gemological Symposium*. D.M. Eash, pp. 263–275.

CASSEDANNE, J. (1971). Geologia de Algumas Jazidas de Gemas. *Boletim de Geologia*, Rio de Janeiro, nº. 6, pp. 12-21.

CHVATAL, M. (1999). Mineralogia para principiantes, *Cristalografia*. traduzido por Igor de abreu Lima. Ed. Sociedade Brasileira de geologia. 159-187p

COLLINS, A. S., WINDLEY, B. F. (2002). The Tectonic Evolution of Central and Northern Madagascar and its Place in the Final Assembly of Gondwana. *J. Geol.*, vol. 110, pp. 325–340.

COUTO, P. A. A. (2000). Mapa Gemológico do Estado da Bahia. Texto Explicativo, Salvador: CPRM

CRUZ, S. C. P., ALKMIM, F. F. (2006). The tectonic interaction between the Paramirim Aulacogen and the Araçuaí Belt, São Francisco Craton region, Easter Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1: 151-173p.

DAHANAYAKE, A. N., LIYANAGE, A. P. (1980). Genesis of Sedimentary Gem Deposits in Sri Lanka. *Sediment. Geol.* 25, p.105-115.

DANA, J. D., HURLBUT, C. S. (1960). *Manual de Mineralogia*. 2 ed. V I e II. Tradução Ao livro técnico S. A., Rio de Janeiro

DEER, W. A. (1992). *An Introduction to the Rock Forming Minerals*. 2 ed. Longman. London, 696p.

DEER, W. A., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J. (1993). *Introduction to the rock-forming minerals*. 2 ed. Harlow, Longman. 696 pp

DNPM. (2008). *Cooperativismo mineral no Brasil, o caminho das pedras passo a passo*. Brasília, 134p

DONATO, M., DUARTE, L. C., VILASBÔAS, F. S. (2017). *Ações Aplicadas à Cadeia Produtiva de Gemas e Joias do Rio Grande do Sul*. 1. ed. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, v. 1. 145p

ERNST, W. G. (1971). *Minerais e Rochas*. 1 ed. Editora Blucher S.A., São Paulo, 98p.

FRÓES, R. J. B., NOGUEIRA, F. C. (1976). *Bibliografia comentada da geologia da Bahia: 1817-1975*. CPM, 570p.

GARNIER, V. (2004). *Les Gisements de Corindon, Classification et Genese*. *Le Regne e Mineral*. vol. 55, pp. 7-44.

GARNIER, V. (2004). *Saphirs et Rubis. Classification des Gisements de Corindon*. *Le Regne e Mineral*, vol. 55, pp. 44-47.

GARNIER, V., GIULIANI, G., OHNENSTETTER, D., SCHWARTZ, D. (2004). *Les Gisements de Corindon, Classification et Genese*. *Le Regne e Mineral*. vol. 55, pp. 7-44.

GIULIANI, G. (2007). *Oxygen Isotope Systematic of Gem Corundum Deposits in Madagascar: Relevance for their Geological Origin*. *Mineralium Depodits*, vol. 42, pp. 251-270

GIULIANI, G. (2007). *The Geology and Genesis of Gem Corundum Deposits in Geology of Gem*

Deposits. In: Lee, Groat. Ed. Short Course Series. Vol 37. Mineralogical Association of Canada, Quebec, pp. 23-78.

GIULIANI, G., GROAT, L. A., FALLICK, A. E., PIGNATELLI, I., PARDIEU, V. (2020). Ruby Deposits: A Review and Geological Classification. *Minerals*, 83 pp

GUO, J. (1996). Corundum from Basaltic Terrains, a Mineral Inclusion Approach to the Enigma. *Contributions to Mineralogy and Petrology* vol. 122, pp. 368–386.

HILSON, G., MACONACHIE, R. (2020). Artisanal and small-scale mining and the Sustainable Development Goals: Opportunities and new directions for sub-Saharan Africa. *Geoforum*, vol. 111 125–141

HUGHES, R. W. (1990) - Corundum. London, Butterworth-Heinemann, 314p.

HUGHES, R. W. (1997) - Ruby and Sapphire. RWH Publishing, 512 p.

HUGHES, R. W. (2017). Ruby & sapphire: A Gemologist's guide. Bangkok, RWH Publishing/Lotus Publishing. 816 p.

KLEIN, C., HURLBUT, JR. C. S. (2002). *Manual of Mineralogy: after J D Dana 21 ed. rev.* New York, John Wiley & sons 681 pp

LEE, A. G. (2009). Gem Formation, Production, and Exploration: Why Gem Deposits Are Rare and What is Being Done to Find Them. *Elements*, vol. 5, pp. 153-158.

LEVINSON, A. A., COOK, F. A. (1994). Gem Corundum in Alkali Basalt: Origin and Occurrence. *Gems. Gemol.* Vol. 30, pp. 253–262.

LICCARDO, A., EVANGELISTA, H. (2005). Rubi e Safiras de Minas Gerais - Brasil. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto.* Vol. 58, n° 13.

LICCARDO, A., EVANGELISTA, H. (2000). Ocorrências de coríndon na porção leste de Minas Gerais. *Geonomos* vol. 8, n. 1,p. 39-45

LICCARDO, A. (2003). Coríndon no Brasil, Ocorrências, Mineralogia, Química e Gênese. Tese de Doutorado, Universidade de Ouro Preto. Escola de Minas, 186p.

LICCARDO, A.; EVANGELISTA, H. J. Coríndon In: Castaneda, C., Addad, J. E., Liccardo., A. (2001). Gemas de Minas Gerais, Ed. SBG, p234-259.

LIMA DE FARIA, J. (1994). Structural Mineralogy, An Introduction Ed. Springer, 359p

LIMTRAKUN, P. (2001). Formation of the Denchai Gem Sapphires, Northern Thailand: Evidence from Mineral Chemistry and fluid/melt Inclusion Characteristics. Mineralogical Magazine, vol. 65(6), pp. 725-735

MARTELAT, J. E. (2000). Strain Pattern and Late Precambrian Deformation History in Southern Madagascar. Precambrian Research vol. 102, pp. 1–20.

MASCARENHAS , J. F., SILVA, E. F. A. (1994). "Greenstone Belt" de Mundo Novo: caracterização e implicações metalogenéticas e geotectônicas no Cráton do São Francisco. Série Arquivos Abertos, vol. 5, CBPM.

NADUR, A. V. (2014). O design de gemas através dos enfoques: mineralogia, tribologia e design. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 252p

NECHAEV, V. P. (2004). Geodynamic settings of gem corundum deposits Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of Active Continental Margins. Proceedings of the INTERIM IAGOD Conference. Vladivostok, Russia, p. 366-369.

PEREIRA, L. H. M. (1992). Serrinha, folha SC.24-Y-D-VI: Estado da Bahia: Texto explicativo. CPRM, 164p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

PEUCAT, J. J., RUAULT, P., FRITSCH, E., BOUHNİK-LE, C. O. Z. M., SIMONET, C., LASNIER, B. (2007). Ga/Mg ratio as a new geochemical tool to differentiate magmatic from metamorphic blue sapphires. Lithos 98:261–274

PUPPIM DE OLIVEIRA, J. A., ALI, S. H. (2011). Gemstone mining as a development cluster: a study of Brazil's emerald mines. Resources Policy 36,132–141

RAKOTONDRAZAFY, P. (2008). Gem Corundum deposits of Madagascar: A Review. Ore Geology Reviews. vol. 34, pp. 134-154.

RAPASINGHE, M. S., DISSANAYAKE, C. B. (1985). Charnockites and the Genesis of Gem Minerals. *Chemical Geology*, vol. 53, pp. 1-16.

RIBEIRO, T. S. (2010). Mineralizações de Coríndon da Região de Mundo novo/BA: Caracterização Geológica e Petrográfica. Trabalho Final de Graduação, Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, 119p.

SÁ, J. H. S. (1980). Ocorrências de coríndon da Fazenda Umbuzeiro. Relatório técnico interno da Coordenação de Produção mineral. Não publicado, 5p.

SÁ, J. H. S. (2012). Coríndon na Bahia, Séries Arquivos Abertos, vol. 38, CPRM.

SAMINPANYA, S., SUTHERLAND, F. L. (2011). Different origins of Thai area sapphire and ruby, derived from mineral inclusions and co-existing minerals. *European Journal of Mineralogy* 13 pp

SCHUMMAN, W. (2006). Gemas do Mundo. Ed. ao Livro Técnico, traduzido por Mário Del Rio, 9ª Edição, p. 116-122.

SCHWARZ, D. (1996). Sapphires from the Andranondambo Region, Madagascar. *Gems & Gemology*, vol 32, 2:80-99

SIMONET, C., FRITSCH, E., LASNIER, B. (2008). A Classification of Gem Corundum Deposits Aimed Towards Gem Exploration. *Ore Geology Reviews*, vol. 34, pp. 127-133.

SIMONET, C. (2000). Geology of Sapphire and Ruby Deposits – The exemple of the John Saul Ruby Mine, Mangare area, Southern Kenya. PhD Thesis, University of Nantes.

SOROKINA, E. S., HOFMEISTER, W., HÄGER, T., MERTZ-KRAUS, R., BUHRE, S., SAUL, J. M. (2016). Morphological and chemical evolution of corundum (ruby and sapphire): Crystal ontogeny reconstructed by EMPA, LA-ICP-MS, and Cr³⁺ Raman mapping *American Mineralogist*, Vol 101, 2716–2722

SUTHERLAND, E. L., SCHWARZ, D., JOBBINS, E. A., COENRAADS, R. R., WEBB, G. (1998). Distinctive gem corundum suites from discrete basalt fields: a comparative study of Barrington, Australia and West Pailin, Cambodia gemfields. *Journal of Gemmology* 26:65-85

SUTHERLAND, E. L., SCHWARZ, D. (2001). Origin of gem corundums from basaltic fields. *The Australian Gemmologist* 21:30-33

SUTHERLAND, F. L., ZAW, K., MEFFRE, S., YUI, T. F., THU, K. (2015). Advances in Trace Element “Fingerprinting” of Gem Corundum, Ruby and Sapphire, Mogok Area, Myanmar. *Minerals* 5:61–79

SUTHERLAND, F.L., COENRAADS, R.R., ABDURIYIM, A., MEFFRE, S., HOSKIN, P. W. O., GIULIANI, G., BEATTIE, R., WUHRER, R., SUTHERLAND, G. B. (2015). Corundum (sapphire) and zircon relationships, Lava Plains gem fields, NE Australia: Integrated mineralogy, geochemistry, age determination, genesis and geographical typing. *Mineralogical Magazine* 79(3):545–581.

UNDP (2016). Mapping Mining to the Sustainable Development Goals: A Preliminary Atlas. United Nations Development. Program, New York.

VIZCAÍNO, V. L. S. (1995). The Behavior of Cr During Metamorphism of Carbonate Rocks from the Nevado-Filabride Complex, Betic Cordilleras, Spain. *The Canadian Mineralogist*. vol. 33, p.85-104.

VOUDOURIS, P., MAVROGONATOS, C., GRAHAM, I., GIULIANI, G., MELFOS, V., KARAMPELAS, S., KARANTONI, S. V., WANG, K., TARANTOLA, A., ZAW, K., MEFFRE, S., KLEMME, S., BERNDT, J., HEIDRICH, S., ZACCARINI, F., FALLICK, A., TSORTANIDIS, M., LAMPRIDIS, A. (2019). Gem Corundum Deposits of Greece: Geology, Mineralogy and Genesis. *Minerals* 41pp

WANG, K. K., GRAHAM, I. T., LAY, A., HARRIS, S. J., COHEN, D. R., VOUDOURIS, P., BELOUSOVA, E., GIULIANI, G., FALLICK, A. E., GREIG, A. (2017). The Origin of A New Pargasite-Schist Hosted Ruby Deposit From Paranesti, Northern Greece. *Can. Mineral* 55:535–560

WIT, M. J. (2001), Age and Tectonic Evolution of Neoproterozoic Ductile Shear Zones in Southwestern Madagascar, with Implications for Gondwana Studies. *Tectonics*, vol. 20, pp. 1–45.

YAKYMCHUK, C., SZILAS, K. (2018). Corundum formation by metasomatic reactions in Archean metapelite, SW Greenland: Exploration vectors for ruby deposits within high-grade greenstone belts. *Geoscience Frontiers* 9:727-749

ZANARDO, A. (1996). Novas ocorrências de coríndon na região de Passos e Bom Jesus da Penha - MG. *Geociências*, vol.15, p. 133-142.

ZWAAN, J. C., BUTER, E., MERTZ-KRAUS, R., KANE, R. E. (2015). Alluvial sapphires from Montana: Inclusions, geochemistry, and indications of a metasomatic origin. *Gems Gemol* 51:370–391

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

“Mineralogia e gemologia dos coríndons da Bahia”

Área de Concentração: Geoquímica

Autor: **Monica Correa**

Orientador: Profa. Dra. Carla Cristine Porcher

Examinadora: Prof. Dr. Pedro Luiz Juchem

Data: 28 de maio de 2021

Conceito: A

PARECER:

A tese escrita apresentada pela candidata Monica Correa é de muito boa qualidade, apresentando dados inéditos de geologia, mineralogia e gemologia das ocorrências de coríndon da Bahia. É um trabalho que vai servir como referência sobre esses bens minerais do estado da Bahia. A candidata fez uma boa apresentação oral e apresentou dados químicos e mineralógicos muito interessantes. Sentimos falta em certas partes do texto, de uma maior integração dos dados, bem como de explicações mais detalhadas sobre a relação entre ocorrências ou depósitos minerais, bem como sobre critérios para quantificar o minério e justificar investimentos econômicos na região para a extração e beneficiamento dos minerais. Quando questionada sobre isso, a candidata soube responder com propriedade, mostrando segurança e muito conhecimento sobre os diferentes assuntos abordados na tese. Ficou claro durante sua defesa oral, que esses problemas podem e serão resolvidos a contento nos três trabalhos que já foram submetidos para publicação. A candidata também foi orientada a indicar que tipo de trabalhos futuros são sugeridos para a região (como mapeamento de detalhe, prospecção), a fim de trazer um maior conhecimento geológico e perspectivas econômicas desses depósitos minerais.

Assinatura:



Data: 28/maio/2021

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I	
Título da Dissertação/Tese:	
“Mineralogia e gemologia dos coríndons da Bahia”	
Área de Concentração: Geoquímica	
Autor: Monica Correa	
Orientador: Profa. Dra. Carla Cristine Porcher	
Examinadora: Profa. Dra. Cristine Lenz	
Data: 28/05/2021	
Conceito: A	
PARECER:	
<p>A tese de doutorado intitulada “Mineralogia e gemologia dos coríndons da Bahia” conta com três artigos, sendo dois com ênfase na geologia, petrologia e gemologia dos coríndons de 3 ocorrências baianas e um com foco no potencial socioeconômico. A tese conta com dados inéditos sobre um tema pouco explorado na ciência brasileira. Alguns ajustes devem ser feitos para a futura publicação dos artigos, entre eles a melhora da resolução e a tradução para o inglês de várias imagens e a localização correta no mapa geológico das ocorrências de Capela do Alto Alegre e Mundo Novo/Pirituba. Além disso, devem ser corrigidos no texto da tese e dos artigos, a nomenclatura correta da unidade geológica onde afloram essas duas ocorrências, sendo que os coríndons de Capela do Alto Alegre afloram no Cinturão Itabuna Salvador Curaçá, enquanto que as de Mundo Novo afloram no Bloco Gavião. Não fica claro ao longo do texto, em qual unidade afloram as rochas da ocorrência de Mundo Novo, se no Complexo Maini ou no Greenstone do Mundo Novo, sendo que essa informação deve ser uniformizada aos longos dos artigos e texto da tese. Ajustes devem ser feitos também nos resumos dos dois primeiros artigos, que se encontram incompletos em relação aos resultados do trabalho. Ajustar os gráficos dos resultados de química, em relação ao eixo x e y e adicionar ao artigo as tabelas de valores que resumem o gráfico junto com as imagens de cada uma das variantes de coríndon. Justificar e discutir o porque das variações composicionais nos coríndons, principalmente de Mundo Novo e Uauá, assim como defender melhor as hipóteses da origem dos depósitos conjugados com os teus resultados. Após a inserção dessas correções os artigos estarão mais adequados para publicação. De modo geral o trabalho tem um grande impacto para os conhecimentos gemológicos brasileiros, o que associado com a qualidade dos dados, adicionalmente ao ineditismo do trabalho justificam o conceito A para a tese.</p>	
Assinatura: 	Data: 31/05/2021

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“Mineralogia e gemologia dos coríndons da Bahia”
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: Monica Correa
Orientador: Prof ^a . Dr ^a . Carla Cristine Porcher
Examinadora: Prof. Dr. Edinei Koester
Data: 28-05-2021
Conceito: B (BOM)
PARECER:
<p>A tese acima citada tem como foco a temática na área de gemologia, com o estudo de ocorrências de coríndon no estado da Bahia. Sob o ponto de vista formal atende os requisitos do PPGGeo, onde são apresentados três artigos científicos submetidos a revistas com “QUALIS-CAPES A” e um texto integrador. Sob ponto de vista de forma o texto necessita de algumas melhorias, principalmente no que se refere à formatação do texto e a qualificação de figuras. Com relação aos objetivos da tese, apresentados de forma sucinta na página 14, cujo foco é “...interpretar a gênese da mineralização e compreender o potencial socioeconômico....” , o mesmo poderia ser melhor explorado, uma vez que a gênese das mineralizações não fica clara no texto, inclusive não sendo abordada no resumo nem mesmo nas conclusões da tese. As técnicas analíticas, importantes na caracterização das rochas e minerais do estudo, poderiam ter sido melhor abordadas, como por exemplo o uso do MEV e Raman para a identificação de fases minerais como inclusões e alterações, ou mesmo a realização de perfis composicionais ao longo de coríndon com a microsonda eletrônica. Os três artigos científicos trazem informações importantes, mas, poderiam ter mais integração, por exemplo, com a geologia da região (artigo 1), com a gênese das mineralizações (artigo 2) e com uma discussão mais ampla da situação atual do garimpo na região, como por exemplo uma estimativa do número de pessoas envolvidas, dos recursos financeiros advindos dessa atividade e até mesmo do potencial (expectativa) de extração do coríndon na região (artigo 3). As informações contidas</p>

na tese avançam no conhecimento geológico do coríndon nas regiões estudadas na Bahia, auxiliando na discussão sobre a potencial exploração dos mesmos. Diversos comentários e sugestões são apresentados no arquivo pdf da tese, em anexo. Diante do exposto, considero a tese aprovada.



Assinatura:

Data: 28-05-2021

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: