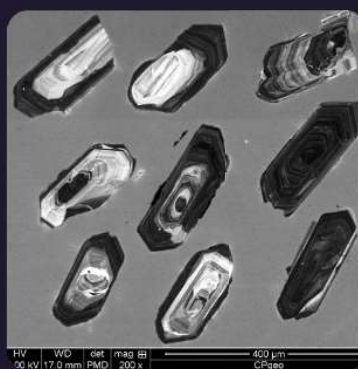


SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

CONTRIBUIÇÕES À GEOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA

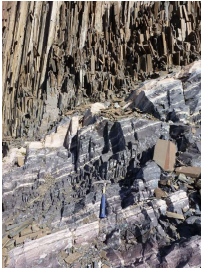
ANDRÉA RITTER JELINEK
CARLOS AUGUSTO SOMMER



IMAGENS DE CAPA E CONTRACAPA



Fotografia aérea do setor norte da Serra do Segredo, em Caçapava do Sul, RS, onde se destacam a Pedra do Segredo, em primeiro plano, e a Pedra da Abelha, logo à esquerda, geofórmulas esculpidas sobre conglomerados fluviais da Bacia do Camaquã. Ao fundo, alguns cerros formados por rochas metamórficas e o imponente alto de Caçapava, sobre granitoides diversos, rochas que registram diferentes momentos do Ciclo Brasileiro no sul do Brasil. A paisagem faz parte do Geoparque Caçapava Aspirante Unesco e é parcialmente inserida no Parque Natural Municipal da Pedra do Segredo. Imagem obtida por Felipe Guadagnin. Legenda de André Weissheimer de Borba e Felipe Guadagnin.



Contato entre rochas sedimentares da Bacia do Paraná e soleira de diabásio do Grupo Serra Geral. Pedreira Carollo, região de Montenegro, RS. Imagem e legenda de Carlos Augusto Sommer.

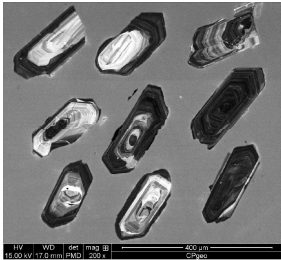


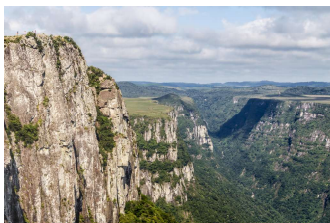
Imagem de catodoluminescência de cristais de zircão pertencentes ao Batólito de Florianópolis. Aumento de 200 vezes. Imagem e legenda de Andréa Ritter Jelinek.



Fotografia aérea oblíqua apresentando a morfologia da região correspondente ao extremo do Litoral Norte do RS, à direita observa-se a cidade de Torres/RS. Em primeiro plano observa-se a morfologia do campo de dunas localizado no Parque Estadual de Itapeva. Unidade essa localizada sobre o sistema Laguna-Barreira IV (holocênico). Logo após o baixio, na retaguarda do campo de dunas, ocorre a morfologia do sistema Laguna-Barreira III (pleistocênico). Ao fundo, com o relevo mais elevado, encontra-se a Formação Serra Geral pertencente à Bacia do Paraná. Imagem obtida por Eduardo H. R. Russo. Legenda de Eduardo Guimarães Barboza.



Minas do Camaquã, Mineração de cobre a céu aberto, Caçapava do Sul. Imagem e legenda de Carlos Augusto Sommer.



Derrames ácidos do Grupo Serra Geral, Bacia do Paraná, na região do Cânion Fortaleza, Parque Nacional da Serra Geral, Cambará do Sul, RS. Imagem licenciada de Depositphotos. Legenda de Carlos Augusto Sommer.



PUBLICAÇÃO ESPECIAL DO NÚCLEO RS/SC DA
SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

**CONTRIBUIÇÕES À GEOLOGIA
DO RIO GRANDE DO SUL E
DE SANTA CATARINA**

Editores

Andréa Ritter Jelinek
Carlos Augusto Sommer



Porto Alegre, RS, 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial desta obra, sem autorização expressa dos autores ou da editora. A violação importará nas providências judiciais previstas no artigo 102, da Lei nº 9.610/1998, sem prejuízo da responsabilidade criminal. Os textos deste livro são de responsabilidade de seus autores.

ISBN E-book: 978-65-89013-03-7

Edição: 1ª

Ano: 2021

Editora Compasso Lugar Cultura

Responsável André Suertegaray Rossato

Porto Alegre - RS - Brasil

Telefones (51) 984269928

compassolugarcultura@gmail.com

www.compassolugarcultura.com

Editores:

Andréa Ritter Jelinek

Carlos Augusto Sommer

Diagramador: Gabriel Zambom

Revisão de Texto: Gustavo Saldivar

Conselho Editorial Compasso Lugar Cultura

Álvaro Heidrich

Carlos Henrique Aigner

Cláudia Luíza Zeferino Pires

Dakir Larara Machado da Silva

Dilermando Cattaneo da Silveira

Dirce Maria Antunes Suertegaray

Helena Copetti Callai

Jaeme Luiz Callai

João Osvaldo Rodrigues Nunes

Laurindo Antonio Guasselli

Maíra Suertegaray Rossato

Nelson Rego

Roberto Verdum

Rosa Maria Vieira Medeiros

Sinthia Batista

Realização

Sociedade Brasileira de Geologia

Diretoria Núcleo RS/SC:

Diretora Presidente: Andréa Ritter Jelinek

Diretor Vice-Presidente: Carlos Augusto Sommer

Diretor Secretário: Lucas Debatin Vieira

Diretor Financeiro: Breno Leitão Weichel

Diretora de Programação Técnico-Científica: Rosemary Hoff

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

J47c

Jelinek, Andréa Ritter.

Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina /Andréa Ritter Jelinek e Carlos Augusto Sommer, organização – Sociedade Brasileira de Geologia - Porto Alegre : Compasso Lugar-Cultura, 2021.

504 p., il. col.

ISBN E-book: 978-65-89013-03-7

<https://doi.org/10.29327/537860>

1. Geologia 2.Sociedade Brasileira de Geologia 3. Coletâneas de textos I. Jelinek, Andréa Ritter II. Sommer, Carlos Augusto III. Título

CDD 551

CDU 551.1/.4

Bibliotecária Responsável: Catarina Strapação Guedes Vianna CRB-10/2469

Índices para catálogo sistemático:

1. Geologia 551

Coríndon em Santa Catarina – geologia e gemologia

Nelson Luiz **Chodur**^{1*}, Antonio **Liccardo**², Lauren da Cunha **Duarte**³,
Pedro Luiz **Juchem**³, Guilherme **Villani**⁴

¹ Universidade Federal do Paraná

² Universidade Estadual de Ponta Grossa

³ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

⁴ Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*autor correspondente: nlchodur@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Rubi, safira e coríndon industrial, provenientes da região nordeste de Santa Catarina, foram descobertos em meados da década de 1980 e vêm sendo estudados desde então, em termos mineralógicos, geológicos, gemológicos e econômicos (Scangarelli, 1985; Ripoll *et al.*, 1987; Brum *et al.*, 1990; Chodur, 1997; Chodur & Liccardo, 2000; Liccardo, 2003; Liccardo & Chodur, 2006). As ocorrências são caracteristicamente esparsas, do tipo depósitos colúvio-aluvionares, associados ao contexto do Complexo Granulítico de Santa Catarina. Esses depósitos estão distribuídos por cerca de 800 km² pelos territórios que se estendem entre os municípios de Joinville, Itajaí, Luís Alves e Massaranduba, com jazidas conhecidas em Barra Velha e em São João do Itaperiú (Fig. 1).

Mineralogicamente e em termos gemológicos, foram identificados cristais de rubi e safira, alguns com efeitos ópticos especiais, mas que raramente apresentam transparência, em virtude do excesso de inclusões, o que parece ter limitado o mercado para essas gemas. No entanto, a presença desses minerais na região revela, para além de seu potencial econômico, uma geodiversidade importante e uma informação geológica peculiar, já que o coríndon, por sua gênese e por sua resistência ao intemperismo, é um remanescente dos processos ocorridos e testemunha boa parte da história geológica regional antiga.

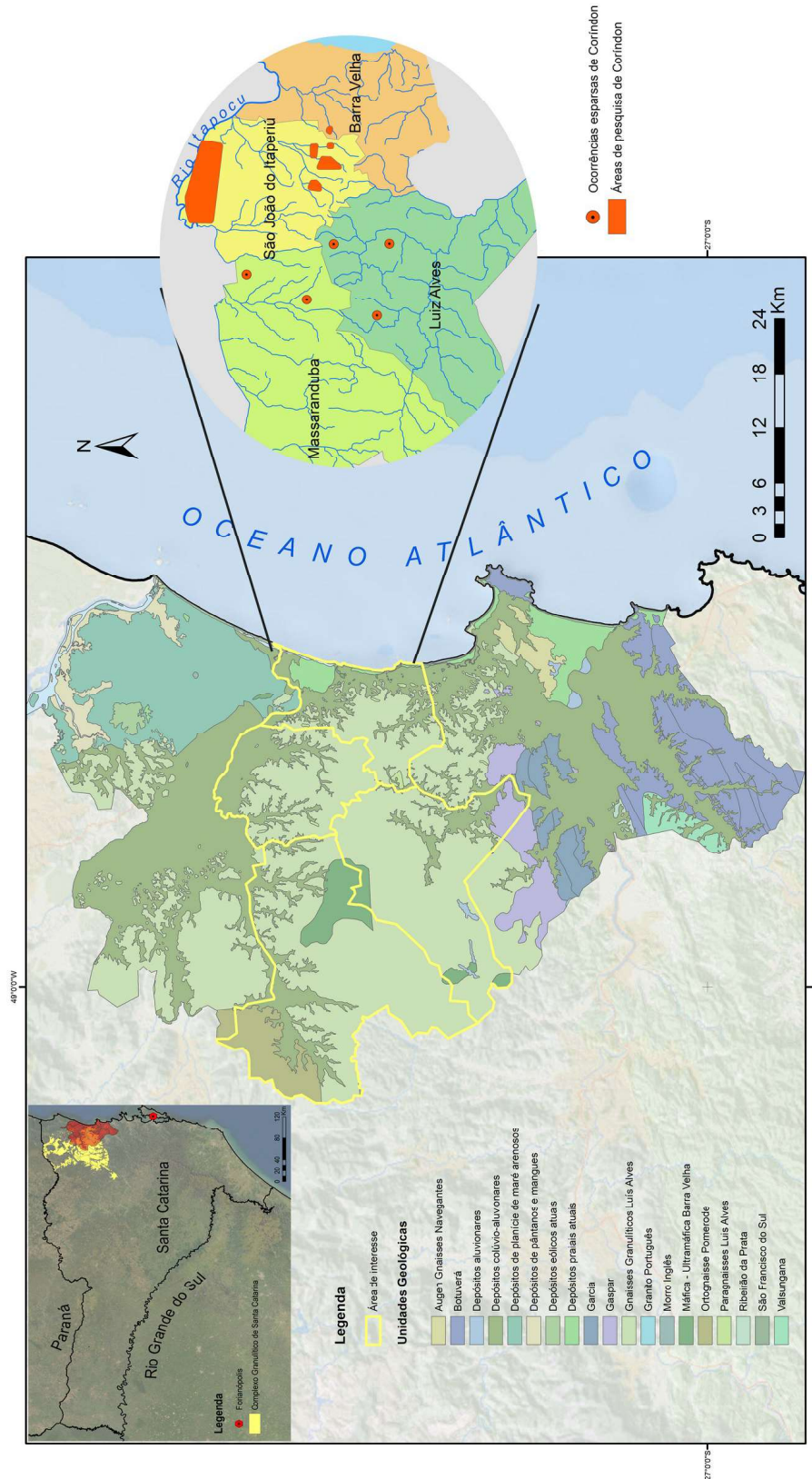


Figura 1 – Mapa geológico da região NE de Santa Catarina, indicando a localização das ocorrências de coríndon em terrenos do Complexo Granulítico de Santa Catarina.

2 CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICA DOS DEPÓSITOS DE CORÍNDON

Os depósitos de coríndon são classificados em dois grandes grupos: primários e secundários. Os depósitos primários são ígneos ou metamórficos, que contêm coríndon cristalizado *in situ* ou na forma de xenocristais. Os depósitos secundários são placeres, formados a partir da erosão dos depósitos primários e se dividem entre coluviais, eluviais e aluviais.

De acordo com Giuliani *et al.* (2007), a distribuição global dos depósitos de coríndon está intrinsecamente ligada aos processos geodinâmicos que compõem o Ciclo de Wilson (colisão, rifteamento e subducção), e esses autores reconhecem quatro períodos principais de formação de coríndon: (1) O mais antigo depósito, localizado na Groelândia, com rubi de idade arqueana, de 2,71 Ga; (2) a Orogenia Pan-Africana (750-450 Ma), principal período de formação de rubi gemológico, relacionada a processos colisionais entre Gondwana Leste e Oeste, que gerou depósitos primários de importância econômica no Quênia, em Madagascar, na Tanzânia, na Índia e no Sri Lanka; (3) a Orogenia Alpina (55 Ma – Quaternário), que produziu os depósitos em matriz de mármore no sudeste asiático e na Ásia Central; e (4) a extrusão de basaltos alcalinos no Cenozoico (65 Ma – Quaternário), em que o coríndon ocorre na forma de xenocristais, em xenólitos ou em enclaves, incorporados em magmas basálticos durante sua ascensão.

Giuliani *et al.* (2020) propõem uma classificação mais elaborada para os depósitos primários e secundários, dividindo-os em três tipos principais, com seus respectivos subtipos. Os depósitos primários de coríndon foram divididos, de acordo com o ambiente geológico de formação, em magmáticos (Tipo I) e metamórficos (Tipo II), enquanto os depósitos secundários foram definidos co-

mo sedimentares (Tipo III). Os depósitos magmáticos são divididos em dois subtipos: (1) coríndon como xenocristais ou xenólitos em matriz magmática, como basaltos alcalinos (Madagascar, Austrália, Sri Lanka, etc.); e (2) xenocristais de coríndon em kimberlitos (República Democrática do Congo). Assim como os depósitos magmáticos, os depósitos metamórficos são divididos em dois subtipos: (1) depósitos metamórficos *strictu sensu* em rochas máficas e ultramáficas metamorizadas e em mármore; e (2) depósitos metamórficos-metassomáticos, caracterizados por alta interação fluido-rocha, que correspondem a pegmatitos dessilicificados, associados a metassomatitos. Os depósitos secundários ou sedimentares são classificados em subtipos, de acordo com o ambiente em que os placeres de coríndon se encontram: (1) placeres em ambientes de basalto alcalino; (2) placeres em ambientes metamórficos; e (3) placeres com coríndon de fontes múltiplas e desconhecidas.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO DA REGIÃO

A região de ocorrência desse mineral está inserida em um domínio gnáissico de alto grau metamórfico, de idades arqueanas e paleoproterozoicas, que constitui parte do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Hartmann *et al.*, 1979). Litologicamente, a região é representada principalmente por ortognaisses granulíticos bandados a maciços, de composição tonalito-granodiorítica, com frequentes variações a sequências de natureza básica e ultrabásica, afetadas por intensos processos tectônicos. Adicionalmente, ocorrem migmatitos, ultramáficas, granulitos piroxeníticos, quartzitos, gnaisses kinzigíticos e formações ferríferas.

Os depósitos sedimentares cenozoicos regionais se apresentam sobre as rochas desse Complexo, como depósitos de encosta (colúvio-aluviais) e como depósitos fluviais

(canais e planícies aluvionares). Depósitos fluviais e aluviais atuais inconsolidados, compostos por sedimentos de granulometrias variadas, desde argilas até grânulos, por seixos e por calhaus, são encontrados nos vales e nas planícies de inundação de vários rios da região. Rampas coluviais são constituídas por sedimentos detríticos grosseiros e mal-selecionados, formadas ao longo das baixas vertentes e ocorrem regionalmente de maneira muito expressiva. Nesses compartimentos, os depósitos de coríndon se acumulam onde o gradiente diminui no limite do relevo acidentado (Chodur, 2007).

Os depósitos sedimentares portadores de coríndon, estão localizados nos aluviões quaternários do rio Itapocu e em vários de seus afluentes, ou em colúvios. Esses depósitos são rampas coluviais, aluviões, coluviões e terraços aluviais, originados das rochas do Complexo Granulítico. Encontram-se em zonas aplainadas, propícias aos processos deposicionais, e são depósitos descontínuos, com ampla distribui o geográfica, variando conforme a topografia do substrato em que estão localizados.

O coríndon se concentra principalmente nos depósitos rudáceos existentes no sopé das eleva es, sendo detectados também nas planícies aluvionares da região, porém de forma mais dispersa, nas fácies constituídas por níveis de cascalhos. Em alguns locais, esse mineral também pode ser encontrado na superfície dos solos de cobertura existentes nas porões mais elevadas, principalmente em canais de escoamento natural de águas pluviais.

3.1 Granulitos

Silva & Dias (1981a, 1981b, 1981c) e Silva (1984, 1987), com base em cartografia e em estudos de petrografia e de petrogênese da região, apresentaram o Complexo Granulítico de Santa Catarina como pertencente a

uma área cratônica arqueana e o detalharam como sendo compostos por gnaisses granulíticos leucocráticos, por milonitos granulíticos, por blastomilonitos de deriva o granulítica, por ultramafitos, por gnaisses calcossilicatados, por gnaisses kinzig ticos, por anortositos, por quartzitos, por forma es ferríferas e por gnaisses cataclásticos. São rochas metamórficas de fácies granulito e anfibolito que ocorrem no nordeste catarinense, em uma área de aproximadamente 8.500 km², estendendo-se até a divisa com o Paraná.

Silva (1984, 1987) distinguiu nesses granulitos, três fases deformacionais superimpostas a estas rochas. A primeira mostra um padrão de dobramento aberto D1, com folia o S1 de baixo e de médio ângulo; a segunda, ligada a fen menos de cisalhamento dúctil, com transposi es, resultando em uma folia o de alto ângulo; e a terceira, originou uma folia o milonítica, transpondo as duas anteriores. A fácies anfibolito, a que o Complexo Granulítico foi submetido,   representada pela hornblendiza o parcial a total dos piroxênios. A hornblenda encontrada na litologia regional, é provavelmente retrometam rfica, sugerindo um metamorfismo regional da fácies anfibolito, posterior   fácies granulito. Ainda, pode-se detectar a presença de clorita e de epidoto nessas rochas, definindo um metamorfismo de baixo grau, principalmente em zonas de falhas (Hartmann *et al.*, 1979).

A mineralogia dos gnaisses se compõe principalmente de quartzo e de feldspatos, predominando amplamente o plagioclásio (oligoclásio) sobre o ortoclásio, podendo ocorrer ainda o microclínio. A mineralogia dos máficos   constituída por hiperstênio (parag nese da fácies granulito), por diopsídio, por hornblenda verde-castanha e por biotita titanífera, e os acessórios mais comuns são o zircão, a magnetita, o rutilo e, mais raramente, a pirrotita (Chodur,

1997).

Corpos representados por quartzitos são encontrados com muita frequência, associados às unidades dos gnaisses granulíticos do Complexo. Hartmann *et al.* (1979) admitem que os quartzitos, que as formações ferríferas e que as rochas calciossilicatadas da região são metassedimentares e considera os ultramafitos como meta-ígneos e como remanescentes da crosta primordial, os quais poderiam ter sido originados também pelo metamorfismo regional de fácies granulito sobre sedimentos margosos de composição adequada. A maioria dos trabalhos da área cogita uma origem metassedimentar para os gnaisses quartzo-feldspáticos e conclui que as rochas granulíticas, em geral, foram submetidas a eventos polimetamórficos.

3. 2 Depósitos sedimentares recentes

A região nordeste catarinense se caracteriza por apresentar contrastes entre as amplas planícies costeiras e as áreas com presença de rochas cristalinas. Nesse caso, são depósitos cenozoicos que podem ser divididos em continentais, transicionais e marinhos. Os depósitos continentais, associados à presença do coríndon, estão relacionados a processos fluviais e marinhos e aos movimentos oscilatórios que vêm ocorrendo desde o Plioceno Superior até os dias atuais. Normalmente essas acumulações de material detrítico formam depósitos residuais e rudáceos, originados por pedimentação. Os depósitos continentais, relacionados à planície costeira, são subdivididos, ainda, em depósitos de encosta (colúvio-aluvionares) e em depósitos fluviais (canais e planícies aluvionares).

Os depósitos fluviais e aluviais atuais, inconsolidados, compostos por sedimentos de granulometrias variadas, desde argilas até grânulos, por seixos e por calhaus, com potencial para mineralização em argila e em

coríndon, são encontrados nos vales e nas planícies de inundação de vários rios e de córregos da região. Como aluviões de origem fluvial, foram classificadas as porções dos depósitos recentes, constituídos por cascalhos, por areias e por argilas, ocorrendo nas planícies de inundação e nos sopés das elevações (Guerra, 1975). Foram englobados como colúvios, os depósitos das encostas dos morros, constituídos por materiais detríticos transportados a curta distância, por efeito de gravidade (Guerra, 1975). Os colúvios só aparecem nos sopés das vertentes, ou próximos a elas, sendo muitas vezes, difíceis de separar dos aluviões, que também são associados a esses locais.

Os terraços aluviais formam patamares, que vão margeando os vales e que demarcam níveis mais antigos. Formam-se por processos erosivos verticais e laterais, podendo ser entalhados no próprio embasamento ou em aluviões depositados pelo rio. Rampas coluvionares são constituídas por sedimentos detríticos grosseiros e mal-selecionados, sendo formadas ao longo das baixas vertentes. Nesses compartimentos, os depósitos se acumulam onde o gradiente diminui, no limite do relevo acidentado.

Martin *et al.* (1988) consideraram os depósitos sedimentares da região nordeste de Santa Catarina representativos de antigos leques aluviais, diretamente associados aos processos gravitacionais de encosta, os quais podem atingir cotas de 30 m a 40 m. De modo geral, os depósitos recentes da região se originaram das litologias do Complexo Granulítico de Santa Catarina, unidade que prevalece na área. O intemperismo dos gnaisses granulíticos teria liberado os constituintes rudáceos mais frequentes, entre os quais se destacam os fragmentos de quartzo leitoso e de quartzito, notadamente angulosos, que compõem os níveis de cascalhos. Os demais constituintes dos depósitos incluem argilas, que recobrem os níveis de cascalhos ou que

formam bolsões em proporções variáveis, além de areias de diversas granulometrias e alguns minerais pesados.

Observações sistemáticas mostraram que o coríndon se concentra, principalmente, nos depósitos rudáceos existentes no sopé das elevações, sendo detectado também nas planícies aluviais da região, porém de forma mais dispersa. No sopé das elevações e em vales internos dos canais secundários, as fácies constituídas por níveis de cascalhos, apresentam concentrações variáveis de cristais de coríndon, tendo sido constatados em certos pontos, teores de até 1.200 g/m³. Em alguns locais, esse mineral também pode ser encontrado na superfície dos solos de cobertura, existentes nas porções mais elevadas, principalmente em canais de escoamento natural de águas pluviais.

Os depósitos portadores de coríndon que ocorrem na área, estão localizados nos níveis de cascalho encontrados nas unidades quaternárias das drenagens locais. Encontram-se em zonas aplainadas, em que se desenvolveram processos deposicionais relativos à construção de planícies alúvio-fluviais. São depósitos descontínuos e de pequena espessura, variando conforme a topografia do substrato em que estão localizados. Esses depósitos têm sua origem principal associadas às rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina e se constituem basicamente, de rampas coluvionares, de aluviões, de colúvios e de terraços aluviais.

O coríndon ocorre associado a sedimentos argilo-arenosos, com cascalhos de até 1 metro de espessura e com geometria tabular ou lenticular, concentrando-se preferencialmente nas partes basais do perfil (Fig. 2) e o pacote mostra uma estruturação em gradação normal, embora incipiente, assentando diretamente sobre rochas alteradas, que apresentam estrutura gnáissica ainda preservada ou sobre uma camada de argila

branca (caulim), de espessura variada.

As características dos sedimentos permitiram dividir a coluna de deposição em três segmentos distintos, da base para o topo, aqui, denominados A, B e C. A porção A representa um nível de cascalhos constituído por fragmentos de quartzo leitoso e de quartzito, cuja granulometria varia de grânulos a seixos, ocorrendo, esporadicamente, alguns calhaus. Esses constituintes estão dispersos em uma matriz arenosa, que grada para lamítica nas porções superiores da sequência. Na porção basal da unidade, nas proximidades do contato com a rocha gnáissica, ocorre uma intensa cimentação por óxidos de ferro e de manganês. A porção B representa níveis de argila cinza ou branca, que podem ocorrer com espessuras varia-



Figura 2 – Modo de ocorrência do coríndon. A) Nível de cascalho mineralizado com coríndon, em colúvio, no município de São João do Itaperiú; B) Detalhe de um cristal de coríndon no colúvio (fotos: A. Liccardo).

das, em média de 40 cm. No topo da coluna, encontra-se um solo de pouca espessura (porção C), desenvolvido sobre o pacote de sedimentos, o qual apresenta coloração cinza a preta, com textura argilo-arenosa, podendo conter fragmentos de quartzo e de quartzito, além de algum conteúdo em fragmentos de coríndon.

Os fragmentos de coríndon possuem uma distribuição granulométrica ampla, indo da fração areia muito fina a fração seixos. Nas frações mais finas, o coríndon ocorre na forma de fragmentos irregulares, resultantes da quebra de cristais maiores durante o transporte (Fig. 3). A quantidade relativamente pequena desses fragmentos parece indicar que o transporte até os sítios atuais foi relativamente pequeno. O quartzo leitoso é o componente mais frequente nos cascalhos, ocorrendo na forma de fragmentos irregulares, geralmente angulosos, que se estendem desde a fração areia fina até o tamanho de seixos.

Outros constituintes são os fragmentos quartzo-feldspáticos alterados, provenientes provavelmente dos gnaisses granulíticos regionais. Nesse caso, a fração granulométrica se encontra na faixa entre areia média e grânulos. Fragmentos de quartzito também estão presentes, em quantidades subordinadas, estendendo-se da fração areia média até seixos. Ainda de forma subordinada, ocorrem fragmentos de óxidos de ferro secundários, ocupando a faixa entre areia fina e grânulos. O concentrado de minerais pesados no fundo da bateia não é muito abundante e é representado pelas fases magnetita, ilmenita, hematita, epidoto, hornblenda, rutilo e zircão, além do próprio coríndon. Os fragmentos constituintes dos cascalhos não apresentam arredondamento, sugerindo uma deposição rápida, seja por fluxos gravitacionais, seja por enxurradas, e os constituintes das cascalheiras se distribuem em seu arcabouço com baixo grau de or-

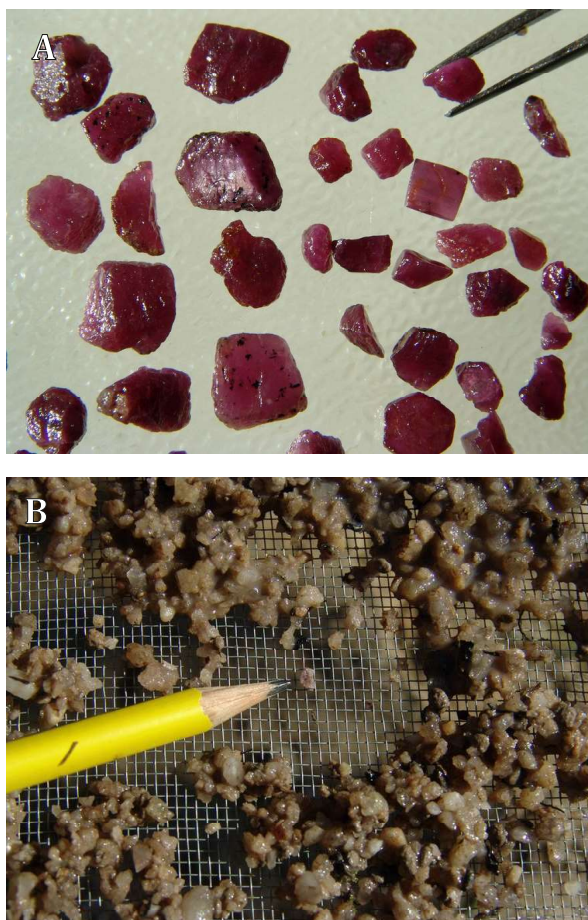


Figura 3 – Extração do coríndon em meio a sedimentos quartzosos A) Fragmentos de rubi recuperados em peneira; B) Fragmentos de safira rosa. (fotos: A, Liccardo).

ganização.

Os processos de formação dos depósitos enriquecidos com coríndon, que ocorrem na região, parecem estar associados essencialmente, à evolução de vertentes. O arredondamento praticamente inexistente, tanto dos grãos de quartzo quanto do material lítico associado, atesta um transporte a curta distância.

4 CONSIDERAÇÕES GENÉTICAS SOBRE O CORÍNDON

A gênese do coríndon é normalmente associada a metamorfismo de alto grau sobre rochas ricas em alumínio, a processos metassomáticos ou, ainda, à formação de complexos alcalinos e álcali-basálticos (Lic-

cardo, 2003). Os depósitos dessa região são associados ao Complexo Granulítico de Santa Catarina, mas são caracteristicamente secundários (coluvionares e, eventualmente, aluvionares), de distribuição geográfica ampla, com localização restrita e com alta concentração de coríndon em cascalheiras de quartzo leitoso. Na área em questão, rochas-fonte do coríndon não foram encontradas em décadas de estudos, provavelmente por terem sido completamente alteradas pela ação intempérica. Como os terrenos nos quais se localizam os depósitos são metamórficos, de fácies anfibolito superior ou granulito, considera-se como premissa, que o mineral tenha sido formado nesse ambiente metamórfico. A correlação entre a gênese do coríndon nessa região e os processos tectônicos, geoquímicos, intempéricos e deposicionais, apresenta especial importância no estudo geológico e econômico das jazidas e é fundamental como controle prospectivo regional.

Os depósitos apresentam como principais características: intemperismo intenso da rocha-mãe, com liberação de cristais; evidências de proximidade entre fonte e área de deposição; e concentração em cascalheiras, compostas exclusivamente por blocos de quartzo leitoso, com alta angulosidade, dentro de leques aluviais holocênicos. Além disso, esses depósitos coluvionares normalmente estão próximos de zonas de fraturamento e de falhas de rochas granulíticas, com presença de argila caulínica associada.

Uma possível interpretação dos processos que atuaram na gênese do coríndon indica que não existe mais uma rocha-fonte. Os eventos tectônicos, ocorridos durante o Ciclo Brasileiro, causaram um fraturamento generalizado nas rochas, que muitas vezes foi preenchido por quartzo, formando veios e causando a dessilicificação das encaixantes nas zonas de contato. As porções de gra-

nulito mais ricas em alumínio poderiam ter cristalizado o coríndon, com a saída do quartzo (enriquecimento residual), e, ao mesmo tempo, esse processo tornaria essas rochas muito suscetíveis ao intemperismo, conforme citado por Jordt-Evangelista & Liccardo (2002) e Liccardo (2003) em estudos comparativos de coríndon, em gnaisses de Catingal (BA). O mecanismo de dessilicificação é, portanto, fundamental para uma gênese localizada do coríndon nas antigas rochas granulíticas e explica a ausência desse mineral nas rochas atualmente presentes na região, pois o enriquecimento em alumínio teria sido restrito às zonas de metassomatismo. Para Chodur (1997), a granulitização que afetou as rochas regionalmente, poderia ter afetado também os sedimentos pré-existent, ricos em alumínio, gerando dessa forma, coríndon a partir de minerais aluminosos.

Um metassomatismo entre o granulito e as rochas ultramáficas não estaria descartado, pois regionalmente esses litotipos foram descritos e isso explicaria a origem do elemento cromo, causador da cor vermelha nos cristais de rubi e de safira rosa encontrados nos depósitos. A associação do coríndon com blocos angulosos de quartzo leitoso e de quartzo cataclasado nos depósitos coluvionares e a proximidade destes a zonas de fraturamentos e de falhas, são também indicativos da gênese sugerida. A presença de argila caulínica nos depósitos, é possivelmente, fruto de alteração de auréolas de feldspato, que originalmente teriam envolvido os cristais de coríndon, como ocorre em outros lugares do mundo (Liccardo, 2003; Liccardo & Jordt-Evangelista, 2006). Ausência de sinais de transporte e a associação com grandes blocos de quartzo leitoso e de quartzo com feições cataclásticas, bem como a proximidade dos depósitos a zonas de fraturamento, apontam uma estreita relação entre os processos genético-tectônicos e os mecanismos deposicionais.

5 CARACTERÍSTICAS DO CORÍNDON

O coríndon é um mineral com características especiais, não somente por seu valor comercial ou por sua beleza, mas também por suas propriedades e características de formação, pois as associações litológicas das diversas províncias produtoras indicam que esse mineral é formado em condições especiais e pouco frequentes na crosta terrestre.

O coríndon encontrado na região nordeste de Santa Catarina ocorre na forma de cristais euédricos e subédricos e de fragmentos irregulares centimétricos, principalmente na cor vermelha (rubí) e, em menor frequência, nas cores branca, rósea, cinza, azulada e preta (variedades de safira). Apresenta hábito em barrilete característico ou, ainda, prismático e bipiramidado, ocorrendo também fragmentos quebrados e sem um hábito característico (Fig. 4). Possui transparência limitada e dimensões que vão de milímetros até 5 cm de comprimento.

Os cristais de coríndon observados macroscopicamente ou por meios ópticos, revelam a existência de uma superfície bastante rugosa, às vezes com canais circulares de dimensões milimétricas, vazios ou preenchidos por minerais secundários. Pode-se

perceber com facilidade a existência de planos romboédricos de partição, produzidos a partir das geminações (Fig. 5).

É comum a ocorrência de zonação de crescimento no coríndon, em que se pode perceber a presença de hexágonos circunscritos ao plano basal dos cristais. Geralmente as faixas ou linhas hexagonais variam em cor e em espessura, produzindo um aspecto muito interessante no material.

6 ASPECTOS GEMOLÓGICOS DO RUBI E DA SAFIRA

Vários lotes de amostras, provenientes dessa região de Santa Catarina, foram estudados ao longo dos últimos anos, por meio de microscopia óptica, de MEV-EDS, de microsonda eletrônica, de espectroscopia micro-RAMAN e de microtermometria das inclusões fluidas. Entre as inclusões sólidas mais frequentes, encontram-se: diásporo, preenchendo os planos de geminação polissintética e que pode ser proveniente da alteração do próprio coríndon (Fig. 6); biotita, dispersa algumas vezes em folhas empilhadas; clorita, em dimensões maiores do que as da biotita, porém totalmente ausente em algumas amostras. Além destas, monazita, zir-



Figura 4 – Cristais de coríndon com hábitos característicos encontrados em depósitos de Barra Velha (0,5 a 2,0 cm) e um fragmento irregular (3 cm), onde se observa a geminação polissintética característica desse mineral (fotos: A. Liccardo).

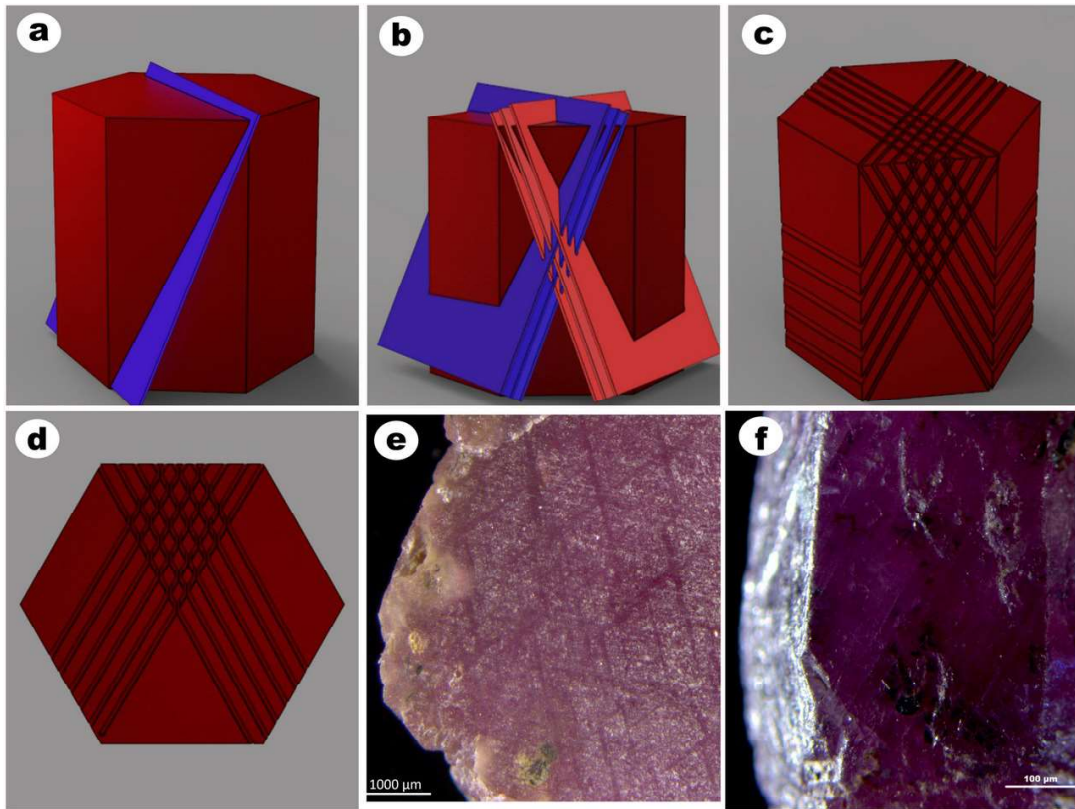


Figura 5 – Geminação e partição nos cristais de coríndon. A) Representação do plano de partição em uma face do cristal; B) Representação da interseção dos planos de partição; C) Representação da projeção dos planos de partição nas faces do cristal, gerando partição romboédrica; D) Representação da partição romboédrica, vista perpendicularmente ao eixo cristalográfico “c” do cristal; E) Imagem em lupa binocular, indicando a partição romboédrica observada na face basal de um cristal de coríndon; e F) Imagem em lupa binocular, indicando a partição romboédrica observada na face lateral do prisma hexagonal de um cristal de coríndon (fotos e figuras: G. Villani).

ção, rutilo e o próprio coríndon constituem o conjunto das inclusões sólidas características nessas gemas. Pirita, pirrotita, óxidos de Fe e de Mn e argilominerais são frequentes, mas, possivelmente de origem secundária; além disso, ocorrem feições aciculares que foram identificadas como cavidades vazias (Fig. 7) (Chodur, 1997).

O estudo óptico dos cristais revelou a presença de inclusões fluidas primárias, secundárias e pseudosecundárias, com dimensões variáveis (> 5-30 μm ou, mesmo, maiores), constituídas essencialmente por CO_2 , podendo conter fases sólidas. Muitas inclusões exibem seccionamentos paralelos às direções cristalográficas, parecendo subdivididas em duas ou em mais partes (Fig. 8). Outras feições internas observadas com certa

frequência, são cristais negativos, o zoneamento de cor, um padrão de estrutura em rede em que as faixas correspondem à zona de alteração do coríndon em diásporo, canálculos orientados segundo as direções cristalográficas e que podem resultar num efeito seda ou asterismo em algumas amostras, além da geminação polissintética, muito evidente na maior parte dos cristais (Chodur, 1997).

No rubi e na safira dessa região, é comum o aparecimento de asterismo após a lapidação na forma de cabochão, originando estrelas de seis pontas com ângulos de 60 entre os raios. Apesar de frequente, o efeito é de baixa intensidade, ou seja, as estrelas são tênues, destacando-se apenas sob a ação de luz intensa (Chodur, 1997). Outro efeito

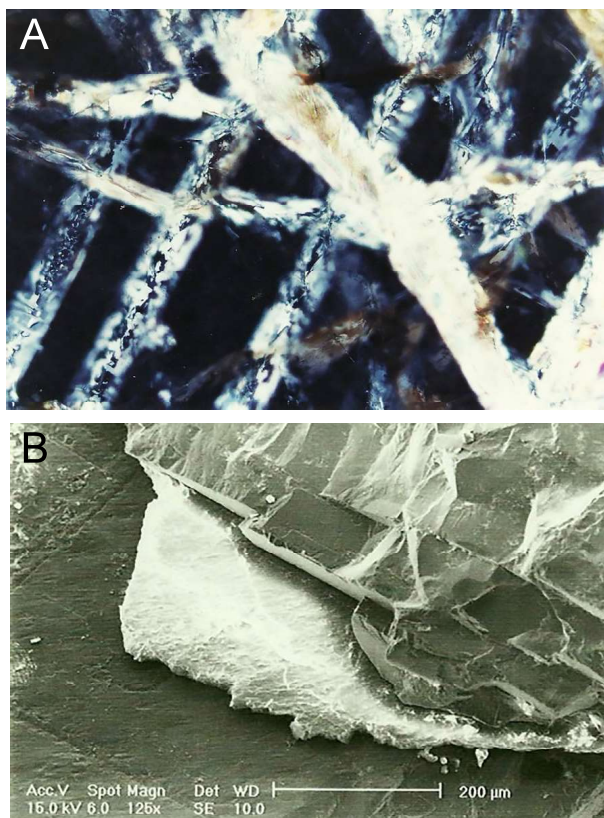


Figura 6 – Diásporo no coríndon. A) Imagem em microscopia óptica dos planos de geminação polissintética, preenchidos por diásporo; B) Imagem obtida ao MEV do diásporo nos planos de geminação, cuja composição foi confirmada por análises com EDS (foto e imagem MEV: N. Chodur).

óptico exibido pelos cristais lapidados em cabochão, é o efeito seda, o qual consiste em um brilho sedoso e localizado, às vezes metalizado em tons de dourado ou de prateado, que aparenta estar abaixo da superfície polida (Fig. 9 A). Este efeito, que em alguns casos pode ser confundido com chatoyance, parece ter sua origem relacionada à presença de diásporo ao longo dos planos de geminação romboédrica do coríndon.

O entendimento do comportamento térmico do coríndon de Barra Velha é muito importante, pois possibilita a determinação das temperaturas a serem utilizadas na tentativa de melhorar sua transparência, através de aquecimento controlado. Estima-se que a porcentagem de coríndon com potencial gemológico na região oscile em torno de 10%,

incluindo exemplares de coloração vermelha acentuada, com certo grau de transparência e com a presença de efeitos ópticos especiais (Fig. 9A e B). Esse número pode ser ampliado mediante tratamentos térmicos, a exemplo do que é feito em outros centros produtores importantes.

Cristais do coríndon de Santa Catarina, selecionados aleatoriamente e com as cores branca, cinza, preta, rósea e vermelha, foram submetidos por Chodur (1997), à análise térmica diferencial e, simultaneamente, à análise termogravimétrica. Os resultados da análise térmica diferencial indicam que em todas as amostras houve um início de reação endotérmica a 460 °C, com final a 590 °C. A partir deste ponto, a curva apresentou comportamento inerte, até cerca de 1.000 °C. Com o aumento da temperatura acima de 1.000 °C, até o final da análise (em 1.600 °C), a curva teve uma ascensão, tendendo a atingir a linha de base inicial. Este resultado é consistente com os experimentos de Herold & Dodd (1939), os quais observaram que argilas contendo diásporo, podem formar coríndon e gama alumina em temperaturas ao redor de 400 °C; porém, entre 400 °C e 750 °C, o coríndon formado apresenta certa expansão nos parâmetros de cela unitária. Com a continuidade do tratamento, a temperaturas mais altas a cela unitária gradualmente se reduz para suas dimensões normais.

A análise termogravimétrica confirma as mesmas temperaturas da análise térmica diferencial, ou seja, de 460 °C para o início e de 590 °C para o final da perda de massa, em todas as amostras analisadas. Os resultados das análises térmicas mostram, portanto, variações que confirmam a presença de pequenas proporções de diásporo associado, fase mineral que também foi detectada e identificada por análises ópticas, por difratometria de raios X e por microsonda eletrônica, ocorrendo sob a forma de finas lamelas ou de filmes, principalmente ao longo dos

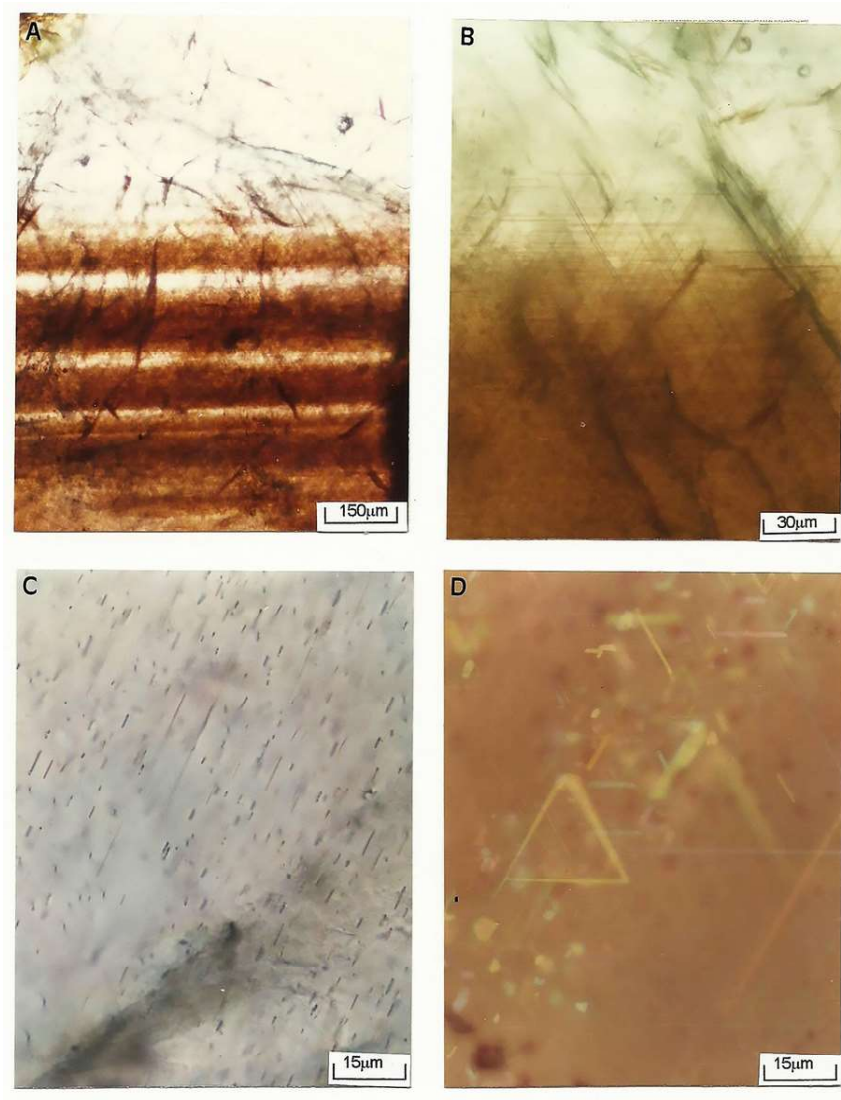


Figura 7 – Imagens em microscopia óptica de inclusões em coríndon da região de Barra Velha: A) Concentração de agulhas, formando bandas; B) Detalhe das agulhas vistas em A; C) Agulhas vistas em seção paralela ao eixo cristalográfico "c"; e D) Agulhas vistas sob luz refletida (fotos: N. Chodur).

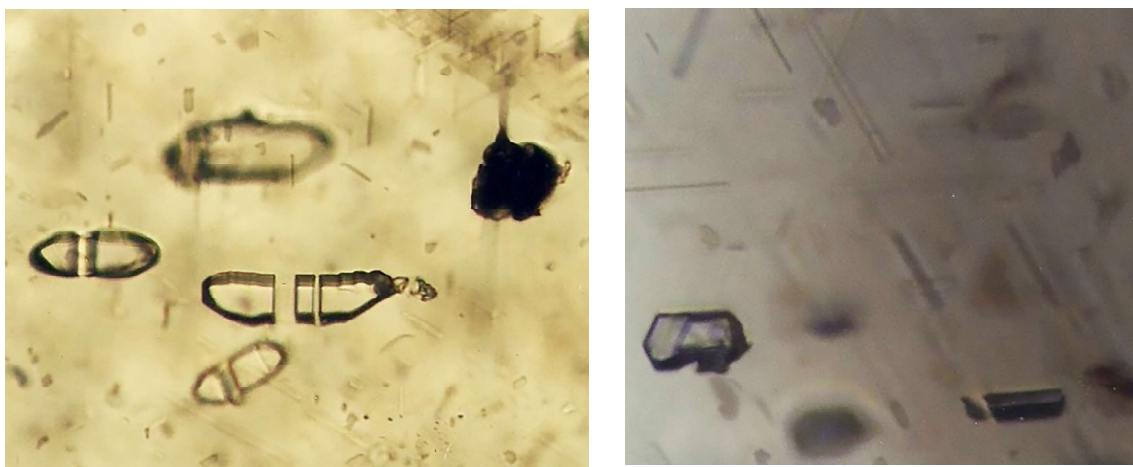


Figura 8 – Inclusões fluidas em rubi e em safira de Barra Velha (20 a 30 µm). Muitas inclusões exibem seccionamentos paralelos às direções cristalográficas (fotos: N. Chodur).

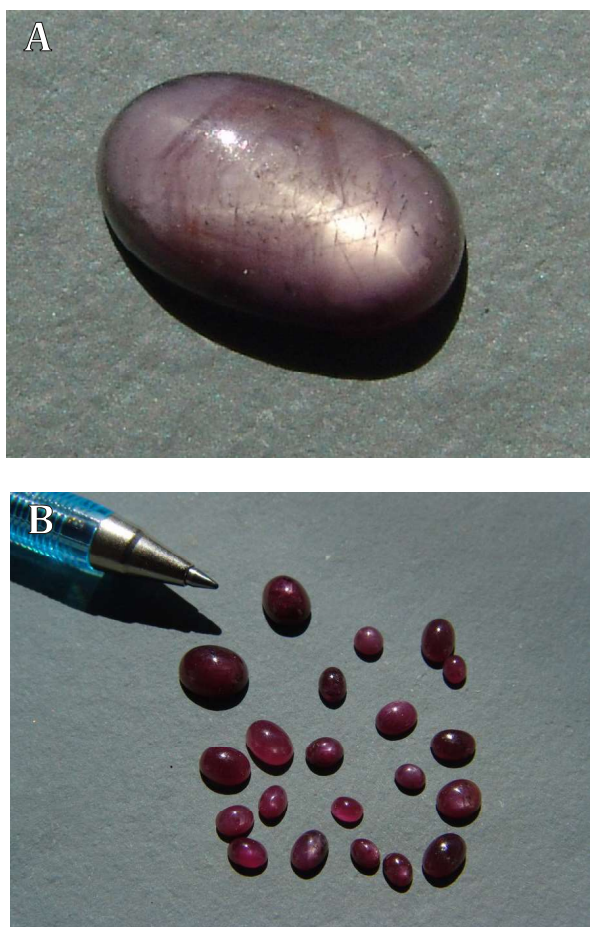


Figura 9 – Rubi e safira lapidados, provenientes de Barra Velha. A) Safira rosa lapidada em cabochão (2 cm), apresentando zonação de crescimento e efeito seda; B) Cristais de rubi translúcidos, lapidados em cabochão, provenientes de São João do Itaperiú (fotos: A. Liccardo).

planos romboédricos e basais dos cristais.

O comportamento fluorescente desses cristais de rubi e de safira foi estudado por Chodur (1997), utilizando lâmpadas de luz ultravioleta de ondas longas (UVL=366nm) e curtas (UVC=253,7nm). Sob ondas longas, algumas amostras se mostraram inertes, enquanto outras apresentaram uma forte fluorescência na cor vermelha. Nesse caso, os cristais de coloração vermelha mais acentuada se apresentaram muito fluorescentes, havendo uma queda gradual deste comportamento em exemplares de colorações róseas mais claras. Os cristais de coríndon com colorações cinza, preta e branca não apresentaram reações a este tipo de

análise. Sob a ação de luz ultravioleta de ondas curtas, todos os cristais permaneceram inertes. É muito provável que as variações observadas no comportamento do coríndon analisado estejam relacionadas ao conteúdo de cromo nas amostras.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil é considerado a maior Província Gemológica do planeta, não só devido à variedade e à quantidade de materiais gemológicos produzidos, mas também pela sua extensão geográfica, pois todos os estados brasileiros produzem algum tipo de gema. Estima-se que cerca de 70% do volume de gemas de cor que circulam no mercado internacional, seja proveniente do Brasil. No entanto, o país não é um grande fornecedor de rubi e de safira, registrando-se um produção restrita e esporádica em certos estados, como Minas Gerais e Bahia. Os depósitos de rubi e de safira da região de Barra Velha (SC) foram descobertos na segunda metade dos anos 1980. Apesar dos trabalhos de pesquisa lá desenvolvidos, os depósitos ainda não foram convenientemente explorados e, até o momento, poucos são os registros de extração comercial desses materiais. As características dos depósitos e do minério apresentadas neste capítulo podem contribuir para a prospecção desse bem mineral, com a indicação de possíveis novos alvos de exploração. O aproveitamento desse recurso, além de trazer desenvolvimento econômico para as regiões produtoras, aumentaria a diversidade de materiais gemológicos produzidos no Brasil.

REFERÊNCIAS

Basei, M. S. A. 1985. *O cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina*. São Paulo, 190p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- Basei, M. S. A. & Teixeira, W. 1987. Geocronologia dos terrenos pré-cambrianos a eopaleozóicos de Santa Catarina. In: Silva, L. A. & Bertoluzzi, C. A. (eds.). *Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina - 1:500.000*. DNPM/CRM, 215p.
- Brum, T. M. M., Juchem, P. L., Hofmeister, T. & Ripoll, V. M. 1990. Caracterização mineralógica e gemológica do coríndon de Santa Catarina, Brasil. *Acta Geológica Leopoldensia*, 30(13): 187-96.
- Chodur, N. L. & Liccardo, A. 2000. Coríndon em terrenos granulíticos de Santa Catarina (Barra Velha) e Minas Gerais (Indaiá), Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, 48(1): 35-41.
- Chodur, N. L. 1997. *Geologia e Mineralogia dos depósitos de rubi e safira da região de Barra Velha SC*. São Paulo, 210p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Hartmann, L. A., Silva, L. C. & Orlandi Filho, V. 1979. O Complexo Granulítico de Santa Catarina - descrição e implicações genéticas. *Acta Geológica Leopoldensia*, 3(6): 93-112.
- Hughes, R. W. 1990. *Corundum*. London, Butterworths Gem Books, 314p.
- Giuliani, G., Ohnenstetter, D., Garnier, V., Fallick, A. E., Rakotondrazafy, M. & Schwarz, D. 2007. The geology and genesis of gem corundum deposits. In: Groat, L. A. (ed.). *Geology of Gem Deposits*. Quebec, Mineralogical Association of Canada, p. 153-160.
- Giuliani, G., Groat, L. A., Fallick, A. E., Pignatelli, I. & Pardieu, V. 2020. Ruby deposits: a review and geological classification. *Minerals*, 10(7): 1-83.
- Jordt-Evangelista, H. & Liccardo, A. 2002. Gênese de coríndon em terrenos metamórficos de alto grau, região de Catingal, BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. *Anais*. . . João Pessoa, SBG.
- Kaul, P. F. T. 1980. O Cráton de Luís Alves. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1979. *Anais*. . . Camboriú, SBG, v. 5, p. 2677-2683.
- Liccardo, A. 2003. *Coríndon no Brasil. Mineralogia, Química e Gênese*. Ouro Preto, 186p. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Liccardo, A. & Chodur, N. L. 2006. Considerações Genéticas sobre Rubi e Safiras da Região NE de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. *Anais*. . . Aracaju.
- Liccardo, A., Chodur, N. L., Jordt-Evangelista, H. & Costa, G. M. 2000. Identificação de Fases Hidratadas em Coríndon no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TRATAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE GEMAS, 1., Ouro Preto. *Boletim de Resumos*. Ouro Preto, p. 36.
- Martin, L., Suguio, K., Flexor, J. F. & Azevedo, A. E. G. 1988. *Mapa Geológico do Quaternário Costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina*. Brasília, DNPM, 40p. (Série Geologia 28, Seção Geologia Básica 18)
- Ripoll, V. M., Brum, T. M. M., Juchem, P. L. & Hofmeister, T. 1987. Mineralogical and gemological characterization of corundum from Santa Catarina, Brazil. In: INTERNATIONAL GEMOLOGICAL CONFERENCE, Rio de Janeiro, 1987. *Transactions*. Rio de Janeiro, p. 57-59.
- Scangarelli, E. S. 1985. Primeiras notícias sobre a descoberta de coríndon (variedade rubi) no Estado de Santa Catarina. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2., Florianópolis, 1985. *Anais*. . . Florianópolis, v. 1, p. 273.
- Siga, J. R. 1995. *Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: Geocronologia e evolução Crustal*. São Paulo, 212p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Silva, L. C. 1984. Os terrenos de médio a alto grau do pré-Cambiano de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33.,

Rio de Janeiro. *Anais. . .* Rio de Janeiro, SBG, v. 3, p. 3069-3080.

Silva, L. C. & Dias, A. A. 1981c. Os segmentos mediano e setentrional do Escudo Catarinense: II-Organização e evolução geotectônica. *Acta Geológica Leopoldensia*, 5(10): 121-140.

Silva, L. C. & Dias, A. A. 1981a. *Projeto Timbó-Barra Velha, Brasil*. Porto Alegre, DNPM/CPRM, 282p. (Relatório Interno)

Silva, L. C. & Dias, A. A. 1981b. Os segmentos mediano e setentrional do Escudo Catarinense: I-Geologia. *Acta Geológica Leopoldensia*, 5(10): 3-120.

Smith, C. P., Kammerling, R. C., Keller, A., Peretti, A., Scarratt, K. V., Khoa, N. G. & Repetto, S. 1995. Sapphires from southern Vietnam. *Gems & Gemology*, 31(3): 168-186.

Soares, R. M. C. 1975. *Petrologia do complexo máfico ultramáfico de Barra Velha, SC*. São Paulo, 79p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Wernick, E. & Almeida, F. F. M. 1979. The geotectonic environments of early Precambrian granulites in Brazil. *Precambrian Research*, 8(1-2): 1-17.