

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ROCHAS COM FUCHSITA: OCORRÊNCIAS NO SUDESTE E NORDESTE DO  
BRASIL, METAMORFISMO E POTENCIAL GEMOLÓGICO**

Monografia de Trabalho de Formatura  
(TF-18/05)

Bruno Antunes Zampaulo

Orientador: Prof. Dr. Rainer Aloys Schultz Guttler

SÃO PAULO  
2018

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ROCHAS COM FUCHSITA: OCORRÊNCIAS NO SUDESTE E NORDESTE DO  
BRASIL, METAMORFISMO E POTENCIAL GEMOLÓGICO**

Monografia de Trabalho de Formatura  
(TF-18/05)

---

Bruno Antunes Zampaulo

De acordo:

---

Orientador: Prof. Dr. Rainer Aloys Schultz Guttler

SÃO PAULO  
2018

## RESUMO

Fuchsita é a variedade de muscovita verde, derivado da presença do crômio no mineral. No ponto de vista geológico e gemológico rochas com fuchsita são interessantes. Na gemologia, e rochas ornamentais, é destaque pela beleza e exuberância de cores vivas e contrastantes. Para a geologia, são consideradas exóticas por possuírem altos teores de  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$  e  $Cr_2O_3$ , elementos que são provenientes de fontes distintas, mostrando um desafio na definição da gênese do protólito dessas rochas.

Rochas com fuchsita estão relacionadas às sequências metavulcanossedimentares arqueanas a paleoproterozoicas. As hipóteses de formação variam para cada ocorrência, podendo ser derivada de alterações hidrotermais, metamorfismo de bauxitas derivadas de rochas ultramáficas, processos metassomáticos, depósitos exalativos ou recristalização de cromita. Por serem pouco compreendidas, com base na pesquisa bibliográfica, foi realizada uma compilação das hipóteses para sua origem, além de levantar as principais ocorrências no Brasil.

Via petrografia e microscópio eletrônico de varredura buscou-se inferir as reações metamórficas envolvidas em sistema KASH insaturados em sílica representados por fuchsita-xistos com coríndon, com rochas brasileiras e indianas. Durante o metamorfismo, estas rochas podem gerar rubi e feldspato potássico pela quebra da fuchsita em fácies anfibolito. Texturas de instabilidade do rubi, resultando em fuchsita ou aluminossilicatos, são interpretadas como produto de percolação de fluidos, no retrometamorfismo.

Análises na muscovita (fuchsita) e no coríndon (rubi) indicam que pequenos teores de crômio resultam em espectros de absorção de luz característicos para estes minerais.

O potencial destas rochas como material gemológico e ornamental é discutido, onde fuchsita xistos são potenciais produtores de rubi, mas a qualidade da gema não se destaca pela sua opacidade. Quartzitos com fuchsita produzem os aventurinos (quartzitos verdes/fuchsita quartzitos), apreciados como material gemológico, podendo servir de imitação para esmeralda, e rocha ornamental de alto padrão.

## ABSTRACT

Fuchsite is a green variety of muscovite. Its color results from the presence of chromium impurities in its mineral structure. Fuchsite-bearing rocks are interesting from both geological and gemological points of view. In gemology and ornamental stones, these rocks are specially attractive by their beauty and exuberance of vivid and contrasting colors. Geologically, they are considered exotic for their high contents of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . These components come from different sources, evidencing how challenging the definition of the genesis of these rocks is.

Rocks with fuchsite are related to archean to paleoproterozoic metavulcanosedimentary sequences. Explanations for their formation vary for each occurrence, and include hydrothermal alterations, metamorphism of bauxites derived from ultramafic rocks, metasomatic processes, exhalative deposits or recrystallization of chromite. Because they are still poorly understood, a compilation of different hypotheses for their origin and descriptions of the main occurrences in Brazil has been made, based on bibliographical research.

An attempt to infer which metamorphic reactions could be involved was made using petrographic and scanning electron microscopy studies on rocks from Brazil and India, considering a KASH system unsaturated in silica, represented by fuchsite schist with corundum. These rocks contain ruby originated by the breakdown reaction of fuchsite under amphibolite facies conditions. Instability textures of ruby transformed into fuchsite or aluminosilicates were observed and interpreted as the result of fluids percolation during retrometamorphism.

Analysis of muscovite (fuchsite) and corundum (ruby) indicates that low levels of chromium resulted in a characteristic absorbance spectra for these minerals.

Additionally, the potential of these rocks as a gemological and ornamental stone has been discussed. Fuchsite schists could potentially be a source of ruby. However, in this case the gem quality is low because of its rubies opacity. In addition, quartzites with fuchsite can be a source of aventurines (green quartzites/ fuchsite quartzites), also appreciated as a gemological material that serves as a ornamental stone of high standard or as an imitation for emerald.

## AGRADECIMENTOS

Cinco anos de graduação, um tropeço aqui, outro ali, mas vamos seguindo, abrindo mão de algumas coisas, mesmo diante das indecisões. No fim, apenas esperamos encontrar um caminho, em meio a inúmeros outros, que mostre que valeu a pena.

Tenho muito a agradecer a todos:

A minha família pelo apoio, sobretudo aos meus pais.

Ao meu orientador por toda ajuda, paciência e compreensão.

À turma 57 e aos colegas do IGc pela companhia nestes anos.

À USP e ao Instituto de Geociências, por me proporcionar a oportunidade de cursar geologia e pela bagagem de conhecimento que adquiri aqui, principalmente aos professores, que admiro muito e aos que de alguma forma sempre se propuseram a ajudar, meus agradecimentos, em especial, à professora Eliane.

Aos técnicos dos laboratórios que me ajudaram na preparação de amostras e obtenção de dados.

Por fim, aos amigos que estiveram presente não apenas em sala de aula ou em campo, aqueles que me deram motivo para seguir e cuja amizade levarei para sempre. A estas pessoas não tenho palavras para agradecer, mas tenho certeza que sabem o quanto são importante pra mim.

A todos que fizeram parte da minha formação, meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	1
<b>2. METAS E OBJETIVOS .....</b>	2
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	2
<b>3.1. Levantamento Bibliográfico .....</b>	3
<b>3.2. Obtenção de Amostras .....</b>	3
<b>3.3. Petrografia .....</b>	4
<b>3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....</b>	5
<b>3.5. Difração de Raios X .....</b>	5
<b>3.6. Espectroscopia UV/Visível .....</b>	6
<b>3.7. Integração dos Dados .....</b>	7
<b>4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	8
<b>4.1. Gênese de Rochas com Fuchsita .....</b>	8
<b>4.2. Estrutura Cristalina de Micas .....</b>	11
<b>4.3. Muscovita Contendo Crômio .....</b>	12
<b>4.4. Coríndon .....</b>	14
<b>4.5. Geração de Coríndon a Partir de Protólitos Aluminosos .....</b>	14
<b>4.6. Estabilidade do Coríndon em Fuchsita Xistos .....</b>	16
<b>5. OCORRÊNCIAS NO SUDESTE E NORDESTE BRASIL .....</b>	20
<b>6. OBTENÇÃO DOS DADOS .....</b>	27
<b>6.1. Petrografia .....</b>	27
<b>6.1.1. Conjunto 1: Fuchsita xistos do Brasil .....</b>	27
<b>6.1.2. Conjunto 2: Rubi-fuchsita xistos da Índia .....</b>	32
<b>6.1.3. Conjunto 3: Quartzitos com fuchsita .....</b>	33
<b>6.2. Microscopia Eletrônica de Varredura .....</b>	38
<b>6.2.1. Fuchsita filito (FSX-01) .....</b>	38
<b>6.2.2. Rubi-feldspato-fuchsita xistos com biotita (FSX-03) .....</b>	38
<b>6.2.3. Fuchsita xistos da Índia (FSX-05 e FSX-06) .....</b>	41
<b>6.3. Difração de Raios X .....</b>	44

<b>6.4. Espectroscopia UV/Visível.....</b>	45
6.4.1. <i>Fuchsita</i> .....	46
6.4.2. <i>Rubi</i> .....	47
<b>7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	49
<b>7.1. Petrografia e Microscopia Eletrônica de Varredura .....</b>	49
7.1.1. <i>Conjunto 1: Fuchsita xistos do Brasil</i> .....	49
7.1.2. <i>Conjunto 2: Rubi-fuchsita xistos da Índia</i> .....	51
7.1.3. <i>Conjunto 3: Quartzitos com fuchsita</i> .....	55
<b>7.2. Difração de Raios X .....</b>	55
<b>7.3. Espectroscopia UV/Visível.....</b>	55
<b>8. USOS COMO ROCHAS ORNAMENTAIS OU MATERIAL GEMOLÓGICO .....</b>	57
<b>9. CONCLUSÃO .....</b>	60
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	62
<b>APÊNDICE .....</b>	73

## 1. INTRODUÇÃO

A fuchsita ( $K(Al,Cr)_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$ ) é uma variedade de muscovita gerada pela substituição parcial do  $Al^{+3}$  pelo  $Cr^{+3}$ , conferindo ao mineral a cor verde, que se intensifica quanto maior o teor de crômio no mineral (até 5% de  $Cr_2O_3$ ). Esta variedade de muscovita foi descrita em 1842 por Karl F. Emil von Schafhärtl e o nome fuchsita é uma homenagem ao mineralogista alemão Johann Nepomuk von Fuchs (Branco, 2008).

Rochas contendo fuchsita como mineral principal são exóticas por possuírem altos teores de  $Al_2O_3$  e  $K_2O$ , elementos associados a rochas félscicas e argilominerais, somados com a presença marcante do  $Cr_2O_3$ , mais comum em litotipos pouco diferenciados, como rochas ultramáficas e máficas. Estas rochas estão normalmente associadas às sequências metavulcanossedimentares de idades paleoproterozoicas e terrenos *greenstone belts* arqueanos (Schreyer, 1982).

Os primeiros trabalhos relacionados à gênese de rochas com fuchsita foram produzidos por Whirmore *et al.* (1946) com ocorrências na Austrália, Canadá, Suécia e Traansval; Leo *et al.* (1965), no Brasil; e Schreyer *et al.* (1981) no Zimbabwe, Traansval e Austrália. E apesar de ocorrências no Brasil, citadas principalmente em mapeamento geológico, são poucos os trabalhos que estudaram estas rochas e a formação do protólito, podendo ser citado Leo *et al.* (1965) e Teles (2013), ambos tratando das ocorrências na região de Jacobina (BA).

Do ponto de vista petrológico, xistos com fuchsita representam sistemas semelhantes a KASH ou NKASH, em alguns casos, altamente aluminosos e insaturados em sílica, podendo gerar coríndon no metamorfismo (Schultze, 2018). O crômio nestas rochas é contido na estrutura da fuchsita e no coríndon (variedade rubi). No Brasil existem algumas ocorrências destes xistos aluminosos compostos por fuchsita e rubi, mas não há trabalhos na literatura sobre estas rochas, apenas foram citados por Schultz-Guttler (2005).

Os rubi-fuchsita xistos mais famosos atualmente são provenientes da Índia, do distrito de Karnataka. Nestas rochas, é comum a presença de coroas de fuchsita e/ou cianita no coríndon, tendo sido estudadas por Raith e Schumacher (2012) e Schultze (2018), uma vez que esta textura mostra-se interessante para a análise da estabilidade das fases minerais envolvidas.

Tanto o rubi quanto a fuchsita nestas rochas apresentam cores saturadas, o que as tornam mais apreciáveis para a gemologia e trabalhos artísticos como esculturas. Quando a fuchsita ocorrem em quartzitos, geram os famosos aventurinos ou quartzitos verdes (fuchsita quartzitos) usados também na produção de gemas e como rochas ornamentais (Cavalcanti, 2008).

Tendo em vista possíveis localidades de ocorrência de rochas com fuchsita, discuti-se qual o potencial das rochas brasileiras para a exploração de material gemológico e rochas ornamentais, já muito apreciado no mercado internacional, principalmente os aventurinos, analisando também a influência da mica para a geração da cor

## **2. METAS E OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma compilação de referências na literatura sobre as rochas com fuchsita, listando as hipóteses de formação destas rochas e o contexto geológico em que elas ocorrem, assim como levantar as ocorrências de xistos e quartzitos com fuchsita no sudeste e nordeste do Brasil.

O crômio nestas rochas não possui uma fase mineral própria, desta forma ele é incorporado na estrutura dos silicatos e óxidos presentes, causando a cor destes minerais. Este elemento é contido na muscovita e no coríndon devido à uma substituição do  $Al^{+3}$ . Diante disso, busca-se descobrir se este elemento interfere na cela unitária deste filossilicato e como pode ser inferida na espectroscopia de UV/visível, a fim de determinar qual dos métodos pode ser mais eficiente na observação da ocorrência do crômio em um mineral.

Objetiva-se também analisar o desenvolvimento das fases minerais presentes nestas rochas no metamorfismo progressivo, dando destaque na formação de rubi nos fuchsita xistos, inferindo as reações metamórficas e a estabilidade do coríndon com amostras de algumas localidades do Brasil (Bahia e Minas Gerais) e da principal ocorrência da Índia (Karnataka), região onde os coríndon-fuchsita xistos são explorados como rocha de qualidade gemológica e apresentam texturas de reação para o sistema  $Al-Si-H_2O$  pouco compreendidas.

Como objetivo secundário, discuti-se o potencial das rochas brasileiras para a exploração de material gemológico e rochas ornamentais, já muito apreciado no mercado internacional, principalmente os aventurinos (quartzitos com fuchsita), analisando a influência da mica para a geração da cor.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

O desenvolvimento deste trabalho seguiu as seguintes etapas: levantamento bibliográfico, obtenção de amostras, análise petrográfica, microscopia eletrônica de varredura, difração de raios X e espectroscopia UV/visível. Por fim, os dados foram analisados e discutidos em conjunto.

#### **3.1. Levantamento Bibliográfico**

O levantamento bibliográfico foi realizado para os diversos assuntos tratados no trabalho, utilizando como referências artigos científicos nacionais e internacionais, teses, livros, mapas, anais de simpósios e congressos de geologia, relatórios de ocorrência mineral, projetos de mapeamento, etc, sendo estes do acervo da biblioteca do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), assim como publicações online em revistas, universidades, órgãos de pesquisa mineral, entre outros.

As ocorrências mundiais de fuchsita e suas respectivas gênese são oriundas de estudos detalhados e específicos encontrados na literatura. No caso das ocorrências nacionais, os municípios citados no sudeste e nordeste do Brasil foram baseados em mapeamentos e estudos geológicos. A falta de descrições detalhadas dos afloramentos e das unidades geológicas com a presença de fuchsita dificultou o entendimento da gênese para uma determinada localidade. Algumas ocorrências foram apontadas por amostras do acervo do Museu de Geociências da USP.

Trabalhos referentes a mineralogia e cristalografia foram consultados para a análise e discussão dos dados de difração de raios X e de espectroscopia UV/visível. Também foram buscadas grades petrogenéticas com composições próximas às rochas analisadas, como sistemas KASH ( $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ ) e KNASH ( $K_2O-Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ ), assim como processos que favorecem a instabilidade do coríndon nestes sistemas (admitindo sistemas fechados ou parcialmente abertos), ambos os temas usados para interpretar as reações metamórficas e texturas observadas na petrografia.

Dados sobre a utilização gemológica de rochas portadoras de fuchsita e dos quartzitos como rochas ornamentais também foram pesquisados, uma vez que são materiais de alto valor agregado.

#### **3.2. Obtenção de Amostras**

Para o desenvolvimento do projeto, obteve-se várias amostras com composições diferentes com relação ao teor de fuchsita e quartzo. As rochas adquiridas são da coleção particular do Prof. Dr. Rainer Aloys Schultz Guttler, e a procedência delas é, por vezes, desconhecida, o que certamente dificultou a comparação dos dados obtidos com o contexto geológico, principalmente com relação ao metamorfismo que as rochas foram submetidas. Foram estudadas 25 amostras de diferentes localidades, discriminadas na Tabela 1.

Tabela 1. Informações das amostras estudadas.

Amostra	Procedência		País	Contexto geológico	Metamorfismo	Nome
	Município	Estado				
<b>FSX-01</b>	Desconhecido	MG				Fuchsita filito
<b>A1</b>	Desconhecido	MG				Fuchsita xisto
<b>FSX-02</b>						
<b>A2</b>	Região Jacobina-	BA		<i>Greenstone belt</i> Mundo Novo	Fácies Anfibolito	Sillimanita-rubi-feldspato potássico-fuchsita xisto com biotita
<b>FSX-03</b>	Mundo Novo		Brasil			
<b>A3</b>						
<b>A4</b>	Desconhecido					Rubi-fuchsita xisto
<b>A5</b>	Desconhecido					Rubi-feldspato potássico-fuchsita xisto
<b>A6</b>	Desconhecido					Rubi-fuchsita xisto
<b>B1</b>						Rubi-fuchsita xisto com feldspato
<b>B2</b>						Rubi-fuchsita xisto
<b>B3</b>						Rubi-fuchsita xisto
<b>FSX-06</b>	Mysore	Karnataka	Índia	Craton Dáharwar	Fácies Anfibolito	Rubi-fuchsita xisto com cianita
<b>FSX-05</b>				Arqueano	(alta pressão)	Cianita-rubi-fuchsita xisto
<b>FSX-04</b>						Rubi-cianita-fuchsita xisto
<b>B4</b>						Cianita-quartzo-fuchsita xisto
<b>B5</b>						Cianita-fuchsita quartzito com rubi
<b>B6</b>						Conjunto de amostras polidas
<b>FSQ-01</b>	Desconhecido					Quartzito milonítico com fuchsita
<b>FSQ-02</b>	Desconhecido					
<b>FSQ-03</b>	Desconhecido		Brasil			
<b>FSQ-04</b>	Desconhecido					Quartzito com fuchsita
<b>FSQ-05A</b>	Jacobina	BA				
<b>FSQ-05B</b>						

### 3.3. Petrografia

Foram confeccionadas doze seções delgadas, sendo, seis de xistos (FSX) e seis de quartzitos (FSQ). As amostras FSX-01, FSX-02, FSX-03 e os quartzitos analisados são provenientes do Brasil; enquanto FSX-04, FSX-05, FSX-06 são rochas da Índia. As lâminas foram analisadas no microscópio petrográfico de luz transmitida no Laboratório de Ótica do IGc-USP. As fotomicrografias foram obtidas no Laboratório de Microscopia Petrográfica (LMP) da mesma instituição.

Além de definir a composição mineralógica destas rochas, a petrografia analisou como os minerais dos fuchsita xistos se transformam com o metamorfismo progressivo e como é gerado o rubi. Ressalta-se que, apesar das rochas não serem da mesma localidade, e ocorrer

uma variação do metamorfismo sobre um protólito específico, são rochas semelhantes (em composição), e das condições de metamorfismo.

Nas amostras com rubi, é comum evidenciar eventos retrometamórficos, onde o coríndon é parcialmente substituído por silicatos. Estas novas fases minerais podem ser resultado da dissolução do coríndon. Desta forma, busca-se entender como e porquê ocorre esta substituição.

Para os quartzitos verdes, observou-se qual a relação da fuchsite na rocha, principalmente como este mineral influencia na homogeneidade e intensidade da cor.

Comparou-se assim as amostras analisadas com trabalhos já realizados sobre estas rochas. A partir da descrição e interpretação das lâminas e amostras de mão inferiu-se a geração das texturas observadas.

### **3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é essencial para a caracterização de materiais, e possui uma aplicação muito ampla para a geologia, trabalhando em alta resolução e aumentos até a escala nanométrica. A base do funcionamento está na interação de elétrons acelerados com o material a ser analisado.

As análises de MEV foram realizadas em um equipamento modelo INSPECT S50 Marca FEI, no Laboratório de Microscopia de Varredura Eletrônica do SHRIMP do IGc-USP. Este equipamento dispõe dos detectores Everhart-Thornley SED (Detector de elétrons secundários), *Large Field Low Vacuum SED* (LFD), vCD (Detector de baixa voltagem e alto contraste) / BSE (Elétrons retroespelhados) e EDS.

Com o detector de elétrons secundários e retroespelhados com pressão variável, obteve-se as imagens das amostras e o mapeamento químico, enquanto que o EDS foi utilizado para a determinação das composições químicas semiquantitativas das fases minerais, operado com 20 kV de voltagem de aceleração e 20 nA de corrente do feixe eletrônico.

As amostras FSX-01, FSX-03, FSX-05 e FSX-06 foram analisadas em seções polidas e sem metalização. Para facilitar no reconhecimento das fases minerais no MEV, foi produzido um registo fotomicrográfico detalhado das amostras analisadas com lupa do Laboratório de Petrografia Sedimentar (LABPETRO) do IGc-USP.

Os dados obtidos foram trabalhados no Microsoft® Excel em forma de porcentagem de massa de óxidos. Os erros máximos estimados variam entre 1 e 2% para elementos maiores, 5% para elementos menores (1-3% em peso) e 10% para elementos traços (<1%).

### **3.5. Difração de Raios X**

A difração de raios X (DRX) permite a caracterização microestrutural de materiais cristalinos. A técnica consiste na incidência da radiação em uma amostra e na detecção do

feixe (de fótons) difratado, produto da interação entre o feixe de raios X com os elétrons dos átomos componentes de um material. Em materiais com arranjo atômico ordenado, o fenômeno da difração de raios X ocorre nas direções de espalhamento que satisfazem a Lei de Bragg.

O objetivo da análise foi determinar a cela unitária da muscovita cromífera para observar se o crômio gera alguma distorção na estrutura cristalina do mineral. Para isto uma amostra de fuchsite foi cominuída em um gral de ágata no laboratório de preparação de amostras, e como o material é friável, desagregou facilmente, não sendo necessário peneirar o material para selecionar partículas com diâmetro menor que 50  $\mu\text{m}$  para a obtenção do difratograma de raios X pelo método do pó.

As partículas de fuchsite foram fixadas no porta-amostra (suporte de silício monocristalino) de forma a fazer com que as palhetas de mica não ficassem com uma orientação preferencial, comum para as micas, efeito que pode alterar os resultados, estruturalmente e qualitativamente, por inferir na intensidade dos picos de forma inadequada.

O difratograma de raios X da amostra foi gerado no Difratômetro Bruker Modelo D8 Advance Da Vinci, nas seguintes condições de operação: radiação Cu Ka ( $\lambda=1,542\text{\AA}$ ); coletados de 2,01° a 70° ( $2\theta$ ), com detector sensível à posição LYNXEYE. O difratograma obtido foi analisado inicialmente no software DIFFRAC.EVA para definir quais as fases minerais presentes. Os parâmetros de rede foram determinados e refinados utilizando o programa CelRef por método de mínimos quadrados com os dados obtidos através dos picos do difratograma. A análise foi realizada no Laboratório de Difração de Raios X do IGc-USP.

### **3.6. Espectroscopia UV/Visível**

Na técnica de espectroscopia UV/visível, a luz que atravessa a amostra é analisada, fornecendo espectrogramas que variam conforme a composição do material, podendo revelar mecanismos ou elementos causadores da cor. Nas análises, utiliza-se a região do ultravioleta-visível do espectro eletromagnético e o método oferece boa precisão e baixo custo, comparado com outras técnicas.

Os espectrogramas obtidos neste trabalho foram produzidos com um espetrômetro portátil (GL Gem Spectrometer) pertencente ao Prof. Dr. Rainer Aloys Schultz Guttler. O equipamento analisa o espectro na faixa do ultravioleta, visível e infravermelho próximo (faixa de 300 a 1.000 nm). Utiliza-se uma lâmpada incandescente (lâmpada de filamento de tungstênio) como fonte de luz para que seja feita as análises, uma vez que lâmpadas fluorescentes produzem interferências no espectro medido.

Antes de medir o espectro da amostra, é necessário a preparação do software, que consiste na obtenção e subtração do espectro da luz externa (*background*), medição do espectro da luz que será utilizada, e dividi-lo por ele mesmo, para se obter uma linha base. Por fim, a amostra é inserida na abertura onde é feita a análise.

As medidas são lidas e exportadas pelo *software* do equipamento. Para cada amostra foram realizadas mais de três medidas, e a partir do *software* Spekwin32-Spectroscopy calculou-se a média das análises, gerando os espectrogramas apresentados no trabalho. Por conta do erro analítico apresentado pelo conjunto do equipamento, foi selecionado apenas a região do espectro visível 350-750 nm.

### **3.7. Integração dos Dados**

Os dados e interpretações obtidos nas etapas anteriores foram comparados entre si a fim de embasar as hipóteses propostas ou buscar novas sugestões para os problemas encontrados. Esta integração é apresentada durante a discussão dos dados.

Para o trabalhamento dos dados, imagens e mapas foram usados também os softwares Adobe® Photoshop CS6, Corel Draw® 2017 e ArcGIS® 10.2.2.

## 4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo refere-se a uma breve introdução aos temas tratados no presente trabalho, contextualizando os aspectos geológicos e mineralógicos da fuchsita, assim como as reações envolvidas no metamorfismo de rochas compostas predominantemente por este mineral.

### 4.1. Gênese de Rochas com Fuchsita

A muscovita é um mineral comum na crosta terrestre, e é formada por diversos processos geológicos. Para a ocorrência de muscovita cromífera é essencial uma anomalia em crômio. O teor deste elemento na muscovita, segundo Whirmore *et al.* (1946), pode denominá-la de mariposita (<1%) ou fuchsita (>1%), mas o termo mais aceito genericamente é Crômio-muscovita (Bryhni, 1964), apesar de ser comum a utilização de *fuchsita* para denominar qualquer muscovita verde com crômio.

Considerado como elemento traço, o teor médio do crômio na crosta terrestre é da ordem de 100 a 200 ppm (Goldschmidt, 1970). Este elemento ocorre substituindo íons como  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , etc., na estrutura de minerais formadores de rochas, enquanto fases minerais próprias (como espinélios) ocorrem apenas em rochas ultramáficas, nas quais podem conter teores de crômio da ordem 3.500 ppm (Barbosa *et al.*, 1996). Devido à baixa concentração na crosta terrestre e possuir pouca mobilidade hidrolítica, Barbosa *et al.* (1996) citam que o ciclo geoquímico exógeno do crômio foi pouco estudado e continua incompreendido.

O crômio ocorre principalmente como  $\text{Cr}^{+3}$  na estrutura dos minerais. Neste estado ele é pouco móvel, mas em condições oxidantes, ele passa para o  $\text{Cr}^{+4}$ , que é mais solúvel (Cole *et al.*, 2016). Segundo Frei *et al.* (2009), este metal é altamente sensível ao nível de oxigênio atmosférico. Devido à baixa mobilidade em seu estado eletrônico mais comum, o crômio, junto com alumínio e titânio, é utilizado para estudos de depósitos lateríticos (Barbosa *et al.*, 1996).

Os fatos apontados sugerem rochas ultramáficas como possíveis fontes do crômio e como ele pode permanecer imóvel ou ser concentrado por fluidos hidrotermais. Com base na classificação proposta por Whirmore *et al.* (1946), Leo *et al.* (1965), Schreyer *et al.* (1981) e Naqvi *et al.* (1983), sintetizou-se as hipóteses para a gênese das rochas constituídas por fuchsita em três grupos e seus subtipos. Em todas as associações é comum a presença de rutilo.

O primeiro grupo corresponde às rochas com fuchsita interpretadas como produto de alteração hidrotermal. Substituindo a rocha original em fraturas e veios, a fuchsita ocorre com duas associações de alterações principais:

Associadas a depósitos IOCG (Iron Oxide Copper Gold) e zonas de falha: em depósitos de ouro em terrenos *Greenstone Belts* em Ontário e Quebec (Canadá) e em *Mother Lode Deposit* na Austrália, ambos com ankerita, quartzo, sulfetos e ouro (Whirmore *et al.*, 1946).

Associadas a corpos ígneos próximos: como no depósito de Boliden, na Suécia, com biotita e actinolita, onde a muscovita cromífera ocorre envolvendo um dique lamprófiro (Whirmore *et al.*, 1946), e em depósitos tipo pórfiros (Camprubí *et al.*, 2017) com biotita, actinolita, feldspato potássico, sulfetos de Cu e Fe, magnetita e ouro.

No segundo grupo estão inseridos os fuchsita xistos, produtos de protólitos altamente aluminosos. Schreyer *et al.* (1981) sugerem três hipóteses para a gênese destas rochas: formação de crosta bauxítica, metassomatismo de xistos quartzo-feldspáticos próximos a corpos ultramáficos ou atividade hidrotermal.

Formação de crosta bauxítica: proposto para fuchsita-cianita-andaluzita xistos entre talco xistos no Cráton do Yilgarn (Austrália). A rocha com fuchsita não possui contato direto com os dunitos e os peridotitos, desta forma Schreyer *et al.* (1981), Schreyer (1982) e Reimer (1986) sugerem protólitos semelhantes a rochas de depósitos lateríticos de bauxitas atuais, mas gerada em condições climáticas do arqueano.

Suítés de rochas altamente aluminosas no Cráton Dharwar em Karnataka, Índia, compostas por coríndon-cianita-fuchsita xistos, coríndon-cianita xistos e cianititos são interpretados por Raith e Schumacher (2012) como resíduo bauxítico, e o alto conteúdo de crômio indica uma contribuição significante de rochas ultramáficas.

Apesar de serem hipóteses propostas, rochas ultramáficas são escassas em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , fazendo necessário um processo intempérico intenso sobre um espesso corpo ultramáfico para que a hipótese seja factível, uma vez que formação de solos derivados de rochas ultramáficas, são formados lateritas, concentrando principalmente o ferro, níquel, crômio e cobalto (Vidal-Torrado *et al.*, 2006).

Outras ocorrências interpretadas como metabauxitas na Índia (Golani, 1989) são estratos irregulares compostos por sillimanita e coríndon em quartzo-sillimanita xistos. O autor não cita o teor de crômio nas amostras ou presença de muscovita ou fuchsita, porém o depósito suporta a hipótese de formação de rochas muito aluminosas por processos intempéricos arqueanos.

Metassomatismo de xistos quartzo-feldspáticos próximos a corpos ultramáficos: encontrados como clastos em depósitos de morenas glaciais derivados dos Alpes do Sul no norte da Westland (Nova Zelândia), os *Goodletites* são compostos por margarita, fuchsita, rubi (e safira), clorita, serpentina e turmalina. Grapes e Palmer (1996) concluem que a rocha é produto de metassomatismo extremo de enclaves de xistos quartzo-feldspáticos em serpentinitos.

Atividade hidrotermal: segundo Schreyer *et al.*, (1981) esta é a hipótese mais provável para as rochas arqueanas com fuchsita no Zimbabwe (com coríndon, fuchsita, andaluzita, clorita, margarita, turmalina, diáspero, rutilo, gersdorfitte e bismuto nativo) e no nordeste do Transvaal em Mashishimala (com coríndon, fuchsita, biotita, plagioclásio, cianita e rutilo). Estas rochas, denominadas de *verdites*, são interpretadas como komatiítos localmente

alterados para alunita cromífera em um estágio pós-vulcânico. Sob metamorfismo regional formavam fuchsita, aluminossilicato e coríndon (Schreyer, 1982, 1988). Kerrich *et al.* (1987, 1988) sugerem, para as rochas de Zimbabwe, uma origem hidrotermal de pH extremamente ácido em um sistema epitermal, interpretada através de dados isotópicos e geoquímicos.

No *Greenstone Belt* de Menzies, Austrália, Martyn e Johnson (1986) interpretaram um quartzo-andaluzita-fuchsita xisto como produto de intensa alteração hidrotermal de komatiítos, por lixiviação ácida, silicificação e introdução de K. Veios ricos em andaluzita, cromita, sulfetos, rutilo e turmalina são interpretados como vias originais dos fluidos. Martyn e Johnson (1986) propõem que o metassomatismo tenha ocorrido por processos sin vulcânicos, análogos a sistemas modernos de fontes termais

O terceiro grupo engloba apenas os quartzitos, uma vez que os teores de alumínio e potássio são menores, e os filossilicatos correspondem a uma porção pequena da composição das rochas. Neste caso o questionamento está relacionado sobre a fonte do crômio, que pode ter origem detritica, hidrotermal durante o metamorfismo e sedimentação química.

Detritica: como é interpretada por Ramiengar *et al.* (1978) e Argast (1995) no Grupo Sargur em Karnataka, onde quartzitos com fuchsita é um litotipo comum na sequência supracrustal. Estes autores defendem a origem clástica dos fuchsita quartzitos devido à presença de estruturas sedimentares e minerais pesados (zircão, rutilo e turmalina). Segundo Sinha-Roy e Kumar (1984, *apud* Garson e Livingstone, 1973; Windley e Smith, 1976; Sutton, 1976) os “quartzitos com fuchsita representam sedimentos marinho de águas rasas”. Chatterjee e Das (2004) acrescentam que o enriquecimento de  $Al_2O_3$  e  $Cr_2O_3$  nestas rochas foi produto da deposição de grãos de cromita derivados do intemperismo de rochas ultramáficas.

Hidrotermal durante o metamorfismo: para a os quartzitos verdes da Bacia de Jacobina, Leo *et al.*, (1965) sugerem que o crômio tenha sido introduzido de maneira detritica e hidrotermal. Durante o metamorfismo e formação da falha de Jacobina, a cromita detritica em leitos de quartzo e conglomerados se recristalizou com sílica, alumina e álcalis, gerando a fuchsita. Concentrações maiores de crômio na zona de falha foram produzidas por enriquecimento de solução hidrotermal pela lixiviação de rochas ultramáficas adjacentes (Leo *et al.*, 1965). Teles (2013) apresenta dados geoquímicos destes litotipos que corroboram a proposta de Leo *et al.* (1965).

Sedimentação química: Naqvi *et al.* (1983) descrevem a ocorrência de fuchsita quartzitos no Craton Dhawar associada com depósitos químicos (formações ferríferas e carbonatos), com anomalias positivas de Eu e  $\delta^{18}O = +12,5\%$ , semelhantes a *metacherts* arqueanos. Desta forma, concluem que estes quartzitos não possuem origem clástica e podem ser resultado de sedimentação simultânea de argilominerais e precipitação química.

Depósitos de barita bandada com fuchsita quartzitos em Ghattihosahalli, Karnataka, Índia, também sugerem sequência químico exalativa com alto Ba e Cr. Devaraju *et al.* (1999) interpretam um ambiente vulcânico-exalativo para a deposição química da barita, associado a uma sedimentação clástica. Srinivasaiah *et al.* (2015) propõem que o intemperismo de komatiítos e processos exalativos geraram a deposição destes sedimentos com sílica coloidal e enriquecido em Ba, Cr, Cu, Pb, Zn e Ni.

Em todas as hipóteses descritas do segundo e do terceiro grupo, a fuchsita associa-se aos ambientes arqueanos e paleoproterozoicos. Pelo levantamento bibliográfico realizado, encontrou-se uma grande quantidade de trabalhos, principalmente sobre as ocorrências na Índia, onde os quartzitos com fuchsita mostram uma associação característica com os crátons arquenanos Bastar (Randive *et al.*, 2015) e Dharwar (Ramiengar *et al.*, 1978; Naqvi *et al.*, 1983; Sinha-Roy e Kumar; 1984; Argast, 1995; Devaraju *et al.*, 1999; Chatterjee e Das, 2004; Srinivasaiah *et al.*, 2015).

Apesar de exóticas, há várias ocorrências de fuchsita em muitas localidades do mundo, mas por associa-se a terrenos antigos, é dificultada a compreensão e a relação com processos de formadores de rochas atuais.

#### 4.2. Estrutura Cristalina de Micas

Mica é uma designação geral para todos os filossilicatos hidratados de alumino, potássio, sódio, ferro, magnésio, lítio, etc., cristalizados no sistema monoclínico. Ela é composta cristalograficamente por duas folhas de tetraedros (T) opostas, com uma de octaedro (M) entre elas, gerando a configuração “TMT” (Fig. 1a).

Brigatti e Guggenheim (2002) descrevem que, de modo geral, a fórmula de uma mica é  $AM_{2-3}T_4O_{10}X_2$  sendo que, nas amostras naturais:

A = cátions entre camadas “TMT”, geralmente K, Na, Ca e Ba mais raramente Rb, Cs,  $NH_4$ ,  $H_3O$  e Sr;

M = cátions octaédricos, geralmente Mg,  $Fe^{2+}$ , Al e  $Fe^{3+}$ , além de Li, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu e Zn em alguns casos;

T = cátions tetraédricos, geralmente Si, Al e  $Fe^{3+}$ , por vezes B e Be;

X = (OH), F, Cl, O, S.

Na folha tetraédrica, cada tetraedro  $TO_4$  está ligado a três tetraedros  $TO_4$  vizinhos, formando uma malha hexagonal bidimensional (Fig. 1b), enquanto que um dos vértices liga-se com o cátion M, unidade de coordenação octaédrica.

Cada unidade de coordenação octaédrica é composta de quatro átomos de oxigênio apicais dos tetraedros, dois da folha tetraédrica superior e dois da inferior, e por dois ânions X (OH), que não são compartilhadas com o tetraedro, apesar de estar no mesmo nível que o oxigênio apical.

Na folha octaédrica, os octaedros ligam-se lateralmente, compartilhando bordas (Fig. 1c). Estruturas trioctaédricas possuem três unidades octaédricas ocupadas, enquanto que, dioctaédricas apenas dois octaedros [geralmente M(2)] são ocupados e um é vazio [geralmente M(1)].

As camadas 2:1 possuem carga negativa que é compensada por cátions (A) intercalados de carga positiva.

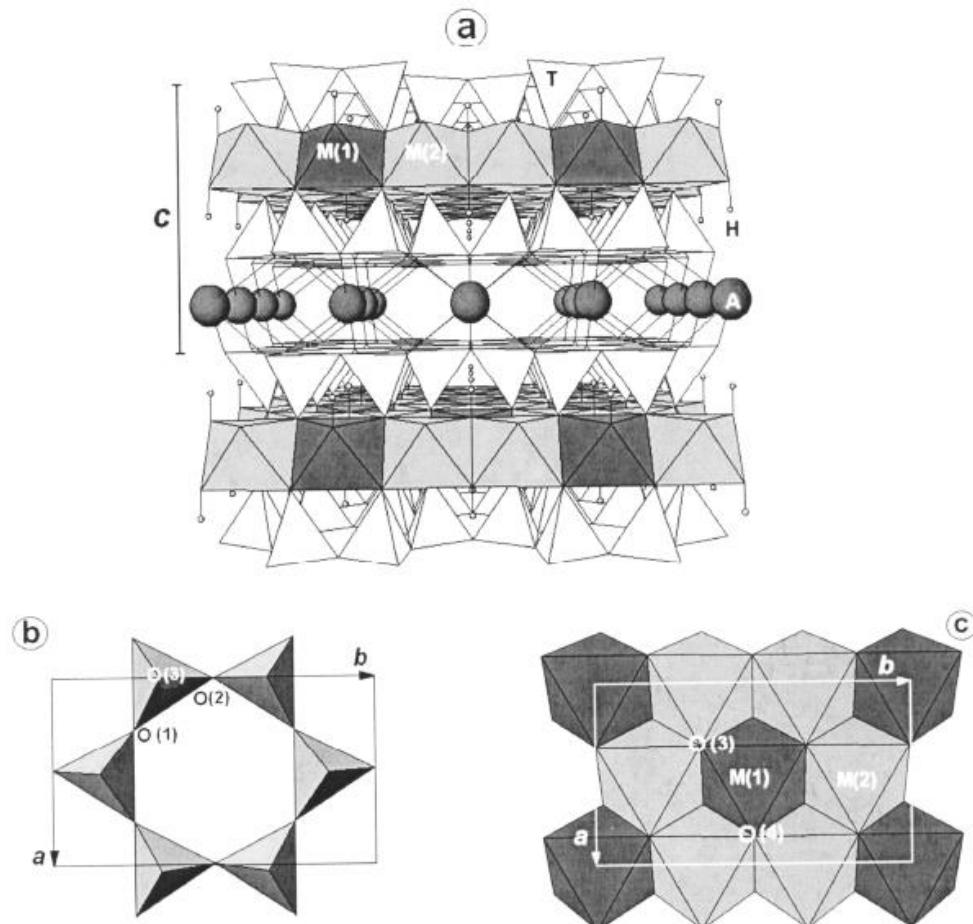


Figura 1. Estrutura geral das micas onde: a) Camada 2:1; b) O anel “hexagonal” de tetraedros; c) as folhas octaédricas. a, b e c são os parâmetros da cela unitária. Fonte: Brigatti e Guggenheim (2002).

#### 4.3. Muscovita Contendo Crômio

Muscovita é uma mica dioctaédrica de fórmula geral  $AM_2T_4O_{10}X_2$ , idealmente,  $KAl_2(AlSiO_{10})(OH)_2$ . A substituição de elementos na sua estrutura pode gerar as variedades do mineral, como alurgita (Manganês-muscovita), fengita (Ferro-Muscovita) e fuchsite ou mariposita (Crômio-muscovita) (Brigatti e Guggenheim, 2002), sendo a Crômio-muscovita o mineral de interesse neste trabalho.

Em uma compilação de dados sobre a influência de pressão, temperatura e composição, nos modelos atômicos de micas, Brigatti e Guggenheim (2002) citam muscovita com crômio, apresentada na Tabela 2.

Cromofilita, uma mica dioctaédrica com crômio, foi descrita por Evsyunin *et al.* (1997). Estes autores apontam que a substituição de  $\text{Cr}^{3+}$  pelo  $\text{Al}^{3+}$  é maior que 70% (Tab. 2). Este cristal tem empilhamento 2M1 e sua estrutura foi refinada no grupo espacial C2/c, assim como a muscovita.

Análises cristalográficas feitas por Evsyunin *et al.* (1997) mostram que as distâncias médias de ligação entre os tetraedros são preservadas, mas nas ligações octaédricas ocorrem um aumento significativo, sugerindo uma preferência do crômio para o sítio M(2). Concluem assim, que o átomo de crômio alojado no octaedro M(2), aumenta as dimensões do sítio e o parâmetro  $b$  da cela unitária.

Em cristais de muscovita, o  $\text{Cr}^{3+}$  resulta em uma coordenação octaédrica distorcida (Brigatti *et al.*, 2001), comprovando o que Evsyunin *et al.* (1997) descreveram. Brigatti *et al.* (2001) interpretam que, os eixos  $a$  e  $b$  são mais distorcidos, enquanto o  $c$  é quase inalterado. A substituição octaédrica de Cr por Al no sítio M(2) melhora a correspondência entre folhas tetraédricas e octaédricas, levando assim a uma diminuição em  $a$ . O sítio M(1) é parcialmente ocupado, como resultado, a diferença entre os volumes octaédricos M(1) e M(2) melhora a coplanaridade dos oxigênios dos tetraedros ligados aos octaedros.

Tabela 2. Parâmetros de cela para muscovita contendo crômio. Adaptado de Brigatti e Guggenheim (2002).

Ref.	Espécie, localidade	Rocha	Composição	Parâmetros de cela		
				a; b; c (Å)	$\beta$	R (%)
<b>Brigatti et al. (2001)</b>	Muscovita com crômio, Westland, New Zealand	Depósito de morenas glaciais	( $\text{K}_{0,86}\text{Na}_{0,10}\text{Ba}_{0,04}$ )	5,192	95,74	2,5
			( $\text{Al}_{1,86}\text{Mg}_{0,08}\text{Fe}^{2+}_{0,04}\text{Cr}_{0,06}$ )			
			( $\text{Si}_{3,11}\text{Al}_{0,89}$ )			
<b>Brigatti et al. (2001)</b>	Muscovita com crômio, Northwest Nelson, Campbell Creek, New Zealand	Biotita xisto	$\text{O}_{10,17}(\text{OH})_{1,83}$	20,028		
			( $\text{K}_{0,73}\text{Na}_{0,27}$ )			
			( $\text{Al}_{1,84}\text{Mg}_{0,02}\text{Fe}^{2+}_{0,02}\text{Cr}_{0,10}\text{Ti}_{0,02}$ )			
<b>Brigatti et al. (2001)</b>	Muscovita com crômio, Northwest Nelson, Anatoki River, New Zealand	Quartzo xisto	( $\text{Si}_{3,07}\text{Al}_{0,93}$ )	5,175	95,66	3,1
			$\text{O}_{10,05}\text{F}_{0,03}(\text{OH})_{1,92}$			
			( $\text{K}_{0,96}\text{Na}_{0,03}\text{Ba}_{0,01}$ )			
<b>Brigatti et al. (2001)</b>	Muscovita com crômio, Northwest Nelson, Anatoki River, New Zealand	Quartzo xisto	( $\text{Al}_{1,83}\text{Mg}_{0,11}\text{Fe}^{2+}_{0,10}\text{Cr}_{0,11}\text{Ti}_{0,03}$ )	9,040	95,79	3,3
			( $\text{Si}_{3,14}\text{Al}_{0,86}$ )			
			$\text{O}_{10,54}\text{F}_{0,04}(\text{OH})_{1,46}$			
<b>Evsyunin et al. (1997)</b>	Cromofilita, Slyudyanka, Irkutsk region	Não informado	( $\text{K}_{0,82}\text{Ba}_{0,14}\text{Na}_{0,04}$ )	5,240	95,59	4,8
			( $\text{Cr}^{3+}_{1,42}\text{Al}_{0,27}\text{V}^{3+}_{0,13}\text{Mg}_{0,18}\text{Fe}^{2+}_{0,01}$ )			
			( $\text{Si}_{3,02}\text{Al}_{0,98}$ )			
			$\text{O}_{10}\text{F}_{0,30}(\text{OH})_{1,66}$	19,93		

Cardelli *et al.* (2003) concluem que a análise realizada no espectro de Crômio-muscovita sob investigação, confirma a atribuição anterior (Brigatti *et al.*, 2001), relativa à ocupação octaédrica do crômio, assim como suas distorções.

#### 4.4. Coríndon

O coríndon é um óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) cristalizado no sistema hexagonal (com estrutura semelhante da hematita). Ocorre como agregados maciços ou cristais prismáticos, de hábito tabular ou semelhante a barril (característico desse mineral). É um mineral alocromático, quando puro, é incolor, mas pequenas quantidades de cátions incorporados na estrutura são capazes de colorir o mineral, sendo os mais comuns: o crômio (cor vermelha) e o ferro e/ou titânio (cor azul). As variedades gemológicas são: rubi (cor vermelha) e safira (azul e outras variedades de cores).

Apesar da grande abundância de alumínio na crosta, o elemento encontra-se em fases silicáticas devido a sua forte afinidade geoquímica com o silício e seu caráter essencialmente litófilo. O alumínio é preferencialmente incorporado nas fases silicáticas e conseguirá gerar um óxido apenas quando o sistema possuir deficiência em sílica. Magnésio e ferro também inibem a cristalização do coríndon devido à formação de espinélio (Sá, 2012).

A mobilidade muito baixa do alumínio impede que ele seja introduzido a partir de fontes externas, mas também favorece sua concentração através da lixiviação de outros elementos, dentre eles, a sílica (Sá, 2012).

Esse mineral pode ser formado em rochas ígneas, produto direto da cristalização de magmas alcalinos, como os sienitos (Hughes, 1990; Deer *et al.*, 1992) e basaltos alcalinos (Levinson e Cook, 1994), ou também no metamorfismo de contato e regional (foco deste trabalho) ou de processos metassomáticos (Grapes e Palmer, 1996).

#### 4.5. Geração de Coríndon a Partir de Protólitos Aluminosos

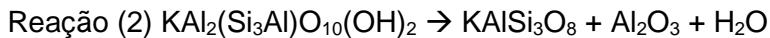
Terrenos metamórficos correspondem às melhores fontes de rubi e safira do mundo, e o coríndon pode se formar em uma ampla variação de pressão e temperatura, dependendo muito da saturação em alumina e deficiência em sílica (sistemas fechados) ou a participação de processos metassomáticos (Simonet *et al.*, 2008).

Em um sistema essencialmente fechado, o coríndon se forma no metamorfismo de rochas pobres em sílica e relativamente ricas em alumínio (Simonet *et al.*, 2008), entre elas, pelitos e lateritas aluminosas, e calcários argilosos (margas) gerando gnaisses e granulitos aluminosos e mármore.

Bauxitas e protólitos com muita alumina, sistemas semelhantes a  $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ , podem gerar coríndon em condições metamórficas de temperaturas menores que 500 °C (Chatterjee *et al.*, 1984) como pode ser visto na Figura 2a, pela Reação (1). Enquanto que em pelitos aluminosos, sistema com participação de potássio, o coríndon se forma apenas em condições mais elevadas, nas quais a muscovita possa ser quebrada, gerando coríndon e feldspato potássico, Reação (2), mostrado na Figura 2b (Chatterjee e Johannes, 1974).

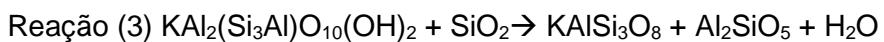


Diáspero → coríndon + água



Muscovita → feldspato potássico + coríndon + água

Velde (1966) conclui que a estabilidade da muscovita é menor com a presença de quartzo. A reação gerando aluminossilicato é mais comum que o limite de quebra da muscovita, uma vez que rochas contendo muscovita normalmente possuem quartzo também. Desta forma, a reação de formação de coríndon somente ocorre após o consumo total da sílica presente (reagindo com a muscovita), produzindo  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , como na Reação (3).



Muscovita + quartzo → feldspato potássico + aluminossilicato + água

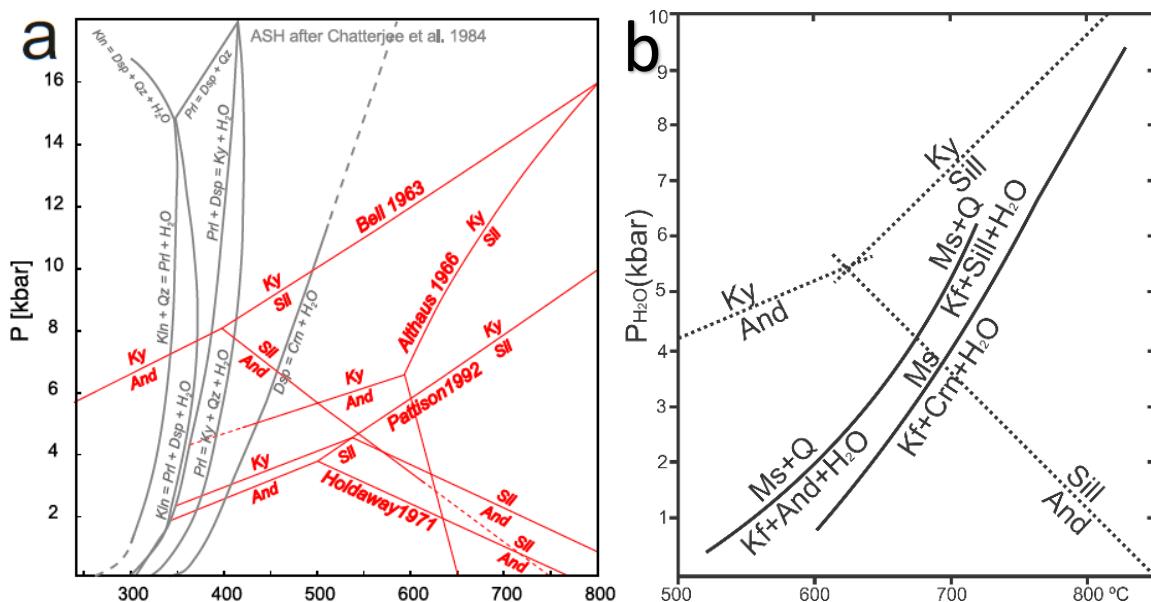


Figura 2. a) Grade petrogenética de sistema  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  (AHS), modificado de Chatterjee *et al.* (1984), com diferentes pontos triplos dos polimorfos de  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  determinados experimentalmente por Bell (1963), Althaus (1967), Holdaway (1971), e Pattison (1992) em vermelho. Fonte: (Schultze, 2018). Fases envolvidas: caulinita (Kln), pirofilita (Prl), diaspore (Dsp), coríndon (Crn), quartzo (Qt), cianita (Ky), andaluzita (And), sillimanita (Sill). b) Grade petrogenética da quebra da muscovita, adaptado de Chatterjee e Johannes (1974). Linha tracejada delimita os campos de estabilidade dos aluminossilicatos. As linhas cheias delimitam as reações de quebra da muscovita. Fases envolvidas: muscovita (Ms), quartzo (Q), sanidina (Kf), sillimanita (Sill), andaluzita (And), cianita (Ky) e coríndon (Crn).

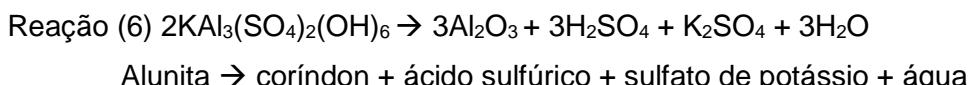
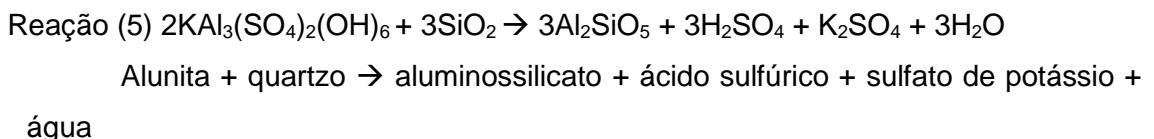
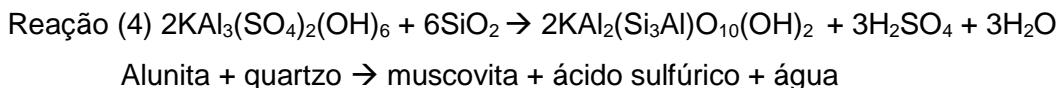
Ferguson e Al-Ameen (1985) estudaram o metamorfismo de contato ao redor do granito Omey, na Irlanda, onde coríndon foi gerado em pelitos próximos ao contato com o granito, em condições de  $T = 600\text{-}620\text{ }^\circ\text{C}$  e  $P = 2,5\text{ kbar}$ , menores que o esperado para a formação do

coríndon pela quebra da muscovita. Segundo os autores, essa distribuição do mineral só pode ser explicada se a fugacidade de  $H_2O$ , que controla o crescimento do mineral, for menor que o da rocha circundante.

A reação de quebra da muscovita que produz o coríndon é controlada por uma fugacidade  $H_2O$  menor daquela na rocha circundante, fazendo com que a muscovita se quebre e libere água para o sistema. Consequentemente, a reação pode funcionar a temperaturas substancialmente menores que o esperado.

Assim, Ferguson e Al-Ameen (1985) concluem que o coríndon em rochas pelíticas não implica em uma dessilicificação da rocha, nem de alta temperatura para a formação. No entanto, o coríndon só ocorrerá, nestes pelitos, se houver um fluxo de  $(OH)^-$  e  $K^+$  para fora da rocha.

Para os *verdites* do Zimbabwe, e do norte do Transvaal, e as ocorrências de fuchsita-cianita-andaluzita xistos do Cráton do Yilgarn na Austrália, Schreyer *et al.* (1981) e Schreyer (1982) propõem a formação de fuchsita, aluminossilicato e coríndon pela quebra da alunita cromífera, Reações (4), (5) e (6), respectivamente.



Em metapelitos mais ricos em sílica, comparados aos descritos acima, o coríndon pode ocorrer em gnaisses contendo granada, espinélio, safirina, cordierita e sillimanita, formados em altas temperaturas e pressões moderadas (fácies anfibolito a granulito de baixa pressão). Em condições de anatexia, o fundido produzido concentra sílica, enquanto o resíduo de fusão enriquece em alumínio, podendo formar coríndon (Simonet *et al.*, 2008).

#### 4.6. Estabilidade do Coríndon em Fuchsita Xistos

As condições de formação do coríndon em protólitos pelítico normalmente implicam em uma instauração em sílica. Em condições metamórficas da crosta, a sílica livre na rocha tende a gerar aluminossilicato, uma vez que o coríndon e quartzo são instáveis (Harlov e Milke, 2002). Assim, mudanças no sistema, relacionada ao aumento de atividade em sílica, resultam

na instabilidade do coríndon. Fuchsita xistos com coroas de cianita ou sillimanita sobre o coríndon são exemplos desta instabilidade.

Raith e Schumacher (2012) estudaram as texturas e estruturas de coríndon-fuchsita xistos com cianita do distrito de Karnataka, Índia. Estas rochas ocorrem em contexto metamórfico de fácies anfibolito com temperaturas de 700-750 °C e pressões entre 8-10 kbar. Raith e Schumacher (2012) interpretam que o desenvolvimento da coroa de cianita e fuchsita é produto da reação dos porfiroblastos de coríndon com sílica e potássio dissolvidos em um fluido. As bordas de muscovita com quartzo ao redor do coríndon formando-se simultaneamente ao crescimento da cianita, e a morfologia desta borda é resultado da sombra de pressão ao redor dos porfiroblastos. A hipótese proposta por Raith e Schumacher (2012) está sintetizada no esquema da Figura 3.

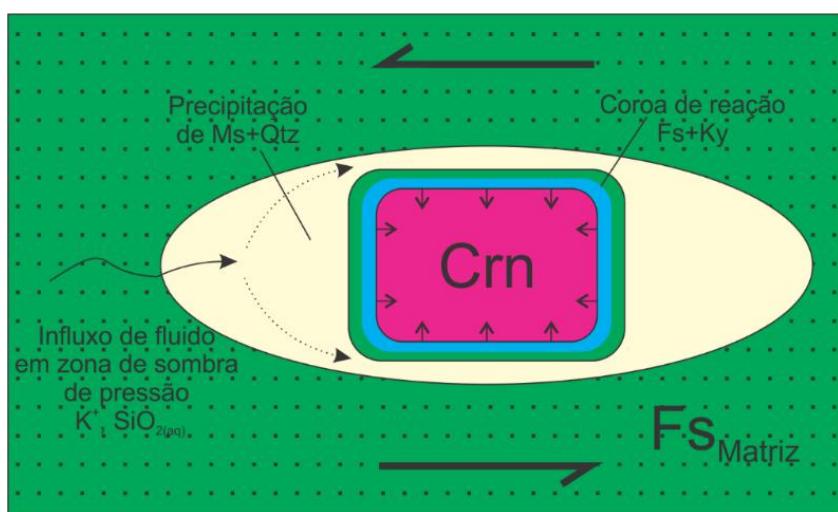
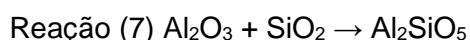


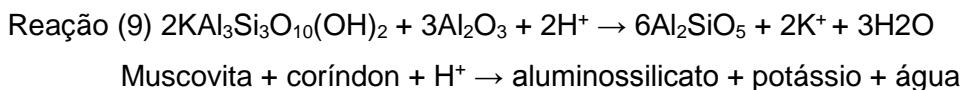
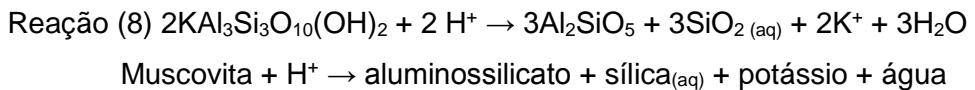
Figura 3. Esquema ilustrando a formação simultânea da coroa de reação de fuchsita (Fs) e cianita (Ky) sobre o coríndon (Crn) e a zona de sombra de pressão com muscovita (Ms) e quartzo (Qtz). Fonte: Raith e Schumacher (2012).

Com os mesmos exemplares da Índia e com dados experimentais, Schultze (2018) tinha como objetivo a interpretação da formação da cianita nestas rochas, analisando as reações de dissolução e precipitação de aluminossilicatos no sistema Al-Si-H<sub>2</sub>O. Concluiu-se que, apesar da paragênese coríndon e quartzo ser conhecida da natureza, em previsões termodinâmicas deveriam ser formados polimorfos de aluminossilicatos. A causa da obstrução da Reação (7) ainda é incompreendido, podendo ser atribuída a inibições cinéticas, em alguns casos.



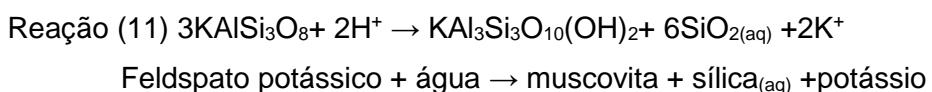
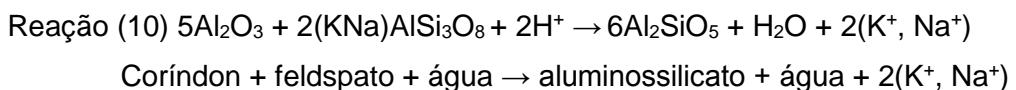
Coríndon + quartzo → aluminossilicato

Segundo Schultze (2018) a formação da cianita não é derivado da entrada de sílica (que é mais intuitivo). Desta forma, sugere a retirada do potássio da rocha pela ação de um fluido aquoso, isto provocaria a quebra da muscovita/fuchsita resultando na formação da cianita. Em resumo, para as rochas da Índia, a cianita é derivada da saída do potássio das fases preexistentes na rocha, da fuchsita (Reação 8) e do coríndon (Reação 9) (Fig. 4a).



Schultze (2018) diz também que: “A formação de cianita a partir da muscovita é geralmente associada a uma evolução metamórfica progressiva, embora nas amostras da Índia não seja necessário um aumento na temperatura necessário para a reação”.

Para a amostra da Tanzânia analisada por Schultze (2018), o contato com o coríndon e a coroa de cianita é feito com feldspato (ortoclásio e albita, com biotita, semelhante à da Bahia), mas a matriz é composta por feldspato e biotita. As relações que Schultze (2018) sugere é que, com a quebra do feldspato, ocorre um excesso de sílica no sistema e saída do potássio e sódio (Reação 10) (Fig. 4b). Neste caso a orientação cristalográfica do coríndon e da cianita são semelhantes e a reação ocorreria no retrómetamorfismo. Por fim, parte do feldspato é transformado em muscovita (Reação 11).



Trabalhos experimentais envolvendo coríndon e sílica explicam indiretamente a formação de aluminossilicatos (sillimanita ou cianita, principalmente) a partir destes sistemas. Newton e Manning (2008) comprovam que a solubilidade de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (coríndon) em sistemas  $\text{Al} + \text{Si} + \text{H}_2\text{O}$  aumenta com a introdução de soluções salinas, no caso do experimento realizado, com adição de sódio, resultando na formação de novas fases minerais (aluminossilicatos). Wohlers e Manning (2009) mostram que, assim como o sódio, adição de potássio aumenta significativamente a solubilidade do coríndon comparado ao fluido composto apenas por  $\text{H}_2\text{O}$ .

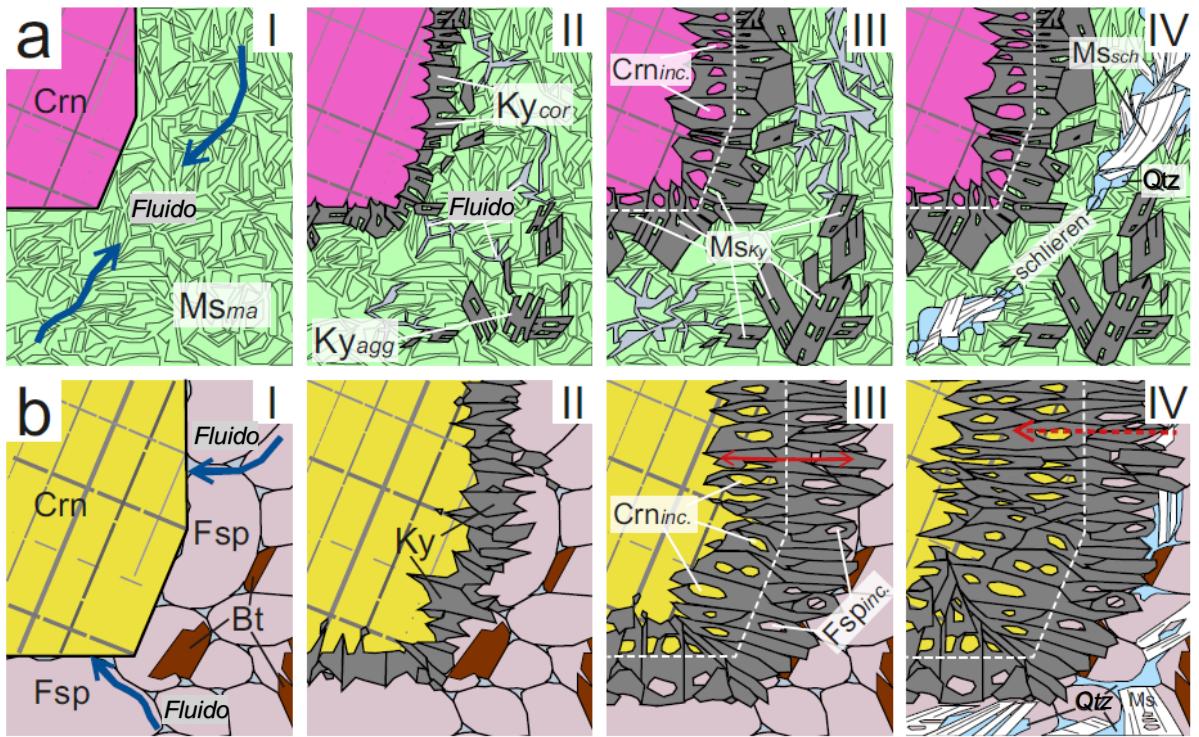


Figura 4. Esquema de crescimento da cianita para rochas da Índia (a) e Tanzânia (b). a) I) Passagem de fluido, na rocha com paragênese original: Crn e Ms<sub>ma</sub> (fuchsite). II) Crescimento de agregados de cianita (Ky<sub>agg</sub>) na matriz pela Reação (8) e ao redor do coríndon (Ky<sub>cor</sub>) pela Reação (9). III) Relíquias dos minerais são preservados como inclusões de Crn e Ms<sub>Ky</sub> na Ky<sub>cor</sub> e Ky<sub>agg</sub>. IV) Por fim, a matriz Ms<sub>ma</sub> (fuchsite) recristaliza em forma de schlieren, formando muscovita sem Cr (Ms<sub>sch</sub>) juntamente com quartzo (Qtz); b) I) Na amostra proveniente da Tanzânia, o coríndon (Crn) ocorre em rocha hospedeira dominada por feldspato (Fsp), é introduzido um fluido que dissolve Fsp e Crn. II) Cianita cresce entre o coríndon e o feldspato pela Reação (10). III) Ky apresenta inclusões de Crn e Fsp (Or + Ab). IV) A baixa solubilidade de Al limita a progressão da cianita em 1/3 do volume do coríndon. Em temperaturas mais baixas, Fsp reage com água e forma Ms e Qtz (Reação 11). Fonte: Schultze (2018).

## 5. OCORRÊNCIAS NO SUDESTE E NORDESTE BRASIL

O levantamento bibliográfico das ocorrências nacionais de rochas compostas por fuchsita permitiu a construção do mapa apresentado na Figura 5. Em vários municípios citados, rochas com fuchsita correspondem a estratos pontuais, mas em algumas regiões merecem maior destaque devido à grande quantidade destas rochas, podendo até se tornarem possíveis produtoras de fuchsita xistos ou aventurinos (fuchsita quartzitos) como rocha ornamental ou outros usos. Localidades como a região de Jacobina e o Quadrilátero Ferrífero possuem trabalhos que citam a ocorrência destes litotipos em unidades geológicas regionais, desta forma optou-se por inseri-las como região na tabela de ocorrências.

A localidade brasileira com maior número de citações de rochas com fuchsita é a região de Jacobina (BA). Leo *et al.* (1965) produziram o primeiro trabalho sobre a ocorrência destas rochas e sua gênese. Nesta região, aflora o *Greenstone Belt* Mundo Novo, o Complexo Itapicuru e o Grupo Jacobina de idade arqueana a paleoproterozoica (Teles, 2013). As ocorrências principais de quartzitos e conglomerados com fuchsita estão no Grupo Jacobina, na Formação Serra do Córrego, e entre estas rochas ocorre um marco estratigráfico denominado xisto guia (quartzo-sericita xisto com fuchsita) (Teles, 2013). Segundo Leo *et al.* (1965) e Teles (2013), a origem dos quartzitos é essencialmente clástica. Outras ocorrências derivam do Complexo Itapicuru, de idade arqueana, entre quartzitos, *metacherts*, filitos, metassiltitos e metavulcânicas (Sampaio *et al.*, 2001).

No Rio Grande do Norte e no Ceará, afloram rochas compostas por muscovita cromífera nos complexos Caicó e Granjeiro (Formação Lavras da Mangabeira), respectivamente. Casagrande (2003, *apud* Vasconcelos, 1998) infere uma possível correlação entre estas unidades. Situadas na Província Borborema, estas rochas constituem uma sequência metavulcanossedimentar com horizontes químicos, composta por metamáficas, tufo máfico, félsicos e metaultramáficas associadas a gnaisse, xisto, rocha calcissilicática, metacalcário, *metachert*, quartzito e formação ferrífera bandada (Casagrande, 2003). Em Antônio Martins (Moraes, 1999) e São João do Sabugi ocorrem grandes afloramentos com fuchsita xistos, enquanto que em Lajes são encontrados os “quartzitos verde esmeralda” com potencial para rocha ornamental (Cavalcanti, 2008).

Em Minas Gerais, no Quadrilátero Ferrífero, a fuchsita ocorre em xistos no Grupo Nova Lima, na unidade metassedimentar química composta por quartzo-cianita xisto, *BIFs*, *metachert*, turmalinito exalativo, quartzito e cianitito (Senna e Souza Filho, 2009). Nas formações ferríferas do Grupo Itabira (Supergrupo Minas), a fuchsita ocorre como fase acessória (Raposo, 1996). Também associadas às formações ferríferas, em Fortaleza de Minas, fuchsita *cherts* intercalados com *cherts*, metassedimentos clásticos, tufo e metavulcânicas ultramáficas ocorrem no *Greenstone Belt* Morro do Ferro (Unidade Morro do Ferro), segundo Filgueiras (2000).

*Mapa de municípios com ocorrências de fuchsita xistos e fuchsita quartzitos no sudeste e no nordeste do Brasil*

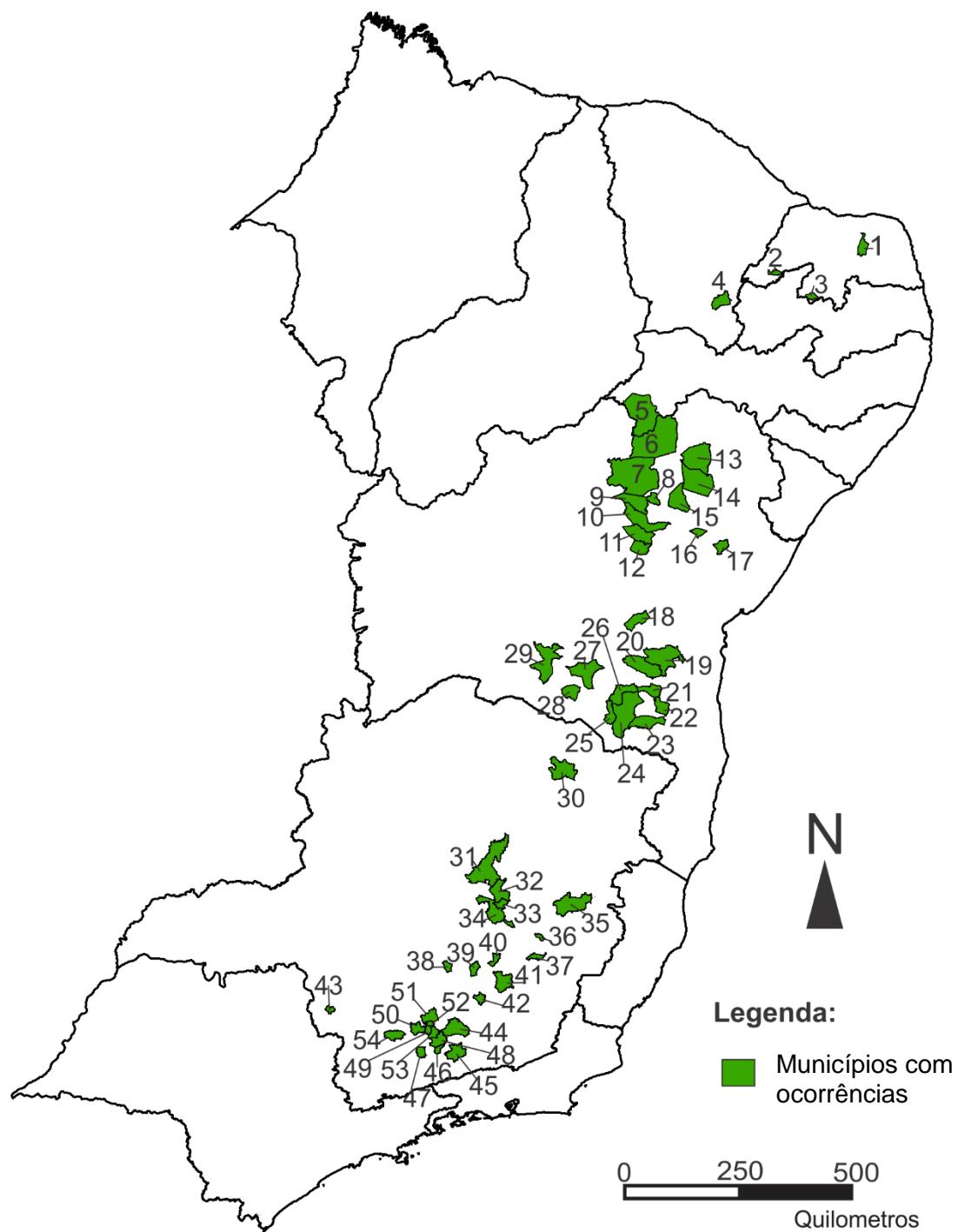


Figura 5. Mapa de municípios com ocorrências de rochas com fuchsite no sudeste e nordeste do Brasil, construído com base nos dados obtidos em artigos, teses, dissertações, relatórios de pesquisa mineral, projetos de mapeamento, etc. As referências bibliográficas das ocorrências encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Localidades com ocorrências de rochas com fuchsite no sudeste e nordeste do Brasil.

N	LOCAL	AUTOR	Idade	Contexto Geológico
1	Lajes, RN	Cavalcanti (2008)		Complexo Caicó - Grupo Seridó - Formação Jucurutu (Cavalcanti, 2008)
2	Antônio Martins, RN	Moraes (1999)	Paleoproterozoico (Cavalcanti, 2008)	
3	São João do Sabugi, RN	Ronaldo (2013)		
4	Lavras da Mangabeira, CE	Ancelmi (2016)	Arqueano	Complexo Granjeiro - Formação Lavras da Mangabeira
5	Petrolina, PE	Sá <i>et al.</i> (1984)	Arqueano	
6	Juazeiro, BA	Sá <i>et al.</i> (1984)		Complexo Rio Salitre
		Milesi <i>et al.</i> (2002), Teles (2013), <u>Região de Jacobina</u> Schultz-Guttler (2005), Miranda <i>et al.</i> (2016)		
7	Campo Formoso, BA	Dutra (2008)		
8	Mirangaba, BA	Couto (2000)		
9	Pindobaçu, BA	Couto (2000)		
10	Jacobina, BA	Heinrich (1965), Leo <i>et al.</i> (1965), Sampaio <i>et al.</i> (2001), Correa (2010), Pimenta (2013), Museu de Geociências da USP - coleção Luiz Paixão	Paleoproterozoico (Teles, 2013) e neoarqueano (Leo <i>et al.</i> , 1965)	Bacia de Jacobina e Complexo Itapicuru
11	Miguel Calmon, BA	Sampaio <i>et al.</i> (2001)		
12	Piritiba, BA	Sampaio <i>et al.</i> (2001)		
13	Uauá, BA	Oliveira <i>et al.</i> (2002), Spalletta (2015)		Complexo Caraíba - Cinturão Salvador-
14	Monte Santo, BA	Silveira (2015)	Paleoproterozoico (Del Lama <i>et al.</i> , 2001, Oliveira <i>et al.</i> , 2002)	Curaçá (Del Lama <i>et al.</i> , 2001)
15	Jacurici, Itiúba, BA	Del Lama <i>et al.</i> (2001)		Cinturão Caldeirão (Oliveira <i>et al.</i> , 2002)
16	Valente, BA	Couto (2000)		
17	Serrinha, BA	Couto (2000)		
18	Marcílio Souza, Machado Portela, BA	Museu de Geociências da USP		
19	Jequié, BA	Couto (2000), Museu de Geociências da USP - coleção Luiz Paixão	Arqueano	Bloco Jequié ou Cinturão Itabuna
20	Manoel Vitorino, BA	Galvão <i>et al.</i> (1973)		
21	Poções, BA	Galvão <i>et al.</i> (1973)		
22	Nova Canaã, BA	Galvão <i>et al.</i> (1973)		
23	Itambé, BA	Galvão <i>et al.</i> (1973), Chiodi Filho e Chiodi (2018)		

N	LOCAL	AUTOR	Idade	Contexto Geológico
24	Vitória da Conquista, BA	Galvão <i>et al.</i> (1973)		Bloco Jequié ou Cinturão Itabuna
25	Belo Campo, BA	Galvão <i>et al.</i> (1973)	Arqueano	
26	Anagé, BA	Galvão <i>et al.</i> (1973)		
	Brumado, BA	Galvão <i>et al.</i> (1973), Schirmer (2012), Palmeira (2010)	Neoarqueano ao paleoproterozoico (Palmeira, 2010)	Sequência Ibitira - Ubiraçaba (Palmeira, 2010)
28	Guajeru, BA	Palmeira (2010)	Arqueano (Palmeira, 2010)	Sequência Guajeru (Palmeira, 2010)
29	Caetité, BA	Palmeira (2010)	Neoarqueano ao paleoproterozoico (Palmeira, 2010)	Sequência Ibitira - Ubiraçaba (Palmeira, 2010)
30	Salinas, MG	Museu de Geociências da USP - coleção Schnyder		
		Silva (2008)	Paleoproterozoico (Silva, 2008)	Grupo Costa Sena, Formação Barão Gauicui (Silva, 2008)
31	Diamantina, MG	Silva e Chave (2012)	Neoproterozoico (Silva e Chave, 2012)	Formação Sopa - Brumadinho (Silva e Chave, 2012)
32	Serro, MG	Uhlein <i>et al.</i> (1983), Zapparoli (2001)		Domínio Oriental - Supergrupo Espinhaço, Sequências Tectono-Estratigráficas - Sequência vulcano-sedimentar Serro (Zapparoli, 2001)
33	Alvorada de Minas	Assis e Marini (1983) e Uhlein <i>et al.</i> (1983)	Paleoproterozoico (Zapparoli, 2001, Uhlein <i>et al.</i> , 1983)	
34	Conceição do Mato Dentro, MG	Museu de Geociências da USP - coleção de Luiz Paixão		
35	Baguari, Governador Valadares, MG	Cassedanne e Sauer (1987)	Paleoproterozoico	Grupo Dom Silvério
36	Ipatinga, MG	Evangelista (1992)	(Evangelista, 1992)	(Evangelista, 1992)
37	Dionísio, MG	Evangelista (1992)		
<u>Quadrilátero Ferrífero</u>		Rosière e Chemale (2008)	Arqueano - Paleoproterozoico	Supergrupo Minas, formações ferríferas do Grupo Itabira
		Ladeira e Tobschall (1983)	Mesoarqueano ao neoarqueano (Ladeira e Tobschall, 1983, Raposo, 1996)	Grupo Nova Lima - Unidade Metassedimentar Química, com quartzo-cianita xisto, <i>BIFs</i> , <i>metachert</i> , turmalinito exalativo, fuchsite xisto, quartzito, cianitito (Senna e Souza Filho, 2009)
38	Mateus Leme, MG	Senna e Souza Filho (2009)	Mesoarqueano ao neoarqueano	
39	Nova Lima, MG	Oliveira <i>et al.</i> (1983)	Mesoarqueano ao neoarqueano (Oliveira <i>et al.</i> , 1983)	Grupo Nova Lima (Oliveira <i>et al.</i> , 1983)

N	LOCAL	AUTOR	Idade	Contexto Geológico
40	Barão de Cocais, MG	Passos (1999)	Arqueano (Passos, 1999)	Complexo Santa Bárbara - Unidade Metavulcânica Máfica-Ultramáfica e Grupo Quebra-Osso ou Nova Lima (Passos, 1999)
41	Mariana, MG	Rossi (2010)	Paleoproterozoico (Rossi, 2010)	Sequência da Serra da Boa Vista (Rossi, 2010)
42	Concelheiro Lafaiete, MG	Sad <i>et al.</i> (1983)	Arqueano (Sad <i>et al.</i> , 1983)	Grupo Nova Lima - Formação Santo Amaro (Sad <i>et al.</i> , 1983)
43	Fortaleza de Minas, MG	Filgueiras (2000), Rosas (2003), Bonfim <i>et al.</i> (2015), Silva <i>et al.</i> (2015)	Arqueano (Filgueiras, 2000)	Greenstone Belt Morro do Ferro, Unidade Morro do Ferro, Faixa Mumbuca; sedimentos químicos ( <i>BiFs</i> , <i>cherts</i> e <i>fuchsita cherts</i> ), clásticos e tufáceos intercalados com meta vulcânicas ultramáficas (Filgueiras, 2000)
44	São João del Rey, MG	Trouw (1983)		
45	Andrelândia, MG	Trouw (1983)		
46	Minduri, MG	Paciullo (1983)		
47	São Thomé das Letras, MG	Cavalcanti (2008) e Lima (2013)	Neoproterozoico	Grupo Carrancas, Formação São Tomé das Letras
48	Carrancas, MG	Trouw (1983) e Lima (2013)		
49	Itumirim, MG	Ribeiro (1983)		
50	Lavras, MG	Chrissim (1983)		
51	Bom Sucesso, MG	Moretzsohn e Soares Filho (1983)		Sequência Metassedimentar da Serra do Bom Sucesso, correlacionado com Supergrupo Minas (Moretzsohn e Soares Filho, 1983)
52	Ibituruna, MG	Moretzsohn e Soares Filho (1983)	Mesoproterozoico	
53	Itutinga, MG	Heilbron (1983)		Grupo São João del Rey (Heilbron, 1983)
54	Três Pontas, MG	Maciel (1983)		

Na base da Serra do Espinhaço ocorrem fuchsita quartzitos entre quartzo-muscovita xistos, formações ferríferas de fácies óxidos, clorita xistos, turmalinitos e cianititos, pertencentes à Formação Barão do Guaçuí do Grupo Costa Sena (Silva, 2008). Em Diamantina, na Formação Sopa Brumadinho (Supergrupo Espinhaço), fuchsita quartzitos são clastos em metaconglomerados (Silva e Chaves, 2012), mostrando fontes próximas no retrabalhamento destas rochas durante o mesoproterozoico, talvez derivadas da Formação Barão do Guaçuí.

As localidades de Serro, Alvorada de Minas e Conceição do Mato Dentro (MG) e Campo Formo, Itiúba, Monte Santo e Uauá (BA), são exemplos de ocorrências próximas a reservas de crômio.

Ocorrências de coríndon associadas aos fuchsita xistos são relatadas apenas em Antônio Martins-RN (Morais, 1999), Governador Valadares-MG (Cassedanne e Sauer, 1987), Salinas-MG (Museu de Geociências da USP), Anagé-BA (Galvão *et al.*, 1973), e na Serra de Jacobina (Schultz-Guttler, 2005)

No Grupo Carrancas, ocorrem muscovita xistos e muscovita quartzitos localmente verdes, podendo ser descritos como muscovita esverdeada (Trouw, 1983; Paciullo, 1983; Ribeiro, 1983; Chrispim, 1983; Maciel, 1983) ou fuchsita (Moretzsohn e Soares Filho, 1983; Heilbron, 1983), porém em alguns trabalhos são classificadas como fengita (Campos Neto *et al.*, 2007). Estas rochas ocorrem entre xistos, quartzitos, anfibolitos e xistos ultramáficos datados do neoproterozoico (Lima, 2013). Principalmente em São Thomé das Letras, estes quartzitos esverdeados correspondem a uma importante rocha ornamental (Cavalcanti, 2008), apesar do verde poder ser derivado da muscovita com ferro.

Pelo levantamento realizado fica claro que fuchsita quartzitos são mais frequentes que fuchsita xistos. O contexto geológico é semelhante para ambas as rochas, ocorrendo em sequências metavulcanossedimentares arqueanas a paleoproterozoicas ou proterozoicas associadas ao intemperismo de terrenos antigos.

De forma geral, os litotipos associados a estas rochas são: formações ferríferas bandada (principalmente tipo Algoma), quartzitos puros ou ferruginosos, *cherts*, mármore e gonditos. Algumas ocorrências estão relacionadas a corpos ultramáficos, depósitos de cromita e mais raramente com níveis de turmalinitos. No mapa a seguir (Fig. 6), foi realizada uma sobreposição das ocorrências de fuchsita com o mapa cronoestratigráfico da região estudada, onde se nota uma relação entre os terrenos antigos (arqueanos e paleoproterozoicos) e rochas portadoras de fuchsita.

*Mapa de municípios com ocorrências de fuchsita xistos e fuchsita quartzitos no sudeste e nordeste do Brasil com mapa cronoestratigráfico*

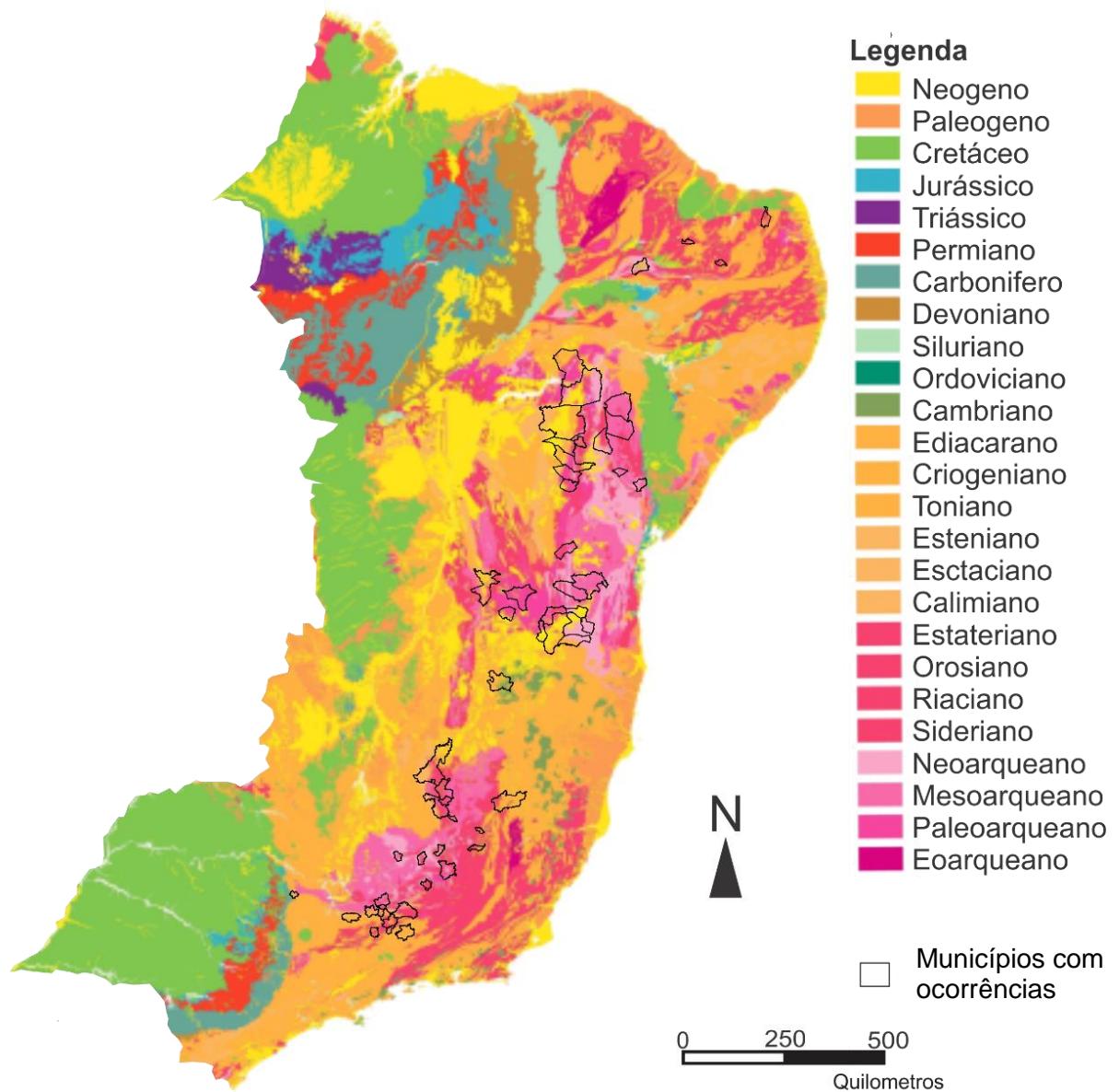


Figura 6. Mapa de municípios com ocorrências de rochas com fuchsite no sudeste e nordeste do Brasil sobreposto ao mapa cronoestratigráfico (Teixeira, 2016, modificado de Geobank).

## 6. OBTEÇÃO DOS DADOS

Neste capítulo são apresentados e descritos os dados obtidos com as amostras de rochas com fuchsita. As informações servem de base para as discussões (capítulo seguinte).

### 6.1. Petrografia

As rochas estudadas foram agrupadas em três conjuntos para a análise. O conjunto 1 corresponde aos fuchsita xistos provenientes do Brasil, o município de ocorrência e o contexto geológico de algumas amostras são desconhecidos. Fuchsita xistos da Índia compõem o conjunto 2, estas rochas ocorrem em Karnataka (Índia) e todas possuem coríndon. O terceiro conjunto abrange quartzitos com fuchsita brasileiros, apresentando variações na granulação e intensidade de cor entre as amostras. Na Tabela 1 encontra-se a discriminação das amostras

Foram confeccionadas doze seções delgadas, sendo, seis de xistos (FSX-01 a FSX-06, três para cada conjunto 1 e 2) e seis de quartzitos (FSQ-01 a FSQ-05B). As amostras FSX-01, FSX-02, FSX-03 e os quartzitos analisados são provenientes do Brasil; enquanto FSX-04, FSX-05 e FSX-06 são rochas da Índia. As amostras denominadas pelas iniciais FSX ou FSQ, foram analisadas no microscópio petrográfico, enquanto as amostras referidas como A ou B a composição mineralógica foi determinada apenas visualmente em amostra de mão. A Tabela 4 apresenta a porcentagem mineral de cada amostra estudada.

Neste trabalho, a utilização da denominação fuchsita é relativo à muscovita com cor verde em amostra de mão. Quando citada muscovita, entende-se que não possui crômio e que tem cor branca/bege. Rubi foi usado para definir o coríndon rosa, em amostra de mão ou na lâmina petrográfica, para as discussões foi usado o nome do mineral (coríndon). Toda sillimanita presente nas amostras descritas é a variedade fibrolita, mas ambas as designações são usadas.

#### 6.1.1. *Conjunto 1: Fuchsita xistos do Brasil*

Nove amostras foram selecionadas deste litotipo, todas do Brasil, porém de diferentes localidades dos estados de Minas Gerais e Bahia. Todas estas rochas são xistos, exceto a FSX-01 que é classificado como filito.

A amostra FSX-01 é um fuchsita filito (Fig. 7a). Possui estrutura foliada e crenulada, granulação muito fina, cor verde prateada, e em amostra de mão é observado apenas fuchsita.

Com granulação fina a média, o fuchsita xisto, A01 (Fig. 7b), possui cor verde azulada e apresenta estrutura xistosa bem desenvolvida e dobrada. A amostra possui uma laminação com material mais quartzoso. Uma amostra da porção composta somente por fuchsita foi analisada na difração de raios X.

Tabela 4. Composição mineral (aproximada) das amostras analisadas estimada visualmente em porcentagem. Fs: fuchsite, Qtz: quartzo, Kfs: feldspato potássico, Ab: albita, Sil: sillimanita, Ky: cianita, Crn: coríndon, Ms: muscovita, Bt: biotita, Rt: rutilo, Zrn: zircão e Op: minerais opacos. Abreviações dos minerais segundo Kretz (1983).

Amostra	Minerais (%)												Total
	Fs	Qtz	Kfs	Ab	Sil	Ky	Crn	Ms	Bt	Rt	Zrn	Op	
<b>FSX-01</b>	94	2								2	1	1	100
<b>A01</b>	84	15								1			100
<b>FSX-02</b>	61		15	5	5		8		1	4	1		100
<b>A02 (esfera)</b>	71		15				10			4			100
<b>FSX-03</b>	55		15	5	5		10		5	4	1		100
<b>A03</b>	63		20				8		5	4			100
<b>A04</b>	83						8	5		4			100
<b>A05</b>	45		40				10			5			100
<b>A06</b>	76						12	7		5			100
<b>B01</b>	67		8				15	8		2			100
<b>B02</b>	71						10	15		4			100
<b>B03 (esfera)</b>	76						10	10		4			100
<b>FSX-06</b>	71					4	13	6		4	1		100
<b>FSX-05</b>	65	3				7	10	10		4	1		100
<b>FSX-04</b>	60	3				15	7	10		4	1		100
<b>B04</b>	46	15				25	5	5		4			100
<b>B05</b>	30	35				25	2	5		3			100
<b>FSQ-01</b>	3	94								2	1		100
<b>FSQ-02</b>	3	91								2	1	3	100
<b>FSQ-03</b>	3	90								2	1	4	100
<b>FSQ-04</b>	3	91								2	1	3	100
<b>FSQ-05</b>	3	93								2	1	1	100
<b>FSQ-06</b>	2	91								2	1	4	100

As amostras FSX-02 e a esfera A02 representam o litotipo: rubi-feldspato-fuchsite xistos, enquanto a FSX-03 e A03: rubi-feldspato-fuchsite xistos com biotita (Fig. 7c, d, e e f, respectivamente). Elas ocorrem na mesma localidade na Bahia (Serra de Jacobina) e possuem grande semelhança, exceto pela presença de maior quantidade de biotita nas amostras FSX-03 e A03. Ambas têm estrutura xistosa com bolsões irregulares de composição feldspática. A granulação é média com porfiroblastos de rubi que ocorrem próximos às concentrações de feldspatos.

As amostras possuem cor verde intensa devido à fuchsite (até 70%, na esfera), destacando-se entre os bolsões brancos de feldspato (15-20%) e o rubi, levemente arroxeados (~10%) com até 1,5 cm. Ocorre rutilo com cor castanho/vermelho e biotita (nas amostras FSX-03 e A03), castanha escura. Na esfera, devido ao polimento, é possível observar que a

fuchsita próxima ao coríndon possui transparência maior que a fuchsita longe dos porfiroblastos, embora ambas têm a mesma cor.

A amostra A04 é um rubi-fuchsita xisto (Fig. 7g), de estrutura xistosa dobrada, granulação média com porfiroblasto de coríndon (7%) crescendo no plano axial da dobra. A fuchsita possui cor verde intenso, e ao redor do coríndon a cor se destaca ainda mais. A amostra A05 é um rubi-feldspato-fuchsita xisto (Fig. 7h), com porções de fuchsita de granulação fina a média, estrutura xistosa e bolsões de feldspato potássico e coríndon.

Com a maior granulação ocorre o fuchsita xisto com rubi, A06 (Fig. 7i), muito friável, e apresenta granulação grossa a muito grossa. O coríndon (12%) ocorre em agregados com cor rosa pálido envoltos por caulinita, oriunda da alteração intempérica do microclínio, e muscovita (7%). A fuchsita (76%) gera uma xistosidade irregular, com cor verde intenso. Há rutilo (5%), vermelho, espalhado pela amostra, e concentrações maiores ocorrem próximas ao coríndon.

Para maior detalhamento dos litotipos, foram analisados ao microscópio o filito (FSX-01) e dois rubi-feldspato-fuchsita xistos (FSX-02 e FSX-03).

O fuchsita filito (FSX-01) é composto por fuchsita, rutilo e quartzo. A fuchsita é o mineral principal, apresentando pleocroísmo moderado de cor amarelo-esverdeado pálido à incolor (Fig. 8a), com granulação muito fina na foliação principal (0,05 mm), enquanto na crenulação e tardivamente desenvolvem-se poucos cristais de maior granulação (0,5 mm). É observado também alguns aglomerados de rutilo entre a fuchsita, são cristais muito finos, visto apenas com aumento de 100 vezes. Raramente ocorre quartzo.

Os rubi-feldspato-fuchsita xistos possuem textura granolepidoblástica, sendo a fuchsita o mineral predominante (cerca de 60% nas lâminas). Ela apresenta um pleocroísmo fraco de cor verde, com granulação variando de 0,5 a 2 mm, e contatos regulares entre si, interlobados com feldspatos e irregulares (serrilhado) com coríndon (Fig. 8b, c e d).

Os feldspatos apresentam alteração intempérica. Predomina microclínio (15%), mas é observado também albita/oligoclásio (5%). Estas porções feldspáticas possuem distribuição heterogênea, concentrando-se principalmente próximas ao coríndon. Tanto o microclínio, quanto a albita/oligoclásio, possuem até 1 mm com contatos interlobados entre si.

O coríndon representa cerca de 10% destas rochas, com cristais subeuédricos, cor rosa e pleocroísmo forte, apresentando aspecto manchado (partes do mineral são quase incolor). Apesar de estar normalmente associado aos feldspatos, é mais frequente observar o coríndon em contato com a fuchsita (Fig. 8b e c), mineral que também aparece incluso nestes porfiroblastos.

Sillimanita ocorre como fibrolita. Há um predomínio deste mineral como inclusões no coríndon (Fig. 8b) e junto às porções feldspáticas, nos dois casos os agregados de sillimanita estão orientados segundo à foliação. Em menor quantidade, observa-se a sillimanita, adjacente ao coríndon (Fig. 8e), neste caso os cristais ocorrem sem orientação preferencial.

É comum o rutilo ocorrer na matriz e incluso no coríndon, com cerca de 5%. Os cristais são prismáticos a subeuédricos (0,2 a 0,4 mm) e têm cor castanha-avermelhado, por vezes apresentam-se com uma orientação paralela à foliação. Zircão ocorre como acessório.

A biotita ocorre em variada proporção, variando de 1 a 5% da rocha. O mineral possui cor castanha e está disposto segunda a foliação (Fig. 8f).

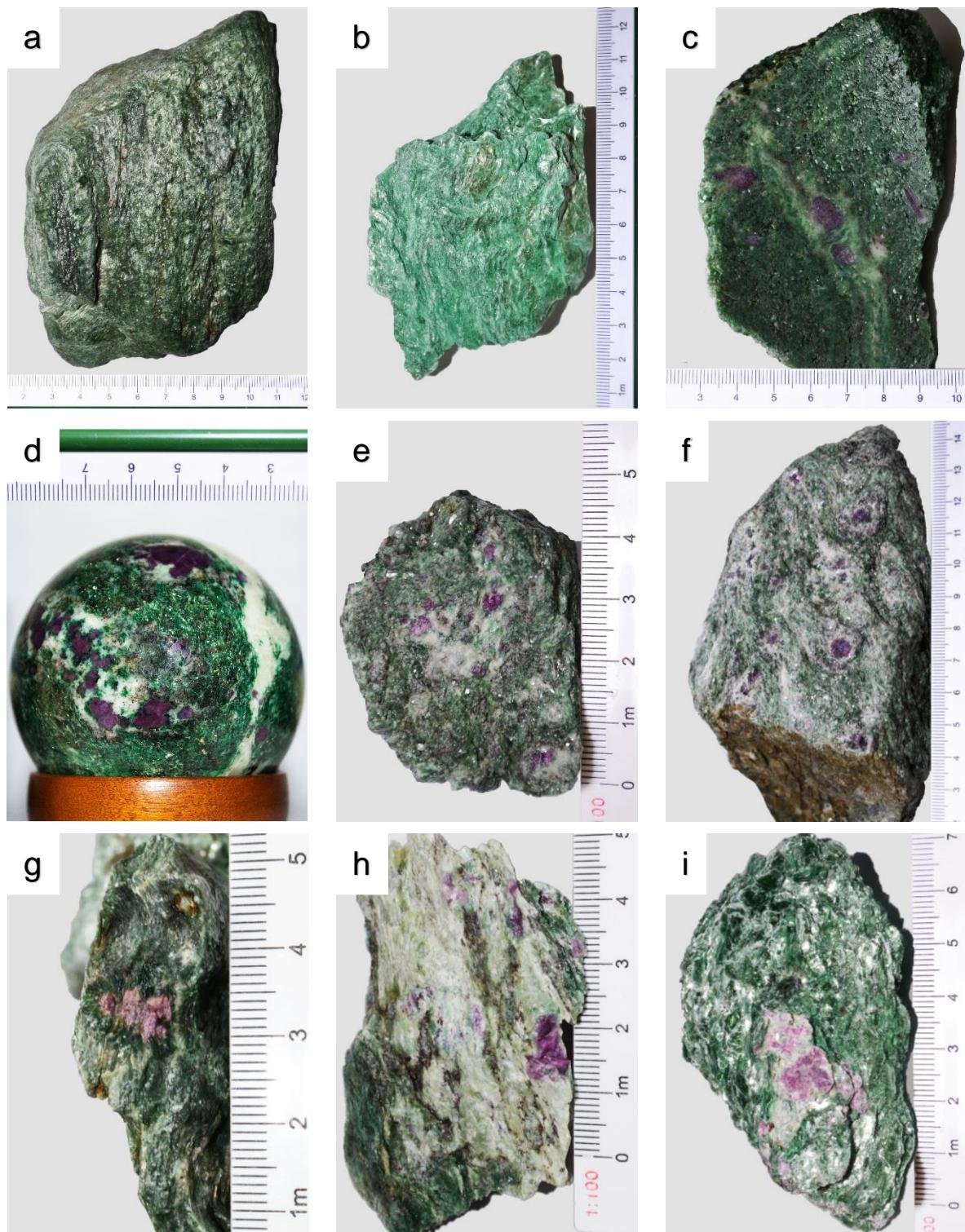


Figura 7. Aspectos macroscópicos das rochas estudadas do conjunto 1. a) FSX-01, fuchsite filito; b) A01, fuchsite xisto; c) FSX-02, rubi-feldspato-fuchsite xisto; d) A02, esfera de rubi-feldspato-fuchsite xisto; e) FSX-03, rubi-feldspato-fuchsite xisto com biotita; f) A03, rubi-feldspato-fuchsite xisto com biotita; g) A04, rubi-fuchsita xisto; h) A05, rubi-feldspato-fuchsite xisto; i) A06, rubi-fuchsita xisto.

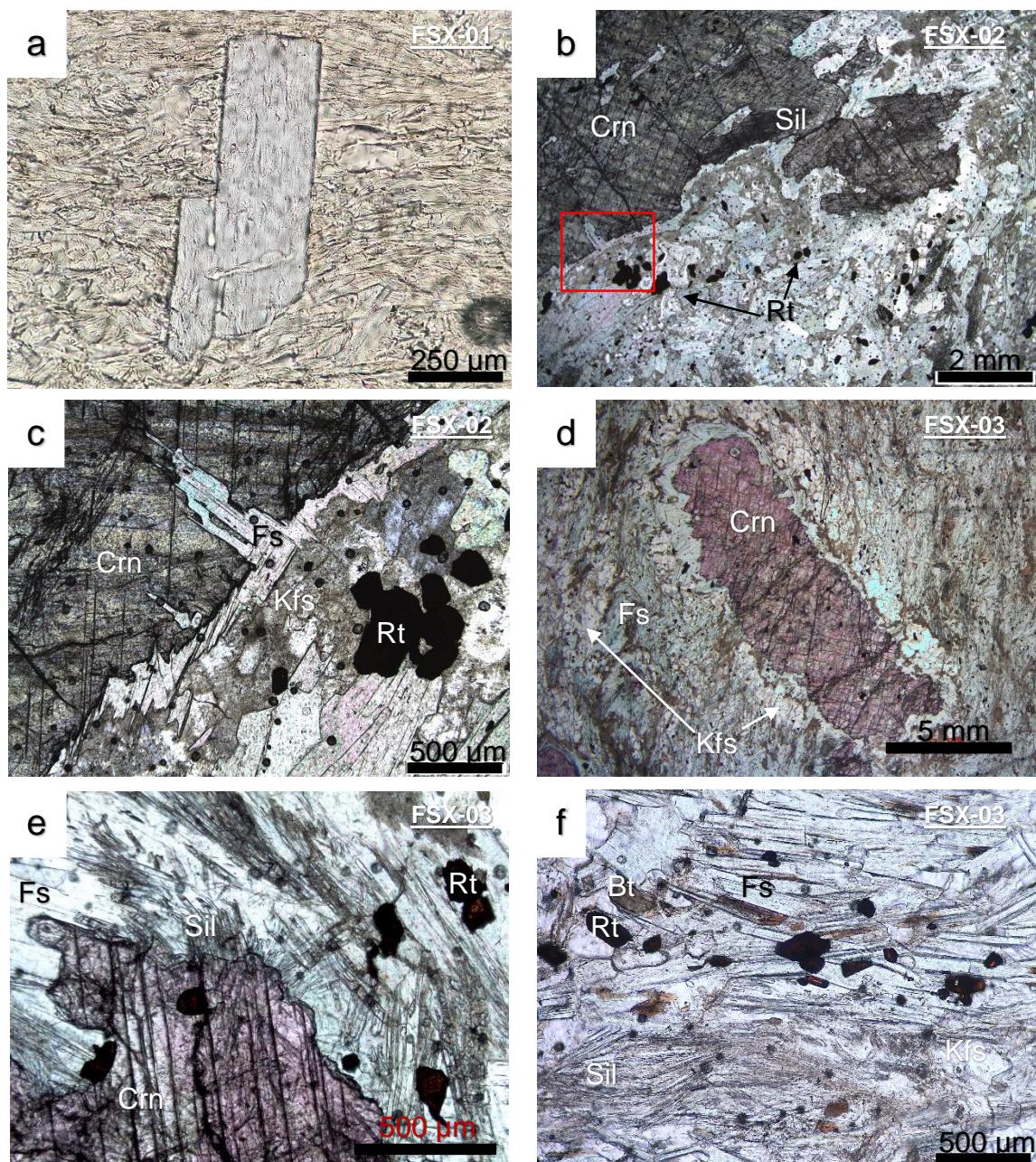


Figura 8. Fotomicrografia das seções delgadas do conjunto 1, polarizadores paralelos. a) Fuchsite filito (FSX-01), observa-se a variação do pleocroísmo da fuchsite, os cristais finos estão na foliação principal e o cristal maior na crenulação; b) Rubi-feldspato-fuchsite xisto (FSX-02), porfiroblastos de coríndon com inclusões de rutilo, fuchsite e agregados de sillimanita (fibrolita), ambos orientados. Observa-se uma borda de fuchsite em contato serrilhado; c) Zoom no retângulo apresentado na imagem anterior; contato entre o coríndon e a fuchsite em que se evidencia o crescimento da fuchsite sobre o coríndon; d) Rubi-feldspato potássico-fuchsite xisto com biotita (FSX-03), coríndon com borda serrilhada com a matriz de fuchsite (verde na foto); e) Coríndon da lâmina FSX-03, na imagem é visto o aspecto manchado do mineral, alternando cores mais claras e mais escuras. Observar que os agregados de fibrolita ocorrem com orientação aleatória fora do coríndon; f) Matriz da FSX-03, ocorrência de fuchsite, biotita, rutilo e fibrolita com porções feldspática na foliação principal. Abreviações minerais são conforme Kretz (1983).

### 6.1.2. Conjunto 2: Rubi-fuchsita xistos da Índia

Todas as amostras obtidas deste conjunto (Fig. 9) são de uma pequena ocorrência do cráton arqueano de Dharwar (distrito de Kodagu, Karnataka, Índia). A diferença mineralógica das amostras estudadas é a quantidade de cianita em cada exemplar. Assim, foram escolhidas para serem laminadas uma rocha com cianita ausente em amostra de mão (FSX-06), uma com pequena quantidade de cianita (FSX-05) e uma rica em cianita (FSX-04).

Os xistos deste conjunto possuem matriz de granulação fina com porfiroblastos de rubi (7-10%) com até 1 cm. A matriz é composta predominantemente por fuchsita (cor verde claro a verde mais saturado) e corresponde a cerca de 60% do volume da rocha. A foliação não é bem definida na maioria das amostras, exceto na B01.

O rubi é euédrico (apenas na B01) a subeuédrico com cor rosa claro. Ocorre um zonamento mineral que varia entre as amostras. Este zonamento é composto por cianita, fuchsita e muscovita com quartzo, e ocorre entre o coríndon e a matriz da rocha.

A B01 corresponde a um rubi-fuchsita xisto com cor verde azulada (Fig. 9a), com estrutura xistosa apresentando dobramento. Os porfiroblastos de coríndon dispersos pela matriz são bem formados, representando cerca de 15% da rocha, envoltos por feldspato e muscovita. A borda de feldspato/muscovita tem contato direto com o coríndon.

A B02 e a esfera B03 (Fig. 9b e c, respectivamente) são rubi-fuchsita xistos com estrutura xistosa menos evidente, o coríndon apresenta uma coroa de fuchsita, com delimitações ainda mais poligonais que o próprio coríndon. Na B01, B02 e B03 não ocorre cianita nas rochas.

Na amostra FSX-06 (Fig. 9d), rubi-fuchsita xisto com cianita, o aluminossilicato não é visto em amostra de mão e a borda branca é irregular. A cianita ocorre envolvendo todo o rubi nas amostras FSX-05 (Fig. 9e, cianita-rubi-fuchsita xisto) e FSX-04 (Fig. 9f rubi-cianita-fuchsita xisto) com 7 e 15% do aluminossilicato, respectivamente. O zonamento nestas duas amostras é composto por fuchsita e cianita, e entre a fuchsita da matriz e a fuchsita mais próxima ao rubi ocorre muscovita sem crômio (cor branca/bege).

A Figura 9g mostra seis exemplares polidos que possuem variação na quantidade de cianita, e pode-se observar o zonamento a partir do coríndon até a matriz, assim como as amostras descritas anteriormente.

A amostra B04, cianita-quartzo-fuchsita xisto com rubi (Fig. 9h), apresenta pequenos núcleos de coríndon (5%) entre a cianita (25% da rocha). A muscovita e o feldspato potássico são ausentes ou ocorrem em pouca quantidade com tons alaranjados, correspondente a percolação de óxido-hidróxido de ferro. A fuchsita ainda aparece como mineral principal, mas provavelmente já possui quartzo na matriz.

A rocha mais quartzosa do conjunto corresponde a B05, um cianita-fuchsita “xisto” silicificado com rubi. Ela possui cor verde intenso e brilho mais vítreo que as demais amostras (Fig. 9i). A estrutura é maciça, com porfiroblastos de cianita. A fuchsita (30% da rocha) dá a

cor para a rocha mas a quantidade de quartzo pela matriz é de cerca de 35%. A cianita (25%) não possui orientação preferencial, e ocorre distribuída pela matriz ou em agregados, onde pode ser visto pequenos núcleos de coríndon (2% e menores que 3 mm). Porções com muscovita são raras (5%) e não estão próximas ao coríndon.

Na descrição petrográfica, observa-se que a matriz das amostras (FSX-04, FSX-05 e FSX-06) são semelhantes, possuindo textura lepidoblástica de granulação fina e foliação pouco evidente, assim como nas amostras de mão. Rutilo (3-4%) e zircão (1%) são comuns nesta matriz, ambos com granulação de até 0,1 mm, com cristais prismáticos a subeuédricos, como é observado na Figura 10a. O rutilo encontrado na matriz é sempre menor e em maior quantidade, comparado com os inclusos ou próximos ao coríndon (Fig. 10b). A fuchsita possui pleocroísmo fraco (quase incolor) e o coríndon tem cor mais pálida comparada com as amostras brasileiras.

Observa-se que a borda de fuchsita adjacente ao rubi possui granulação fina, semelhante à matriz, porém com aspecto mais limpo (com pouco rutilo e zircão) e uma orientação radial ao coríndon, evidente na Figura 10cl e 10cli. O coríndon apresenta contato serrilhado com todas as fases minerais mais próximas, na FSX-06 com a fuchsita (Fig. 10c), e na FSX-05 (Fig. 10d) e FSX-04 (Fig. 10e) com a cianita, enquanto o contato com a cianita e a fuchsita são mais regulares, e a cianita é subeuédrica.

A borda branca, nas amostras laminadas com mais cianita, é composta por muscovita grossa (até 2 mm) e quartzo intersticial (35% da borda), ambos os minerais apresentando características de deformação tardia (dobramento na clivagem e extinção ondulante, respectivamente). Na FSX-06 esta borda de muscovita é irregular e menos espessa que nas outras amostras, e neste caso é composta somente por muscovita (quartzo ausente).

#### 6.1.3. Conjunto 3: Quartzitos com fuchsita

Para os quartzitos, as lâminas foram produzidas tentando amostrar as variedades de granulação das rochas obtidas, observando qual a relação da fuchsita com o quartzo. Da amostra FSQ-01 a FSQ-04 a granulação aumenta (Fig. 11a), enquanto a FSQ-05A e FSQ-05B (Fig. 11b) são porções de um mesmo quartzito verde de Jacobina (BA).

As amostras FSQ-01 a FSQ-04 possuem qualidade gemológica. A FSQ-01 apresenta cor verde pálido amarelada (Fig. 11a) e granulação muito fina. Ao microscópio observa-se um aspecto de ultramylonito, textura granoblástica com foliação devido à deformação do quartzo com aspecto microcristalino (Fig. 12a). A cor é produzida por finas inclusões de fuchsita.

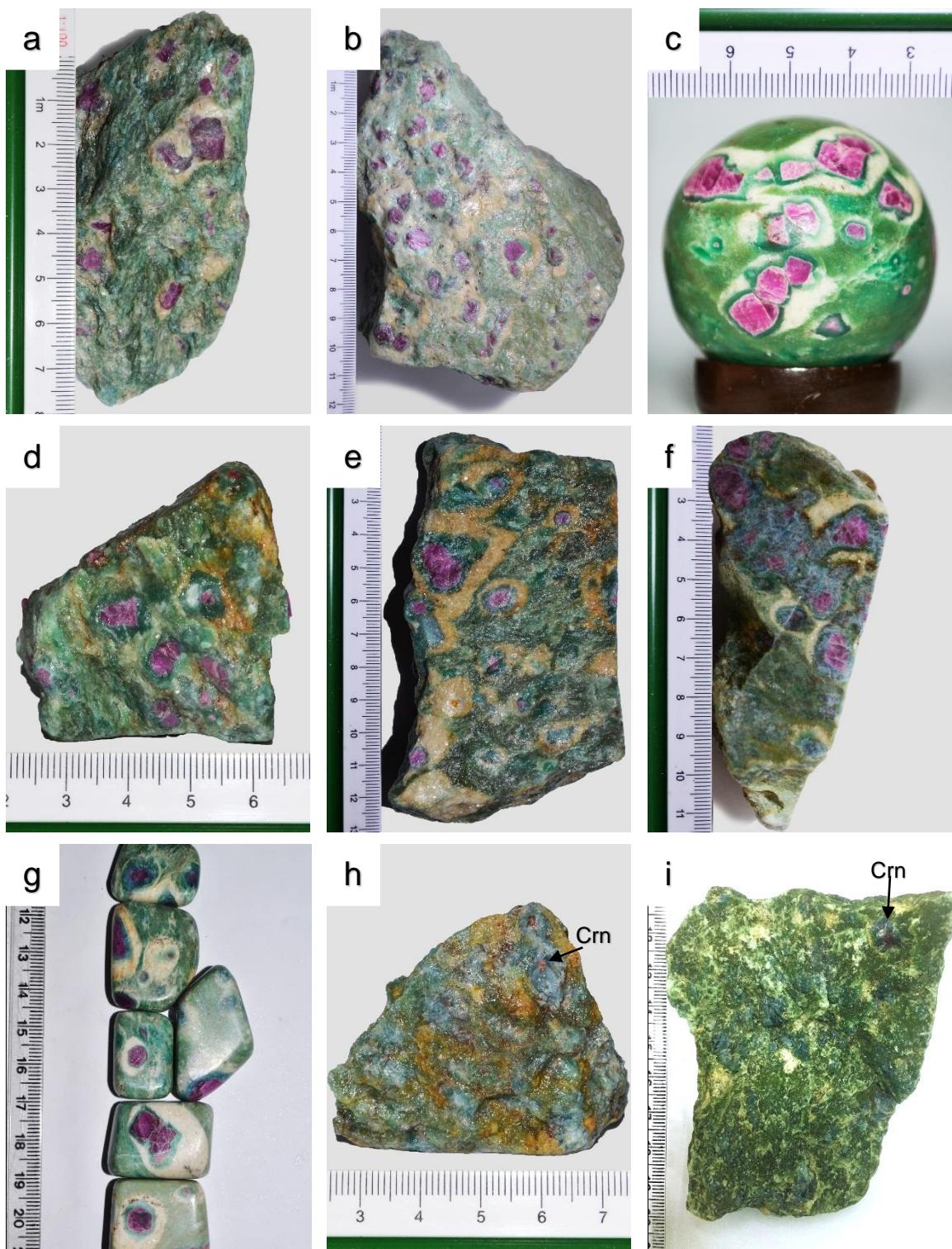


Figura 9. Aspectos macroscópicos das rochas estudadas do conjunto 2. a) B01, rubi-fuchsita xisto com feldspato; b) B02, rubi-fuchsita xisto; c) B03, esfera de rubi-fuchsita xisto; d) FSX-06, rubi-fuchsita xisto com cianita; e) FSX-05, cianita-rubi-fuchsita xisto; f) FSX-04, rubi-cianita-fuchsita xisto; g) Amostras polidas de fuchsita xisto com rubi, de baixo para cima aumenta a quantidade de cianita na rocha. Observar na amostra mais abaixo o contorno perfeitamente hexagonal da fuchsita adjacente ao coríndon; h) B04, cianita-quartzo-fuchsita xisto com rubi; i) B05 cianita-fuchsita xisto silicificado com rubi. Abreviações minerais são conforme Kretz (1983).

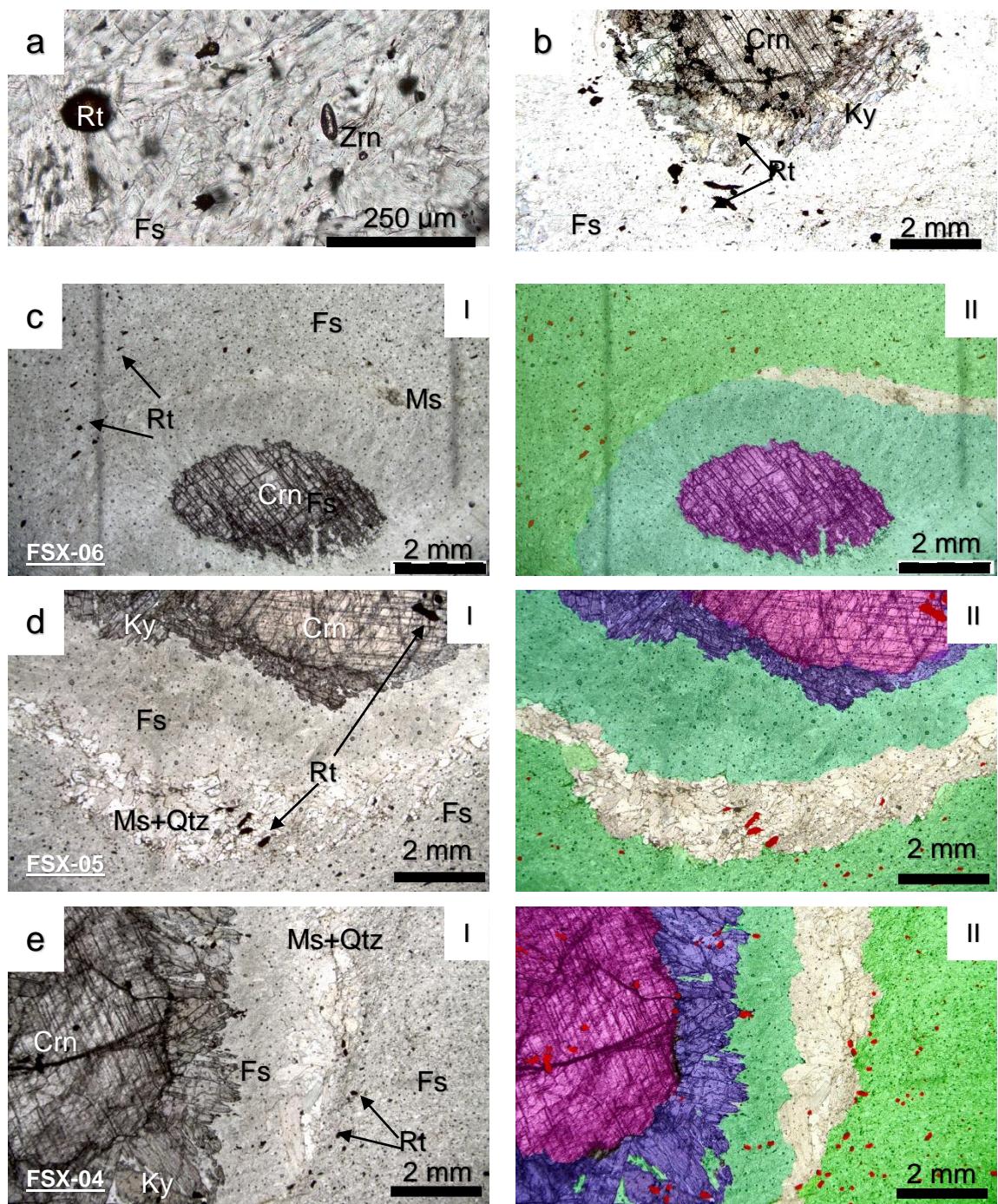


Figura 10. Fotomicrografia das rochas provenientes da Índia (conjunto 2). a) Matriz na FSX-04, semelhante nas demais rochas da Índia, observa-se grande quantidade de inclusões de rutilo e zircão, e a fuchsite é fina e incolor; b) Porfiroblasto de coríndon na amostra FSX-04 com zonamento típico. Nota-se que o rutilo se concentra na borda do coríndon, e a granulação destes cristais são maiores comparados quando estão na matriz; c) FSX-06, coríndon com contato serrilhado com fuchsite adjacente e zonamento irregular de muscovita; d) FSX-05 possui cianita ao redor do coríndon e faixa de muscovita com quartzo; e) FSX-04 desenvolve grande coroa de cianita no coríndon; I- Fotomicrografias com polarizadores descruzados; II- Minerais diferenciados por cores, rosa: coríndon (Crn), azul: cianita (Ky), verde azulado: fuchsite (Fs) “limpa”, bege: muscovita com quartzo (Ms±Qtz), verde: fuchsite (Fs) (matriz) e vermelho: rutilo (Rt). Imagens produzidas no Photoshop CS6, colorido manualmente com base nos diferentes minerais e texturas observadas ao microscópio petrográfico. Abreviações minerais são conforme Kretz (1983).

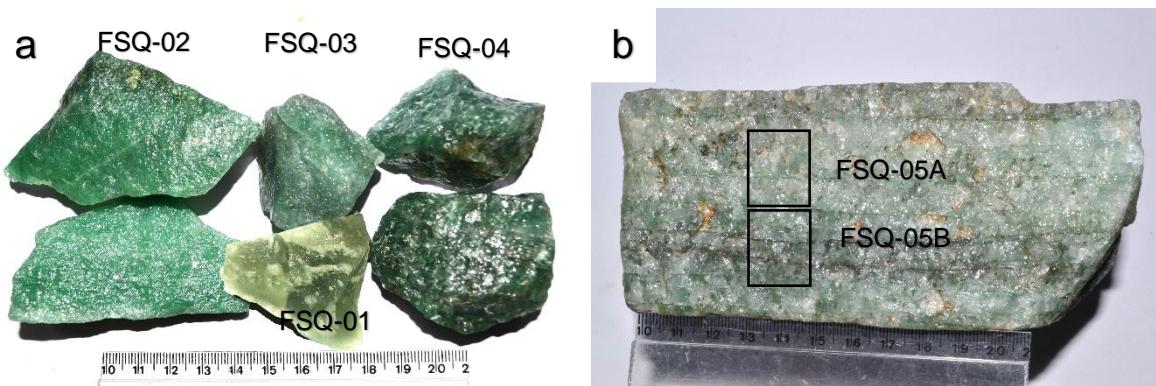


Figura 11. Aspectos macroscópicos dos quartzitos (conjunto 3). a) Amostras de mão FSQ-01, FSQ-02, FSQ-03 e FSQ-04; b) Amostra de Mão FSQ-05A e FSQ-05B.

FSQ-02 é um quartzito verde claro levemente azulado, com estrutura maciça, e aspecto sacaroide, ao microscópio a fuchsita representa 3% da rocha e os cristais encontram-se orientados na mesma direção da deformação do quartzo (Fig. 12b). A fuchsita é euédrica a subeuédrica de 0,05 a 0,1 mm. O quartzo possui contatos interlobados entre si e a fuchsita ocorre tanto nos contatos como inclusa no quartzo. Possui extinção ondulante forte e contatos interlobados entre si, com recristalização dinâmica tipo migração de borda de grão e rotação de subgrão, com granulação variando de 0,1 a 1 mm. Os acessórios são rutilo, zircão e opacos, que são vistos em todas as amostras (exceto na FSQ-01). Os opacos foram observados em lupa, e correspondem a pirita com cristais euédricos.

A FSQ-03 apresenta composição semelhante, com fuchsita de 0,1 a 0,5 mm e cristais de quartzo com até 2 mm, com recristalização semelhante à anterior (Fig. 12c). Já a amostra FSQ-04 possui cor verde esmeralda e brilho mais vítreo que as demais, é ainda mais grossa (Fig. 12d). Ao microscópio é visto o quartzo de até 5 mm, com fraca extinção ondulante e recristalização dinâmica tipo migração de borda de grão. Os cristais de fuchsita têm até 0,2 mm, cor verde bem intenso e com pleocroísmo em tons azulados.

Com a amostra FSQ-05, um quartzito com bandas brancas (apenas quartzo) e lentes esverdeadas (com fuchsita) e lentes escuras (com opacos), foram feitas duas lâminas, uma com as lentes verdes (Fig. 12e) e a outra com as lentes escuras (Fig. 12f). Em ambas, o quartzo tem granulação de até 5 mm, com contatos mais poligonaisizados comparados com as outras amostras e não possui extinção ondulante. A fuchsita não se apresenta bem orientada como nas outras amostras.

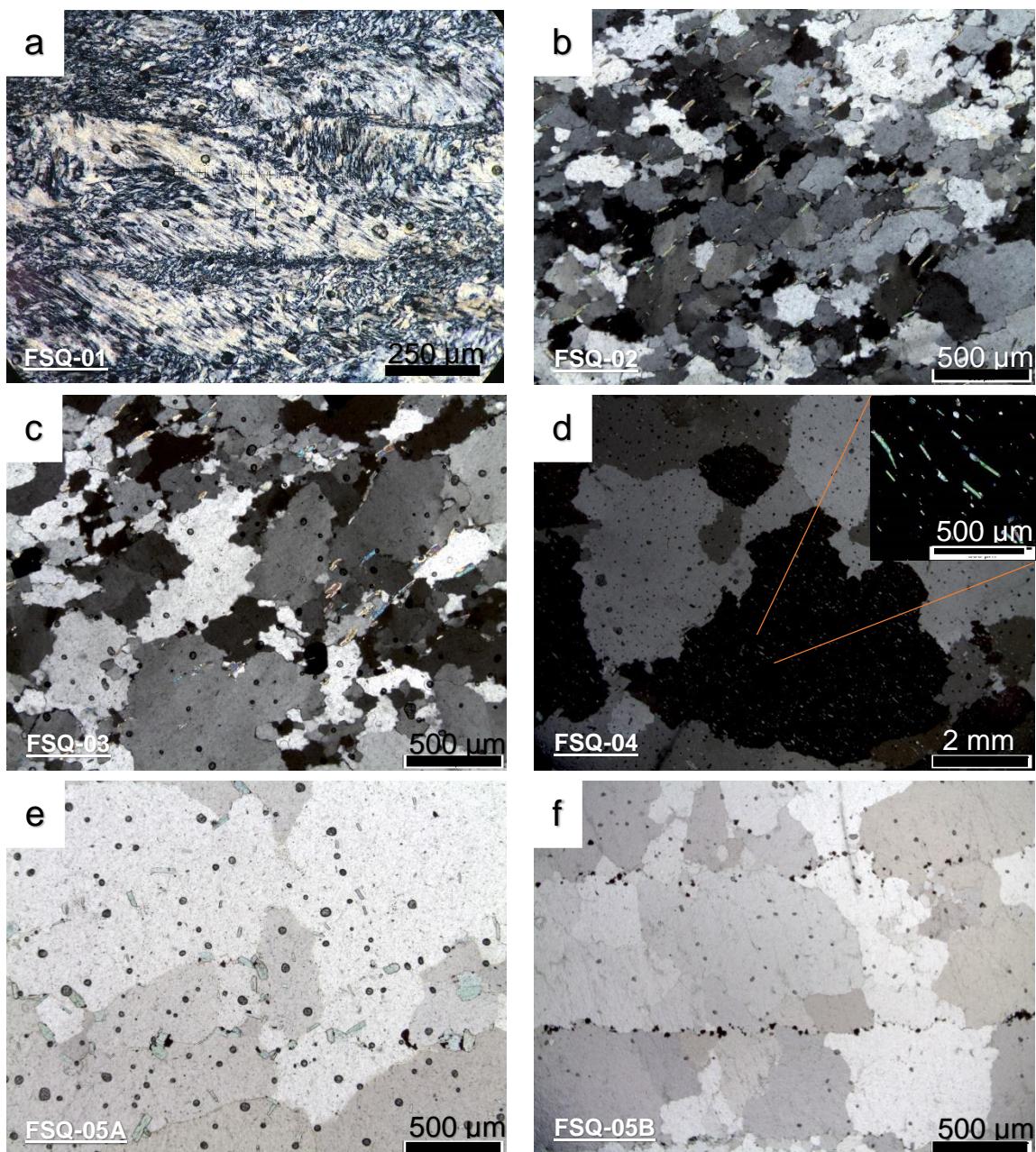


Figura 12. Fotomicrografia dos quartzitos com fuchsite. a) FSQ-01, quartzo com granulação muito fina (microcristalino); b) FSQ-02, fuchsite orientada (NE-SW na imagem) e quartzo apresentando extinção ondulante; c) FSQ-03, a amostra apresenta porções com cristais de quartzo menores; d) FSQ-04, quartzo bem desenvolvido e fuchsite distribuída uniformemente; e) FSQ-05A, porção com fuchsite e poucos opacos, observa-se uma distribuição heterogênea pela rocha; f) FSQ-05B, porção mais escura da rocha devido à presença de opacos. Fotomicrografias a a d, obtidas com filtros polarizadores cruzados, e e f com filtros polarizadores paralelos.

## 6.2. Microscopia Eletrônica de Varredura

Foram analisadas no MEV quatro amostras, FSX-01, FSX-03, FSX05 e FSX-06, onde obteve-se os mapas de composição e análises semiquantitativas por EDS das fases minerais observadas. A tabela com todos os dados obtidos está em apêndice.

### 6.2.1. *Fuchsita filito (FSX-01)*

A petrografia indicou que a fuchsita é predominante na rocha e as outras fases minerais possuem tamanho reduzido e representam menos de 6%. Optou-se por fazer duas análises (em área) representativas da amostra.

Os dados apontaram que cerca de 50% da rocha é constituída por sílica, 30% de alumínio e 11,5% de potássio, próximo ao comparado com uma muscovita ideal (47% de sílica, 40% de alumínio, 12% de potássio). O teor de magnésio, ferro e titânio são de 2%, 4,6% e 0,8% respectivamente. O crômio na rocha corresponde a 2%, ratificando a denominação de fuchsita, por definição quando o teor de crômio na muscovita é maior que 1%.

### 6.2.2. *Rubi-feldspato-fuchsita xistos com biotita (FSX-03)*

Foram analisados os minerais: fuchsita, feldspatos (microclíno e albita/oligoclásio), coríndon, biotita e rutilo. A Figura 13 representa as áreas da amostra analisada.

#### Fuchsita

A fuchsita na amostra FSX-03 não apresenta uma variação composicional que possa ser relacionada de forma clara com a proximidade do coríndon e o momento de geração. É observado uma variação composicional significativa, dentro de um mesmo cristal. Em apenas uma análise há um aumento no teor de alumínio e redução da sílica, e esta amostra pontual está mais próxima ao coríndon.

#### Feldspatos

Observa-se claramente no mapeamento de elementos gerados do MEV um zonamento dos bolsões de feldspatos (Fig. 14), onde ocorre bordas albíticas e núcleos potássicos, que não é evidente no microscópio óptico devido à alteração dos minerais.

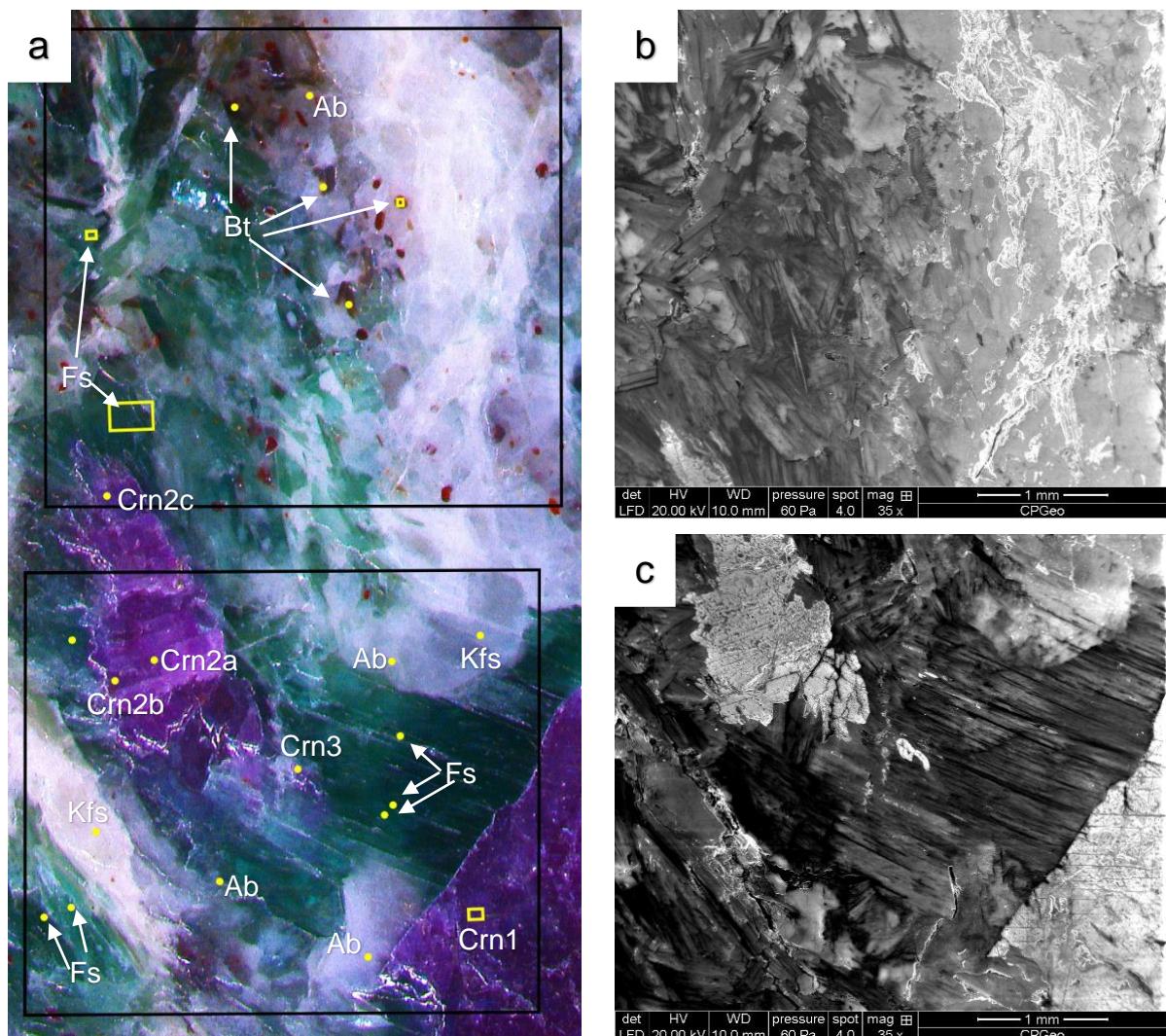


Figura 13. Localização dos pontos analisados da amostra FSX-03 via MEV. a) Imagem obtida com a lupa, os polígonos pretos indicam as áreas estudadas, os pontos e polígonos amarelos representam as análises EDS pontuais e em área, respectivamente, dos minerais. Fs: fuchsite, Kfs: feldspato potássico, Ab: albita/oligoclásio, Crn: coríndon e Bt: biotita; b) e c) Imagens obtidas por MEV, delimitadas pelos polígonos pretos.

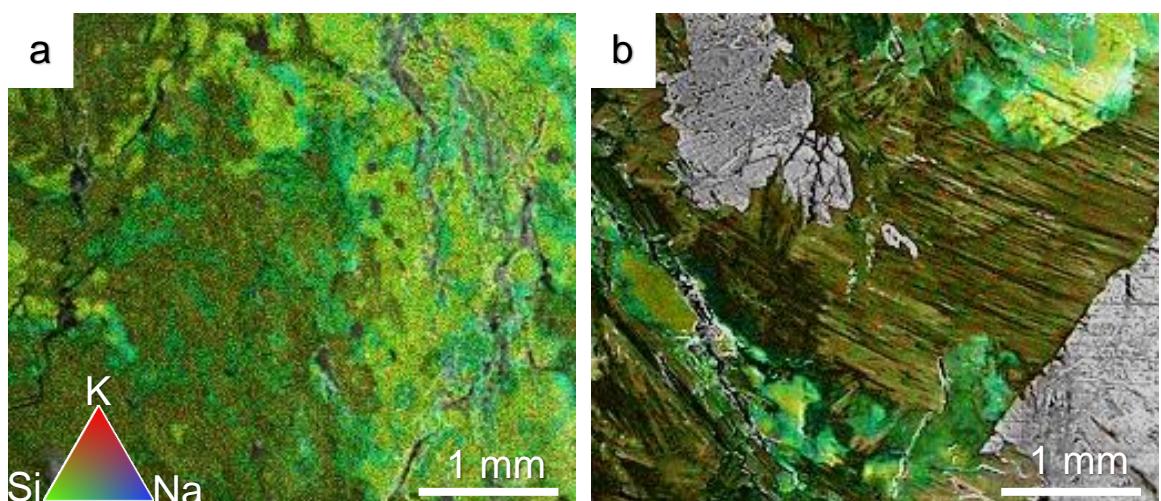


Figura 14. Composições RGB falsa cor das análises por EDS, sobreposta pela imagem obtida pelo MEV na amostra FSX-03. Red (vermelho) = potássio, Green (verde) = sílica e Blue (azul) = sódio. a) Área da Figura 13b; b) Área da Figura 13c

## Coríndon

Na FSX-03 o rubi é heterogêneo, na petrografia ocorre uma variação muito grande na cor do rubi, o qual mostra-se com aspecto manchado, com porções incolores/bege e outras regiões com pleocroísmo forte com cor rosa. A heterogeneidade também é observada na imagem obtida pelo MEV.

A análise Crn1 (Fig. 13) é do coríndon maior, na porção mais central do cristal, com tons de cinza relativamente homogêneo. Do cristal de tamanho médio (Crn2), temos as análises a, b e c, neste coríndon é evidente uma borda muito irregular em contato com fuchsite, a Crn2a é uma composição mais central enquanto em direção a Crn2c corresponde a borda do mineral. A Crn3 é um coríndon menor com tons mais claros. Com os dados foram construídos os gráficos apresentados na Figura 15, no qual observa-se a variação composicional significativa nos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Na Crn3 observar como o conteúdo de crômio aumenta comparado com as outras análises.

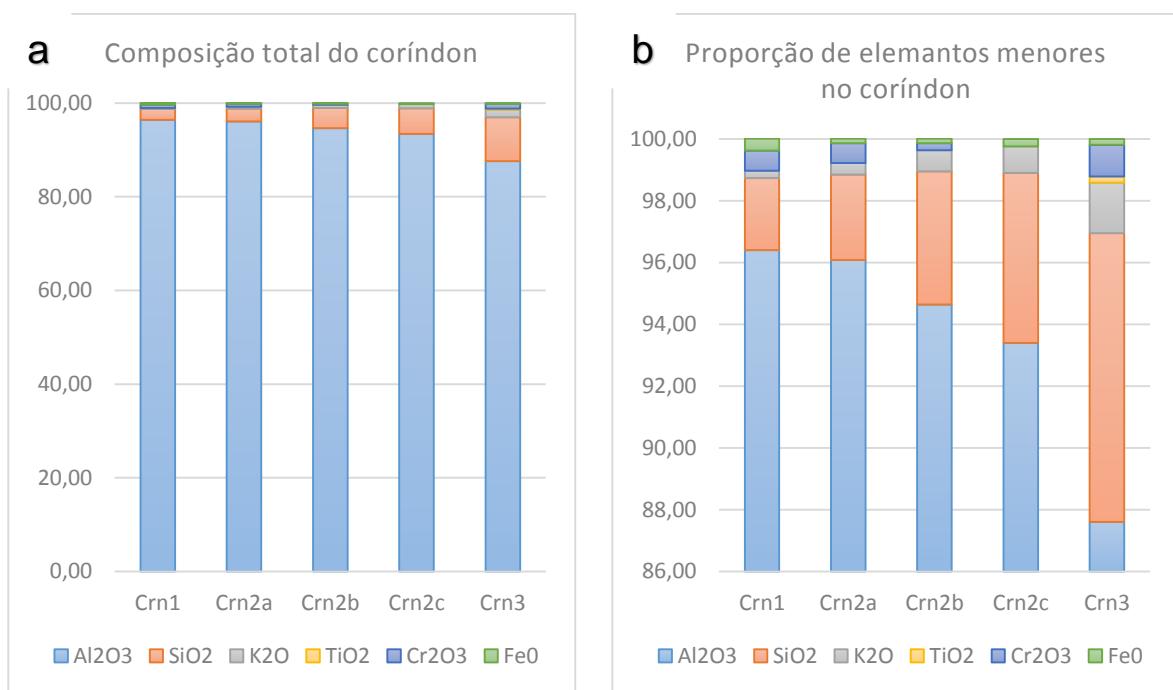


Figura 15. Gráficos com a composição do coríndon, obtidos pela análise EDS na amostra FSX-03.

a) Composição total do coríndon; b) Detalhe para os elementos menores na composição.

## Outros minerais

As análises do rutilo mostraram que o mineral possui concentrações de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  próximas a 0,6%, teor semelhante a média de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  nas análises de coríndon nesta rocha. A biotita contém em média 11,6% de  $\text{MgO}$  e 7,6% de  $\text{FeO}$ . Possui cerca de 2,0% de  $\text{TiO}_2$ , o dobro do teor observado na fuchsite (1,3%), enquanto que o  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  é semelhante entre os filossilicatos, cerca de 0,5% para biotita e fuchsite.

### 6.2.3. Fuchsita xistos da Índia (FSX-05 e FSX-06)

Foram analisados os minerais: fuchsita, muscovita, coríndon, cianita, quartzo e rutilo. A Figura 16 representa as porções da amostra analisada. Para as amostras provenientes da Índia, o principal objetivo das análises é entender como é formado o zonamento das fases minerais nestas rochas.

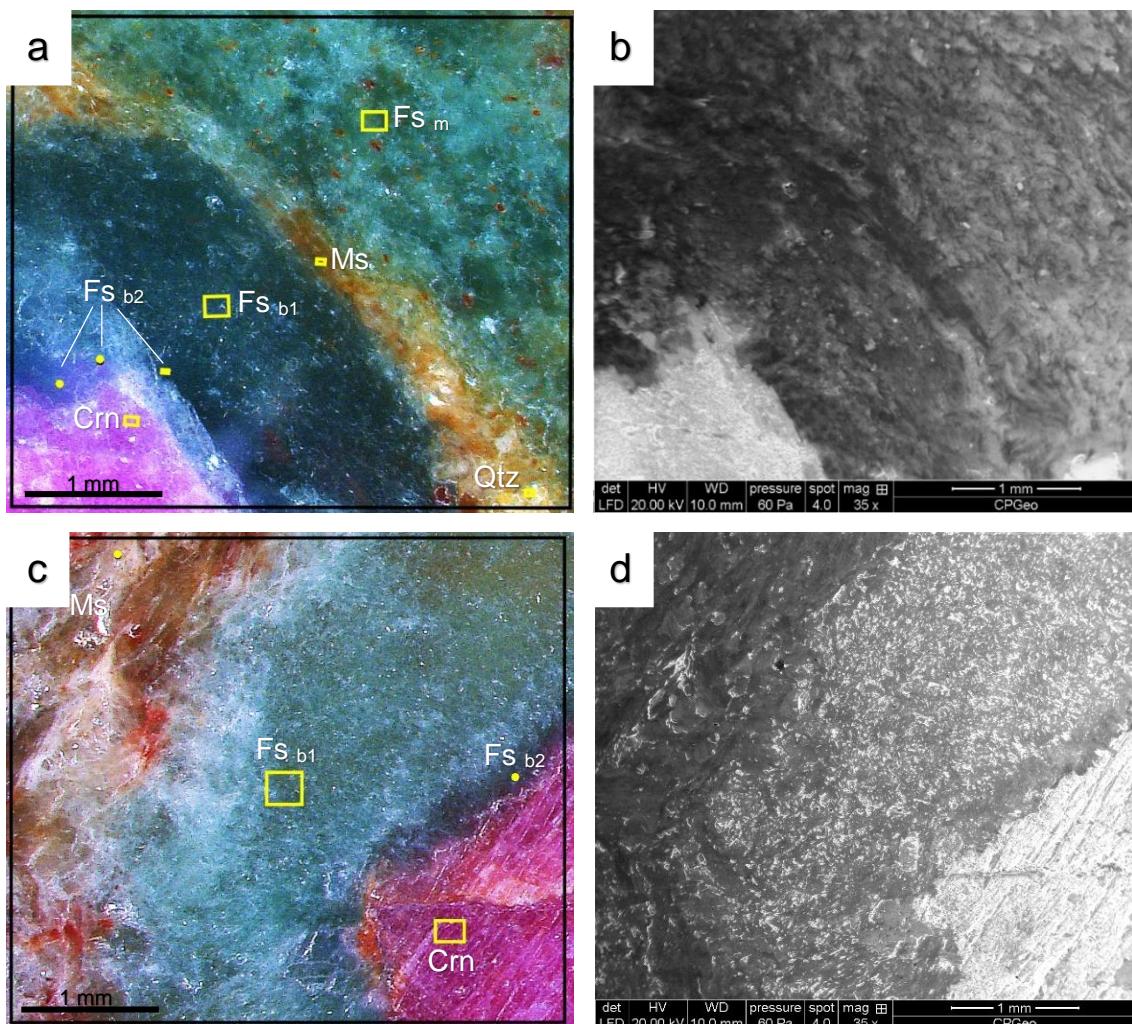


Figura 16. Localização dos pontos analisados das amostras FSX-05 e FSX-06 via MEV. a e b, FSX-05. c e d, FSX-06. À direita, fotomicrografias obtidas via lupa, o polígono preto indica a área estudada, os pontos e polígonos amarelos representam as análises EDS pontuais e em área (respectivamente) dos minerais. À esquerda, imagens obtidas no MEV. A fuchsita da matriz  $Fs_m$  na FSX-06 foi obtida fora do campo de visão da imagem.

#### Fuchsita

Com base no zonamento visível em amostra de mão e na petrografia, as fases minerais foram separadas em: fuchsita da matriz ( $Fs_m$ ), muscovita que compõem o zonamento mais externo dos porfiroblastos de coríndon (Ms), e fuchsita da borda do coríndon ( $Fs_b$ ), sendo  $Fs_{b1}$  a fuchsita no meio da borda e a  $Fs_{b2}$  a mais próxima do coríndon.

Em cada amostra, as fases minerais semelhantes foram agrupadas e feita a média composicional das mesmas para representar a composição de cada região do zonamento, tendo em consideração que a composição era semelhante entre as análises agrupadas, o que mostra uma relação entre elas. A Figura 16 representa a área estudada de cada amostra.

Com os dados obtidos foram construídos os gráficos da Figura 17, os quais mostram a variação na distribuição dos óxidos com relação a região que o mineral representa. Como FSX-05 e FSX-06 são rochas semelhantes, foram colocados os dados em um mesmo gráfico.

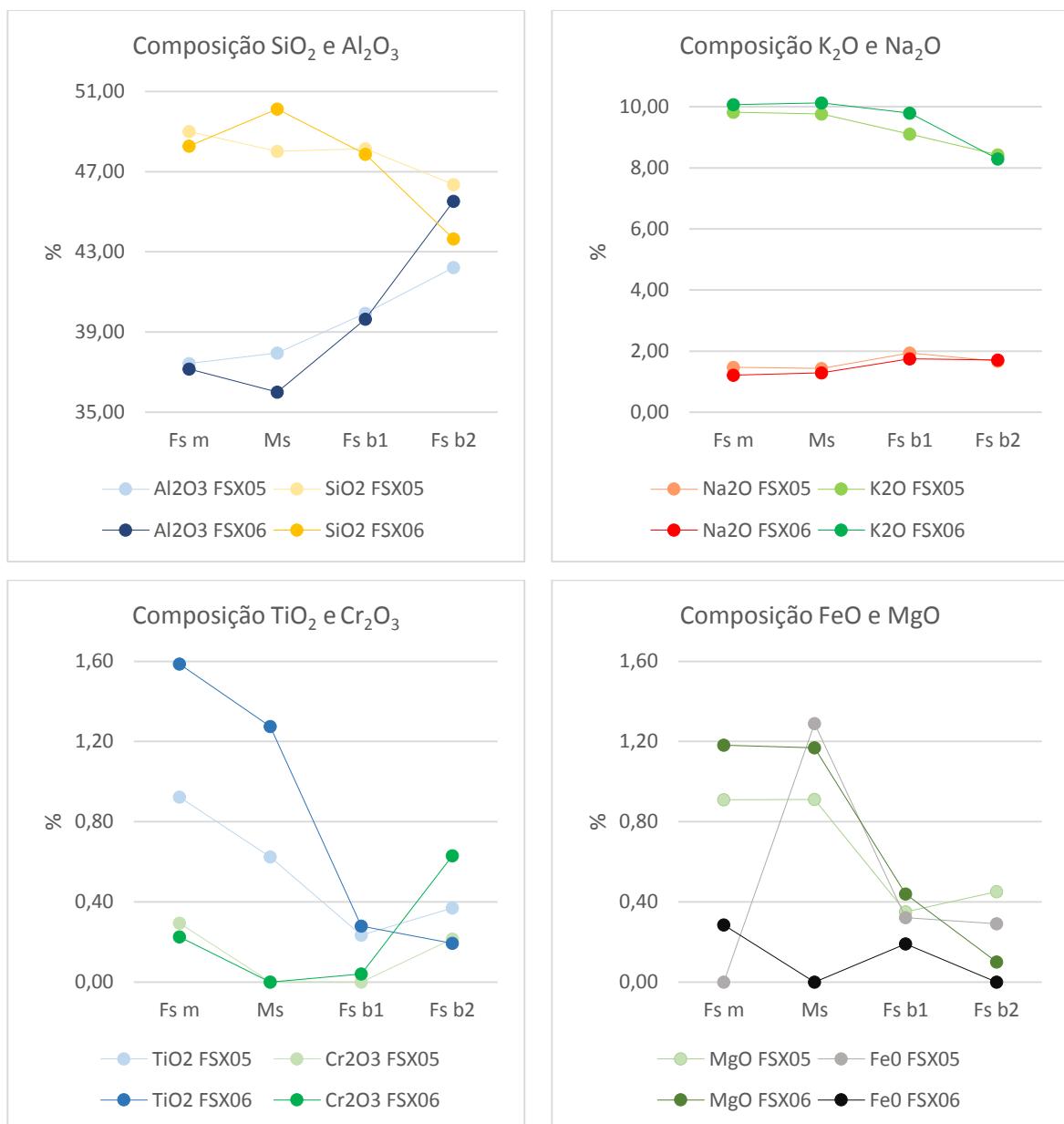


Figura 17. Gráfico da variação composicional de fuchsite e muscovita a partir do zonamento da matriz em direção ao coríndon das amostras FSX-05 e FSX-06. O eixo horizontal representa as diferentes fases minerais e a proximidade delas com relação ao porfiroblasto de coríndon, assim, da esquerda para direita, a proximidade aumenta.

A fuchsite se enriquece em alumínio quanto mais próxima ao coríndon, enquanto o teor de sílica diminui. O potássio diminui em direção ao coríndon e o sódio aumenta. O titânio e o magnésio têm comportamento semelhante, porém o alto conteúdo de titânio na matriz é resultado dos pequenos cristais de rutilo espalhados pela fuchsite, que a deixa com o aspecto “sujo” descrito na petrografia. Na fuchsite da borda do coríndon, estas inclusões de rutilo não ocorrem, então, provavelmente o titânio é derivado da própria fuchsite.

O crômio tem um comportamento variado, mas deve-se levar em conta que a porcentagem do elemento é muito pequena (traço), no limite de detecção do MEV. Pode-se observar que na muscovita o crômio é ausente, a fuchsite da matriz possui pequena quantidade e um dos cristais de fuchsite adjacentes ao coríndon (Fsb2) tem alto conteúdo de crômio, por outro lado a fuchsite da borda (Fsb1) não tem um teor significativo detectado. O ferro mostra-se com um comportamento mais aleatório, possivelmente resultado de percolação de óxido e hidróxido de ferro, que pode ser observado em amostra de mão e na petrografia, principalmente na FSX-05.

#### Coríndon

O coríndon possui uma coloração homogênea, em amostra de mão, na microscopia óptica e na imagem produzida pelo MEV. Análises de óxidos apresentadas no gráfico da Figura 18 mostram que os ambos os cristais possuem composição semelhante, diferente do que ocorre na FSX-03, onde o coríndon apresenta heterogeneidade composicional (Fig. 15).



Figura 18. Gráficos com a composição do coríndon, obtidos pela análise EDS das amostras FSX-05 e FSX-06.

a) Composição total do coríndon; b) Detalhe para os elementos menores na composição.

## Outros minerais

O rutilo, assim como o coríndon, tem cerca de 0,3% de crômio em sua estrutura. A cianita ocorre em ambas as amostras, mas apenas na FSX-05 em quantidade expressiva, nesta amostra ela possui pouca variação composicional e em apenas uma das análises foi obtido crômio.

### 6.3. Difração de Raios X

Na análise, por difração de raios X, da amostra A01 (fuchsite xisto) foi obtido o difratograma apresentado na Figura 19. Os índices de cela calculados no software CelRef estão apresentados na Tabela 5, com os dados de referência para a muscovita  $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$  utilizados na interpretação de fases presentes pelo software DIFRAC.EVA.

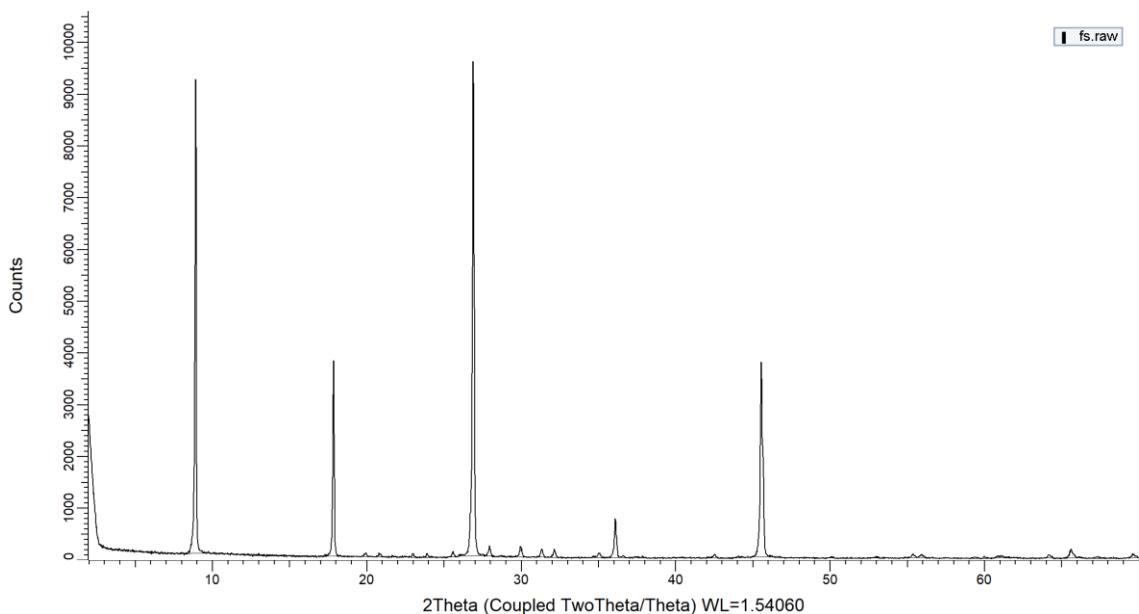


Figura 19. Difratograma de raios X da amostra A01 (fuchsite xisto), os picos afirmam a presença de uma única fase mineral (fuchsite).

Tabela 5. Parâmetros de cela referência para muscovita.

	Fuchsite (deste trabalho)	Muscovita
<b>Sistema cristalino</b>	Monoclínico	Monoclínico
<b>Grupo espacial</b>	C/2c (15)	C/2c (15)
<b>Vol. (A<sup>3</sup>)</b>	928,4	934,9
<b>a (A)</b>	5,1854	5,1900
<b>b (A)</b>	8,9894	9,0300
<b>c (A)</b>	20,0179	20,050
<b>a/b</b>	0,57683	0,57475
<b>c/b</b>	2,22684	2,22038
<b><math>\alpha</math></b>	90	90
<b><math>\beta</math></b>	95,740	95,77
<b><math>\gamma</math></b>	90	90
<b>R(%)</b>	3,7	

Com os parâmetros de cela obtidos, observa-se que a fuchsita é cristalográficamente semelhante a muscovita. Todos os eixos (a, b e c) e os ângulos ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ) da cela da fuchsita não possuem uma variação significativa comparado com o mineral sem o crômio. As proporções dos eixos continuam constantes, variando apenas o volume da cela, que é um pouco menor na fuchsita.

#### 6.4. Espectroscopia UV/Visível

A cor de uma gema, ou qualquer outro objeto, é resultado da interação da luz com o material, esta interação gera diferentes fenômenos como refletância, refração, difração, espalhamento, absorbância e transmitância. Segundo Sinha e Mishra (2015), o fenômeno mais decisivo para a resultante da cor de uma gema é a absorbância, que se refere à capacidade de um material em absorver radiações em frequências específicas devido ao arranjo atômico do material.

Coríndon e muscovita são minerais alocromáticos. A cor destes minerais é dada pela substituição dos elementos correspondentes à estrutura cristalina do mineral, por elementos traços, pertencentes ao chamados metais de transição, como ferro (Fe), crômio (Cr), titânio (Ti), vanádio (V), manganês (Mn), cobre (Cu), níquel (Ni) e cobalto (Co), e estas impurezas relacionam-se com a origem do mineral. O elemento traço que resulta na cor do rubi e da fuchsita é o crômio, conferindo aos minerais a cor vermelha e verde, respectivamente.

Em ambos os minerais, quando o  $\text{Cr}^{+3}$  substitui o  $\text{Al}^{+3}$  em coordenação octaédrica, ele fica confinado em um sítio menor que o ideal para seu tamanho, desta forma, se o campo cristalino for tipicamente forte para o íon permanecer no estado excitado de mais baixa energia, haverá uma luminescência vermelha, enquanto em campos mais fracos, a luminescência ocorre no campo do espectro que corresponde ao comprimento de onda mais baixo (verde). Assim, segundo Graf *et al.* (2005) a luminescência pode ser um indicador confiável das propriedades estruturais de um mineral quando se compara o crômio hospedado em diferentes arranjos cristalográficos.

Exemplos importantes da influência do crômio em gemas, além do rubi, temos a esmeralda e a alexandrita. As cores destas gemas são diferentes devido às particularidades cristalográficas destes minerais, como a distância entre o crômio e os oxigênios vizinhos ou a geometria do cristal, que interferem nas ligações eletrostáticas dos íons (Fritsch e Rossman, 1987). Para a esmeralda, o campo cristalino é considerado de baixa energia, enquanto para o rubi de alta. A alexandrita possui uma particularidade, seu campo cristalino tem força intermediária entre o coríndon e o berilo, o que gera a absorção preferencial de bandas dependendo da fonte de luz incidente (Fritsch e Rossman, 1987) e isto gera o efeito da mudança de cor (variação da cor entre o verde e o vermelho dependendo do espectro da fonte de luz).

#### 6.4.1. Fuchsita

A fuchsita foi analisada em diferentes amostras. A medida da A06 foi obtida com palhetas do mineral, a FSX-01 foi analisada a seção delgada, enquanto na FSX-06, uma fatia fina da amostra. O aumento da espessura da amostra, dificulta a passagem da luz, consequentemente a absorbância aumenta. A variação da posição das amostras no eixo de absorbância relaciona-se a este fato, o mesmo ocorre para o rubi.

Na Figura 20 é apresentado os espectros da fuchsita. As amostras possuem um comportamento semelhante. Ocorre uma pequena absorbância entre 420-500 nm (azul), principalmente na A06 e FSX-01, e em 500-670 nm (amarelo ao vermelho) em todas as amostras. De forma sutil, entre 674-684 nm, ocorre um patamar no espectro.

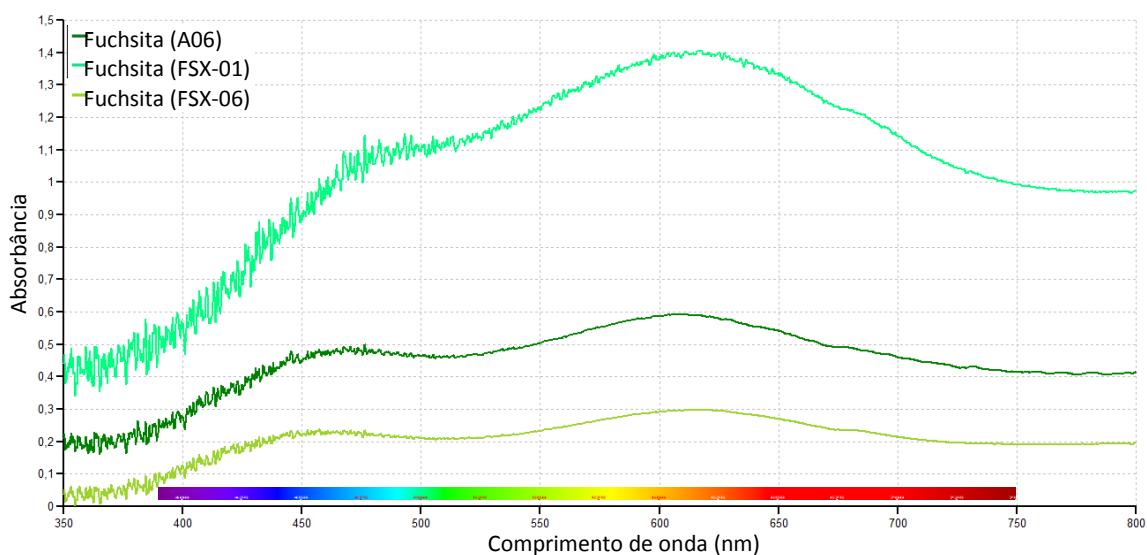


Figura 20. Espectrograma da fuchsita das amostras A06, FSX-01 e FSX-06.

Foram comparadas duas palhetas de muscovita de cor rosa e de cor verde das amostras da Figura 21. Na Figura 22, a linha rosa é o espectro da “fuchsita-rosa” (nome comercial), ela ocorre em um micaxisto composto apenas por muscovita de cor rosa, com estrutura xistosa e granulação média (Fig. 21a). A linha verde escura é a mica verde de granulação muito grossa (Fig. 21b).

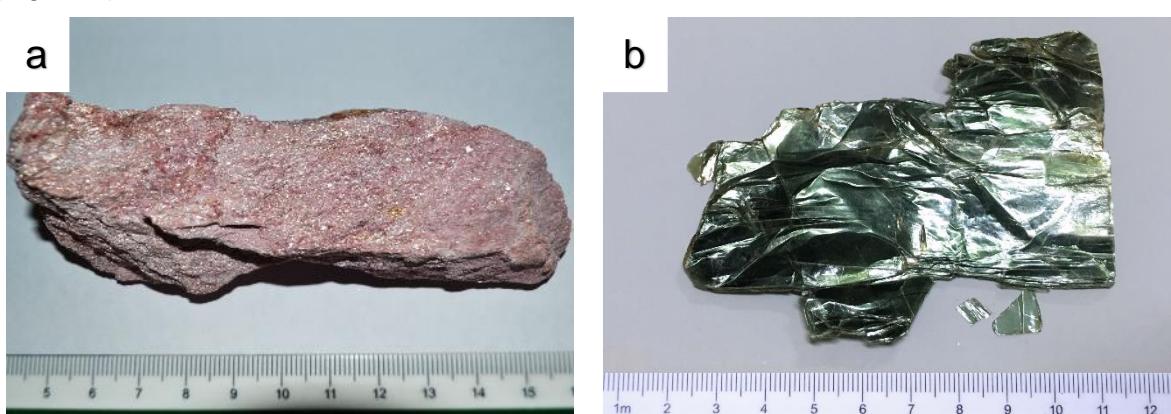


Figura 21. Amostras analisadas apenas na espectroscopia UV/visível. a) “Fuchsita Rosa”; b) Mica verde.

A partir de 450 nm, a fuchsite rosa não possui semelhança com a amostra A06 (fuchsite), enquanto a mica verde se diferencia da fuchsite em todo espectro.

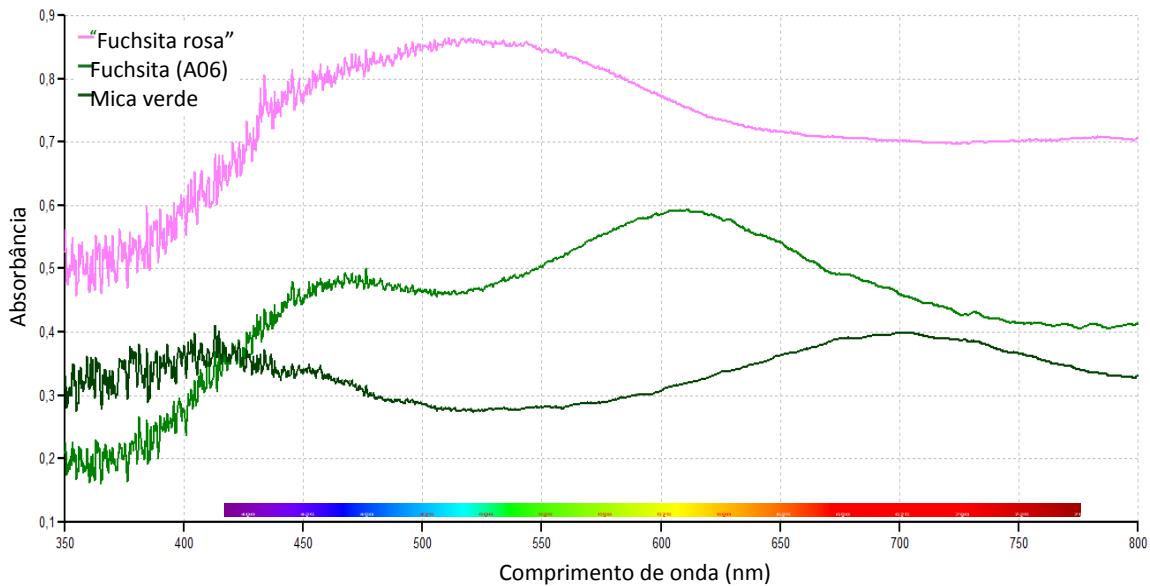


Figura 22. Espectrograma de palhetas de muscovita de cores diferentes (A06, ‘fuchsite rosa’ e mica verde).

#### 6.4.2. Rubi

O espectro do rubi brasileiro foi medido nas seções delgadas FSX-02 e FSX-03, enquanto o da Índia nas seções delgadas FSX-04, FSX-05 e FSX-06 e uma fina seção do mineral. As análises são apresentadas na Figura 23.

A feição mais característica no espectrograma é o pico negativo de absorbância em 694 nm, típico desta gema, referente exatamente à luminescência gerada pelo crômio, que é responsável por sua utilização na produção de lasers. Entre 500-600 nm as duas amostras de rubi possuem as maiores absorbâncias. As amostras variam apenas entre 300-450 nm na região do azul-violeta, o que pode se relacionar a cor mais violeta do rubi brasileiro.

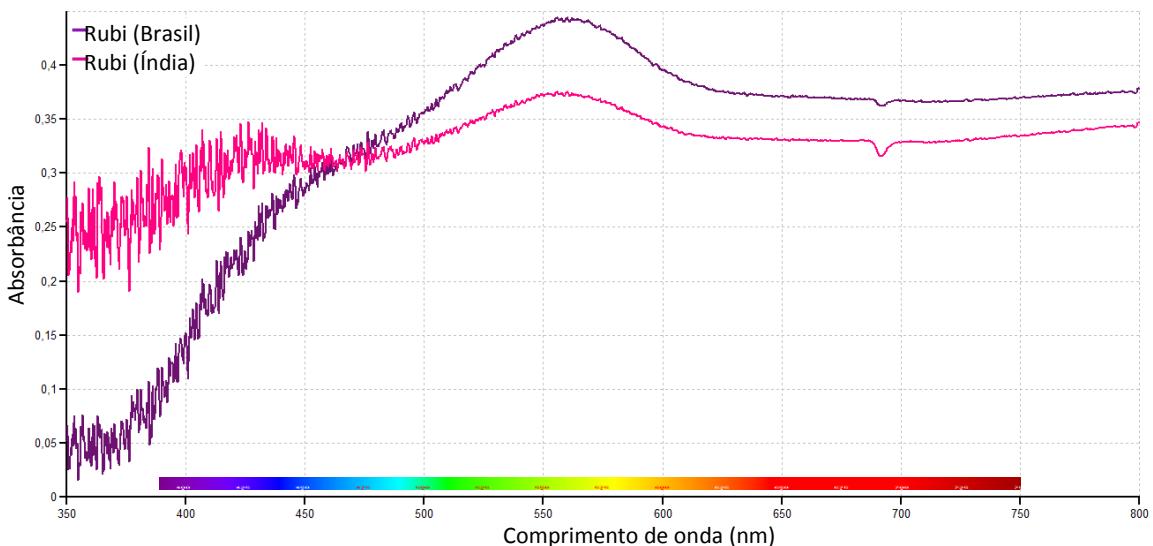


Figura 23. Espectrograma do rubi em seções delgadas.

A Figura 24 mostra os cristais de rubi analisados em seções delgadas e uma amostra de rubi pouco espessa (a luz atravessa o mineral). A característica de absorção do violeta ao azul passa a ser semelhante ao observado no coríndon da Bahia, isto sugere que a absorção dessa porção do espectro esteja mais relacionada ao aumento da opacidade do mineral (para a amostra da Índia, devido ao aumento da espessura, enquanto para o coríndon da Bahia, por possuir menor transparência).

Como aspecto gemológico, é importante destacar que o rubi de ambas as procedências possui uma forte fluorescência (vermelha) quando exposto à luz UV.

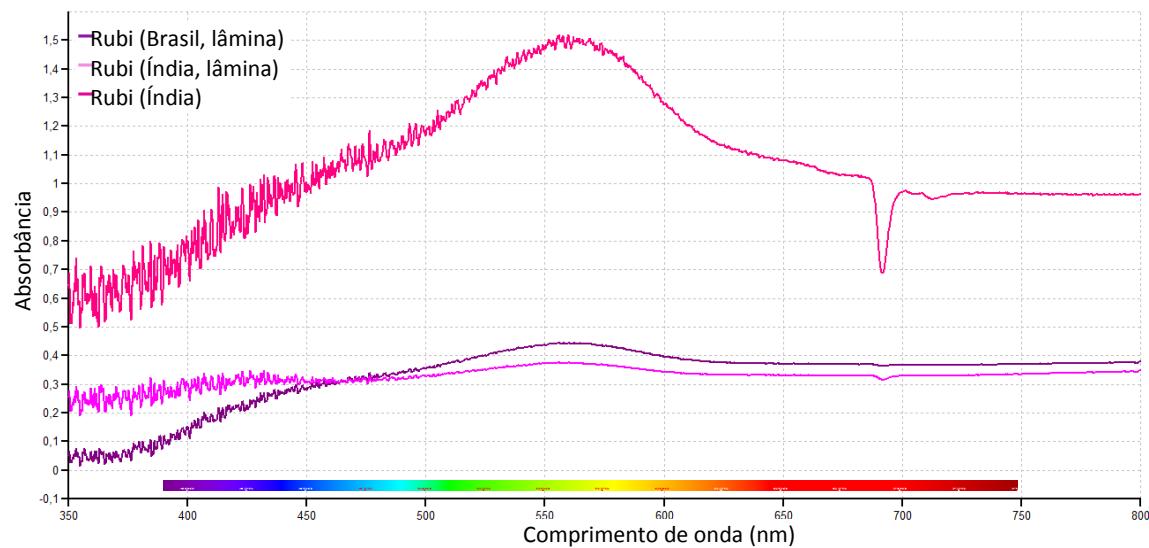


Figura 24. Espectrograma do rubi. Observa-se que as bandas e picos de absorbância se tornam mais definidas, com o pico em 694 nm e 500-600 nm mais destacados.

## 7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com os dados obtidos das amostras estudadas e também com as referências bibliográficas citadas, foram analisadas e discutidas conjuntamente as informações, possibilitando entender melhor e atingir os objetivos propostos.

### 7.1. Petrografia e Microscopia Eletrônica de Varredura

#### 7.1.1. Conjunto 1: Fuchsita xistos do Brasil

O crômio pode ser incorporado pela muscovita em condições metamórficas de baixo grau, como é observado na rocha FSX-01. Nesta rocha, descrita como filito, a fuchsita contém cerca de 2% de crômio, quase quatro vezes mais que as análises obtidas em outras amostras, o que explica a cor mais escura (verde) da rocha e nos cristais da seção delgada.

Como rocha, o fuchsita filito, se assemelha composicionalmente ao coríndon-feldspato-fuchsita xisto com biotita da Bahia devido ao excesso em sílica e ao conteúdo significativo de ferro, magnésio, potássio e alumínio. O  $TiO_2$  representa 0,8% da rocha, correspondendo aos pequenos agregados de rutilo dispersos na fuchsita, mas possivelmente ocorra uma quantidade traço na própria composição da fuchsita.

Rutilo não é observado em amostra de mão nas FSX-01 e A01, mas o mineral é visto ao microscópio óptico (na FSX-01) como pequenos concentrados com granulação reduzida (menores que 50  $\mu m$ ). Nas amostras mais grossas (xisto) e com coríndon, o rutilo passa a ser uma fase de destaque na rocha, com até 1 mm. Esta relação mostra que ocorre o crescimento do rutilo durante o metamorfismo.

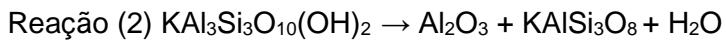
Nos xistos brasileiros com rubi, a associação do coríndon com as porções feldspáticas sugere que ambos são produtos da mesma reação de formação. Os agregados de sillimanita orientados na foliação também parecem possuir uma relação genética com os feldspatos. Dentre as possibilidades de reação para a formação destes minerais, a que melhor se adequa a paragênese (sillimanita, coríndon e feldspato) é a quebra da muscovita.

A sequência de formação sugerida para os rubi-feldspato-fuchsita xistos (FSX-02 e FSX-03) na petrografia está na Figura 25.

Minerais	Foliação principal	Pico Metamórfico	Tardio
Fuchsita			
Biotita			
Rutilo			
Sillimanita			
Coríndon			
Feldspatos			Alteração sódica

Figura 25. Sequência de formação sugerida para o rubi-feldspato-fuchsita xisto.

Inicialmente a muscovita reage com o quartzo presente na rocha, Reação (3). Com o aumento do grau metamórfico, a muscovita se quebra em condições de insaturação em sílica, Reação (2), como descritas por Velde (1966), Chatterjee e Johannes (1974) e Ferguson e Al-Ameen (1985).



Muscovita → coríndon + feldspato potássico + água



Muscovita + quartzo → aluminossilicato + feldspato potássico + água

Segundo Ferguson e Al-Ameen (1985), em um contexto de metamorfismo de contato, a redução da fugacidade de  $\text{H}_2\text{O}$ , assim como a perda de  $\text{OH}^-$  e  $\text{K}^+$  no sistema, deslocam as reações de quebra da muscovita para pressões e temperaturas menores. Talvez o consumo parcial da muscovita esteja relacionada a mudanças nestes fatores durante o metamorfismo, possibilitando a geração do coríndon e a preservação de parte da muscovita, porém a presença de sillimanita implica em condições metamórficas, no mínimo, em fácies anfibolito (semelhante ao possível contexto geológico das rochas), descartando a possibilidade de um metamorfismo de contato, mas a reação ainda pode ter sido deslocada por uma abertura do sistema durante o metamorfismo regional.

O contato serrilhado do coríndon com a fuchsita mostra uma textura de transformação de fases (Fig. 8c, d e e). Na Figura 8c também evidencia-se o feldspato com contato muito irregular com esta fuchsita neoformada. A Reação (12) é inversa à reação de formação do coríndon, ocorrendo no retrometamorfismo (com entrada de água) e explica as características texturais observadas nas fases envolvidas.



Coríndon ( $\text{Cr}^{+3}$ ) + feldspato potássico + água → muscovita ( $\text{Cr}^{+3}$ )

Como apresentado nas análises químicas, a fuchsita possui uma variação composicional significativa dentro de um mesmo cristal e não mostra uma relação clara que comprove as hipóteses de formação. Apenas uma fuchsita mostra aumento no teor de alumínio e crômio, com redução de sílica, magnésio e ferro, comparada com as demais análises EDS. Nesta amostra pontual, a fuchsita é adjacente ao coríndon e sua textura supõe que o mineral foi formado a partir do coríndon.

A reação de hidratação só ocorre no contato entre os minerais envolvidos na Reação (12). A formação de sillimanita retrometamórfica sugere uma perda do potássio ou enriquecimento local em alumínio, provocando o desenvolvimento do aluminossilicato.

Sobre o rubi, nos gráficos da Figura 15, observa-se a relação do aumento de sílica e potássio com a proximidade da borda do mineral, talvez relacionado a difusão dos elementos para a transformação do coríndon para a fuchsita ou sillimanita, apesar que no caso da análise Crn3, há a possibilidade de parte da fuchsita ter sido analisada junto ao coríndon. O teor de crômio mostra-se bem heterogêneo, assim como o ferro, ambos são elementos cromóforos, o que pode ser relacionado a variação de cor (manchas) vista no rubi, principalmente no microscópio óptico. O titânio não é absorvido pelo coríndon nesta rocha, sendo incorporado em fase própria (rutilo).

O rutilo compõe cerca de 5% destas rochas. Há uma relação entre o aumento da granulação da matriz (fuchsita) e o maior tamanho do rutilo, e quando próximo às fases geradas pela quebra do filossilicato, o rutilo é ainda maior. Talvez a fuchsita nestes xistos contenham o titânio, assim como o crômio. Quando a mica se quebra, o crômio é incorporado no coríndon, e o titânio tende a desenvolver rutilo, o que gera as feições observadas (concentrações de rutilo maior próximo ao coríndon).

Quanto aos bolsões de feldspato, as bordas de composição mais sódica sugerem uma alteração hidrotermal substituindo parte do feldspato potássico por albita/oligoclásio.

#### 7.1.2. Conjunto 2: Rubi-fuchsita xistos da Índia

Segundo Raith e Schumacher (2012), os rubi-fuchsita xistos ocorrem em contexto metamórfico de fácies anfibolito com temperaturas de 700-750 °C e pressões entre 8-10 kbar.

Para as rochas indianas, interpreta-se que o coríndon se forma pela Reação (2) de quebra da muscovita, assim como descrito para os fuchsita xistos com rubi do Brasil. Ambos os conjuntos são rochas altamente aluminosas, mas a ausência de aluminossilicatos anteriores à formação de coríndon nos fuchsita xistos da Índia, indica um protólito com menos sílica que as rochas brasileiras analisadas, uma vez que a Reação (3) não ocorreu.

Na Figura 26 está apresentada a sequência de formação mineral para as amostras analisadas ao microscópio óptico.

Minerais	Foliação principal	Pico Metamórfico	Tardio (retrometamórfico)
<b>Fuchsita</b>			
<b>Rutilo</b>			
<b>Coríndon</b>			
<b>Feldspatos</b>			
<b>Muscovita</b>			
<b>Quartzo</b>			
<b>Cianita</b>			

Figura 26. Sequência de formação sugerida para as amostras da Índia. As amostras se diferenciam no estágio tardio, em que, na FSX-06 não ocorre a formação de quartzo. Os trechos mais claros são inferidos.

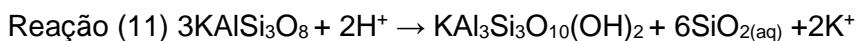
Nas amostras deste conjunto é ausente a porção feldspática, porém ocorrem concentrações de muscovita associadas ao coríndon. Outra característica interessante destacada na petrografia é o zonamento bem definido, concêntrico, ao redor dos cristais de coríndon (principalmente quando as rochas não possuem deformação tectônica após a formação do mineral). Tal zonamento não é claro e não está bem desenvolvido nas amostras brasileiras, onde o feldspato ocorre em bolsões irregulares na rocha e a fuchsita neoformada é semelhante à matriz.

Todas as amostras, exceto a B01, possuem os porfiroblastos de coríndon com contato serrilhado com a fuchsita (ou de cianita) adjacente a ele. O aspecto mais limpo desta fuchsita (Fig. 9c, 10c, d e e), estrutura radial ao coríndon (Fig. 10c), e a cianita ocorrendo somente próxima aos porfiroblastos, reforçam que estas fases minerais se formaram pelo consumo do coríndon (durante o retrometamorfismo).

Pela análise gráfica da composição das micas (Fig. 17) é evidente a variação química entre os minerais de diferentes regiões, corroborando com a hipótese de que foram geradas em condições e processos diferentes.

Os fatos apresentados indicam que a reação envolvendo o rubi indiano diferencia-se das amostras brasileiras. No conjunto 2, a substituição do coríndon é regular e ocorre por toda a rocha, independente da proximidade com porções com muscovita (possível produto da alteração do feldspato). Desta forma, propõem-se que as reações ocorram em etapas em um sistema aberto, levando a perda de elementos (somente com troca de água, a ausência do feldspato representaria o consumo total do coríndon para fuchsita, que não ocorre).

No pico metamórfico destas rochas, a paragênese final seria composta por coríndon, feldspato e fuchsita (Fig. 27I). No retrometamorfismo, a primeira reação corresponde a quebra do feldspato, pela hidratação da rocha, produzindo muscovita e excesso em sílica e potássio no sistema, que passam a compor o fluido como na Reação (11).



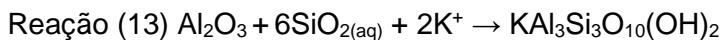
Feldspato potássico + água → muscovita + sílica<sub>(aq)</sub> + potássio

A liberação de SiO<sub>2</sub> (aq) e K<sup>+</sup> para o fluido faz com que o coríndon reaja (Reações 13 e 14) e forme as novas fases minerais, dependendo da conservação da proporção entre os elementos neste fluido, sendo que:

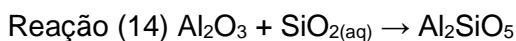
- Se todo potássio e silício reagem com o coríndon, ocorre a substituição total do mineral para fuchsita;
- Se o potássio e o silício forem parcialmente retirados do sistema, forma-se a coroa de fuchsita (Fig. 27II e II');

- Se o potássio sair do sistema pelo fluido, e a sílica permanecer na rocha, há excesso de sílica, levando a formação de cianita sobre o coríndon, até isolá-lo do fluido (Fig. 27III e III'); e,
- Havendo perda total do silício e do potássio, o zonamento de muscovita teria contato direto com o coríndon, sem a borda de fuchsita ou cianita.

Desta forma, a atividade de K e Si determina a fase mineral a ser formada. As condições extremas (primeira e a última situação) não ocorrem nas amostras descritas, sendo mais provável a ocorrência das hipóteses intermediárias.



Coríndon + sílica<sub>(aq)</sub> + potássio → muscovita



Coríndon + sílica<sub>(aq)</sub> → aluminossilicato

A principal evidência que ajuda a sustentar esta hipótese, é a regularidade da espessura da fuchsita ao redor do coríndon, independente da presença ou ausência dos bolsões de muscovita, o que mostra uma reação ocorrendo homogeneamente por toda a rocha, podendo ser explicada somente por uma alteração por fluido.

Em condições metamórficas da crosta, o coríndon e quartzo são instáveis (Harlov e Milke, 2002). A coroa de uma fase estável sobre o coríndon evita que todo o cristal seja consumido e parte da sílica continue na rocha. A presença de cristais de quartzo intersticiais somente na borda de muscovita mostra que a provável origem da sílica seja da decomposição da fase mineral preexistente nesta região, o que contribui para a veracidade da hipótese.

No caso das amostras B04 (cianita-quartzo-fuchsita xisto com rubi) e B05 (cianita-fuchsita xisto silificado com rubi), o teor de sílica é mais alto que o esperado para a reação, neste caso é necessário a entrada de sílica no sistema. A cianita dispersa pela matriz (sem conexão com rubi), pode ter se formada pelo processo de retirado do potássio por um fluido rico em sílica como sugere Schultze (2018), mas a existência do rubi mostra que o protólito era insaturado em sílica, como as demais, e o excesso em quartzo é tardio.

Comparado com trabalhos anteriores, as hipóteses se divergem em partes. Com relação a Raith e Schumacher (2012), a morfologia observada em diversos exemplares descritos deste trabalho garantem que a borda de muscovita com quartzo não é produto de uma sombra se pressão gerado pelo cristal de coríndon e a precipitação do fluido. As novas hipóteses apresentadas não necessitam de entrada de sílica no sistema, visto que o elemento, assim como o potássio, é derivado de um mineral preexistente (feldspato potássico). Concorda-se apenas que a formação de cianita ou fuchsita, é derivada da atividade de sílica e potássio no fluido.

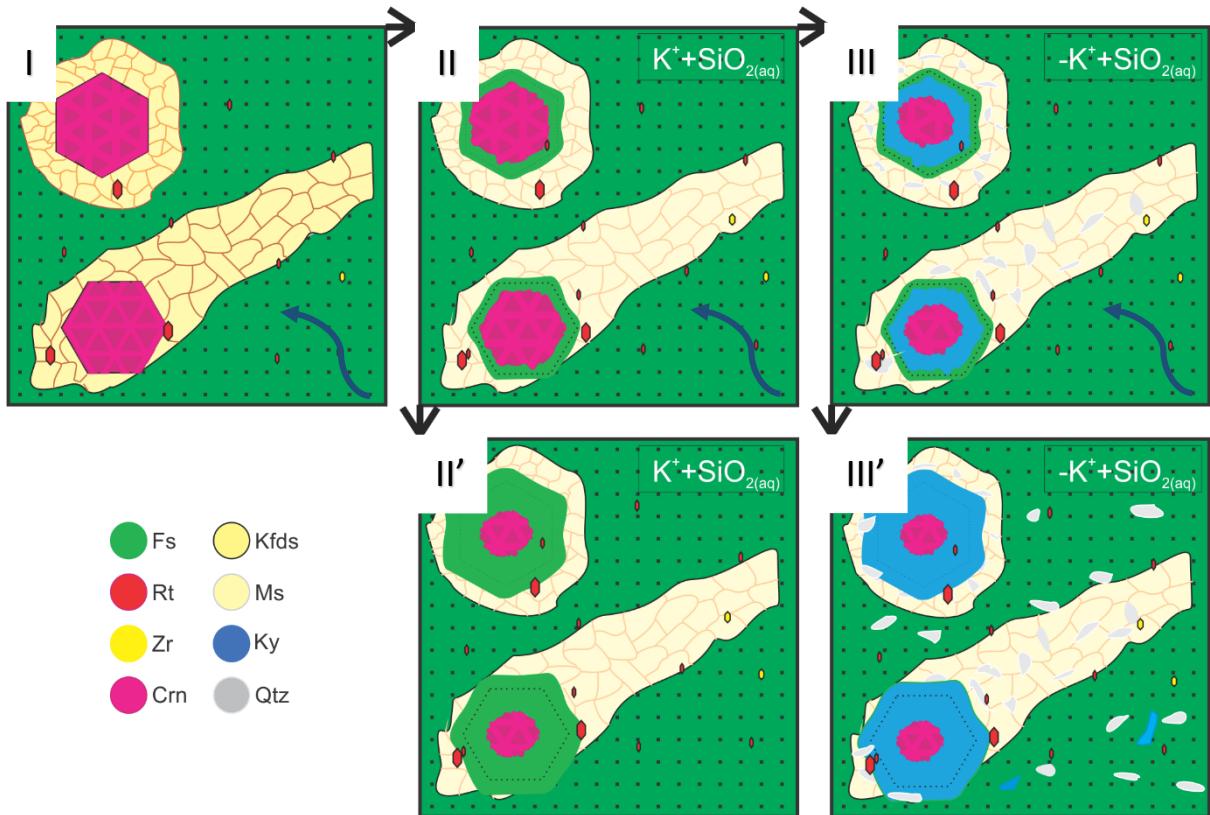


Figura 27. Esquema do consumo do coríndon. Linha tracejada representa o antigo contorno do coríndon e a seta azul, entrada de fluido na rocha. I) Rocha após o pico metamórfico, composta por fuchsite, coríndon, feldspato potássico, rutilo e zircão, observa-se a granulação maior dos cristais de rutilo próximos ao coríndon. II) Influxo de fluido fazendo com que os feldspatos sejam transformados em muscovita, enriquecendo o fluido em sílica e potássio e a preservação destes geram a fuchsite ao redor do coríndon. II') Permanência do fluido com a mesma proporção Si/K inicial, continua a formação de fuchsite. III) Saída de potássio do sistema (relativa à proporção Si/K) provocando a dissolução do coríndon e precipitação de cianita, além da precipitação de quartzo. III') Saturação da rocha em quartzo e dissolução quase total do coríndon e crescimento de cianita na matriz, a presença elevada de quartzo na matriz sugere contribuição externa para aumento de sílica ou saída de potássio da matriz. O bolsão de muscovita foi representado de duas formas diferentes para mostrar que a alteração independe da morfologia desta porção.

Os dados obtidos neste trabalho são semelhantes com as análises feitas por Schultze (2018), apresentando também a variação dos elementos da matriz em direção ao coríndon. Além disso, as várias análises de coríndon feitas por Schultze (2018) mostram que o rubi da Índia é mais homogêneo, diferente do que é visto nos cristais brasileiros.

Schultze (2018) propõem que a formação da cianita ocorra pela ação de um fluido retirando o potássio da rocha, levando a quebra da muscovita/fuchsite pela perda do elemento. Esta afirmação não se mostra completamente aceitável, uma vez que, pelas observações texturais observadas na petrografia, fica claro que a formação da cianita é produto do consumo do coríndon (contatos serrilhados) e não da fuchsite (contatos mais regulares). Por outro lado, não explica de forma adequada a presença da muscovita na rocha,

ou a diferença entre a fuchsita da matriz e a neoformada, aspectos que foram melhor explicados pelas hipóteses levantadas neste trabalho.

#### 7.1.3. *Conjunto 3: Quartzitos com fuchsita*

Das amostras de quartzitos analisadas, as mais favoráveis para gemologia são as amostras semelhantes às FSQ-02, FSQ-03 e FSQ-04, devido principalmente à cor. FSQ-02 e FSQ-03 podem ser usadas como quartzo aventurino, enquanto FSQ-04, devido a sua melhor cristalinidade e cor intensa próxima a verde esmeralda, pode servir de imitação para esta variedade gemológica de berilo. Nestas três amostras, a fuchsita corresponde a menos de 4% da rocha e apresenta distribuição regular e orientada entre os cristais de quartzo.

A derivação da cor por quantidades baixas de material micáceo resulta em uma maior resistência mecânica do material, fazendo com que seja adequada à utilização na construção civil, como rocha ornamental.

A relação da cor com o teor de crômio é proporcional, quanto mais crômio, mais forte a cor do mineral. Levando isto em consideração, infere-se que a quantidade de crômio na fuchsita dos quartzitos é maior que nos xistos analisados. A cor da mica quando ocorre no quartzito é mais forte que nos xistos analisados, tanto no microscópio óptico, quanto na amostra de mão. Apesar da pequena quantidade de fuchsita nos quartzitos, a cor é mais intensa que nos xistos.

Uma amostra semelhante a FSQ-03, com composição química de fuchsita já analisada por Del Lama *et al.* (2001), o teor de crômio no mineral é de até 4,8%, enquanto que os xistos aqui analisados a fuchsita possui teor máximo de 2% (FSX-01). Isto mostra que o produto da cor mais forte nos quartzitos é devido ao teor de crômio maior na muscovita (mesmo sendo um mineral acessório na rocha) comparado com os xistos.

### 7.2. Difração de Raios X

Esperava-se que, assim como é citado nos trabalhos de Evsyunin *et al.* (1997), Brigatti *et al.* (2001) e Cardelli *et al.* (2003), que o crômio na fuchsita aumentasse a cela unitária, deformando os eixos a e b, principalmente. Esta deformação não foi observada nos dados obtidos para a fuchsita analisada. De forma geral, o crômio gera pouca distorção na estrutura do mineral, sendo necessário teores maiores para obter resultados em que a variação seja mais evidente (como na Cromofilita).

### 7.3. Espectroscopia UV/Visível

Para a fuchsita, Navas *et al.* (2004) obtém o espectrograma da Figura 28 e concluem que o patamar em 674-684 nm é causado pela transição dos elétrons do Cr<sup>+3</sup> do seu estado fundamental para seu estado excitado, assim como os outros dois picos de absorbância, no azul e no amarelo/vermelho. As análises EDS mostraram crômio nas amostras, ratificando

que o patamar observado no espectro de luminescência é devido a este elemento. Os diversos espectros em diferentes cristais de fuchsite (Fig. 20) mostram comportamento semelhantes ao que é visto na análise de Navas *et al.* (2004) (Fig. 28).

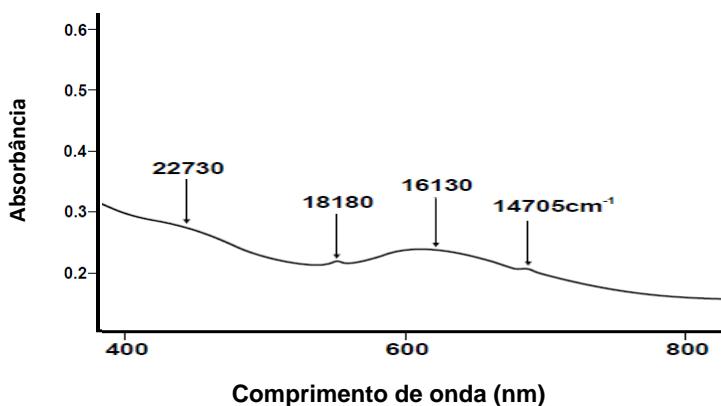


Figura 28. Espectrografo da fuchsite (Navas *et al.* 2004), indicando os picos e bandas gerados pela presença do crômio no mineral.

A “fuchsite rosa” e a mica verde não possuem o mesmo comportamento esperado para o Cr<sup>3+</sup> na estrutura da muscovita. No caso da “fuchsite rosa”, a análise semiquantitativa realizada via fluorescência de raios X (FRX) mostrou a presença de manganês, portanto, o nome mais apropriado ao mineral é Mn-muscovita ou alurgita. Segundo Graf *et al.* (2005), o Mn<sup>3+</sup> produz a cor vermelha/lavanda em minerais como turmalina e micas. A mica verde não foi analisada por FRX, mas seu espectro sugere que a cor seja produto do Fe<sup>2+</sup>.

No rubi, o pico negativo de absorbância em 694 nm é típico desta gema e é referente à luminescência gerada pelo Cr<sup>3+</sup>, que também provoca a banda de absorbância positiva em 500-600 nm (Sinha e Mishra, 2015) e a fluorescência do mineral sob radiação UV. A absorbância negativa em 694 nm é responsável pela utilização do rubi na produção de lasers.

A variação entre os espectros do rubi da Índia e do Brasil, na faixa 300-450 nm, pode ser relacionada à coloração mais violeta do rubi brasileiro, ou pela opacidade, uma vez que se observa um comportamento comum com a amostra indiana de maior espessura.

Nas análises EDS (Tab. 6) observa-se que o crômio é o mineral traço mais importante, seguido pelo ferro. A grande variação dos elementos cromóforos no rubi baiano é observada pela heterogeneidade da cor do rubi, e o conteúdo maior de ferro produz a cor mais violeta comparado ao rubi da Índia. O titânio é ausente no mineral.

Tabela 6. Teores de metais cromóforos em rubi dos fuchsite xistos (análises EDS). Ni, Mn, Co, Cu e V não foram encontrados.

Rubi	Cr	Fe	Ti
Bahia	0,23 - 1,03	0,50 - 0,90	-
Índia	0,23 - 0,34	0 - 0,23	-

## 8. USOS COMO ROCHAS ORNAMENTAIS OU MATERIAL GEMOLÓGICO

Por definição, rochas ornamentais são materiais que possuem propriedades físicas (sobretudo cor) que os permitem serem utilizados como material para revestimento interno e externo, acabamentos arquitetônicos, arte funerária, obras de arte, etc, enquanto gemas são os materiais que por sua beleza, raridade, e durabilidade, podem ser utilizados como adorno pessoal (Branco, 2008). Desta forma, ambas utilizações compartilham das mesmas características principais: beleza e durabilidade.

Santos *et al.* (2014) citam que o uso de rochas ornamentais na construção civil vem ganhando ênfase pela demanda por novos tipos de rochas exóticas, principalmente quartzitos e rochas calciossílicáticas, pelas várias tonalidades e texturas. A extração e o beneficiamento destas rochas requerem uma atenção especial devido a sua importância e valor de mercado.

Todas as rochas analisadas neste trabalho mostram grande potencial para a utilização em ambas as categorias, com algumas ressalvas devido à resistência física.

Para os materiais micáceos, o emprego como rocha ornamental é reduzido, ainda assim podem ser utilizados na produção de objetos delicados, como obras de arte (estátuas, obeliscos, esferas) e algumas gemas (cabochões), como pode ser observado com as rochas com rubi, fuchsita e cianita da Índia. Estas rochas começaram a ser exploradas recentemente, utilizadas como material gemológico e ornamental, e foram comercializadas pela primeira vez na Tucson Gem Show em 2002 (Quinn, 2004), tradicional feira de gemas nos Estados Unidos, e passaram a ser populares em feiras de minerais pelo mundo (Raith e Schumacher, 2012). Há ocorrências semelhantes em Zimbabwe (Davison, 2008 *apud* Milisenda, 2003), Wyoming (Davison, 2008 *apud* Hausel, 2002) e Brasil (Schultz-Guttler, 2005).

Composto basicamente por fuchsita, muscovita, cianita e rubi, a rocha é, por vez, confundido com o “rubi em zoisita” da Tanzânia (composto por zoisita, hornblenda e rubi).

No Brasil, Schultz-Guttler (2005) descreveu este material (Fig. 7c, d, e e f) como proveniente da Serra de Jacobina. Segundo este autor, até 2005 a produção da rocha com coríndon foi de aproximadamente 150 kg, mas o potencial geológico do depósito para a produção da gema pode ser maior.

O rubi destas rochas, tanto do Brasil, como da Índia, possui cor rosa a roxa, e se apresenta translúcido, principalmente devido à presença de geminações polissintéticas com bohemita, ou inclusões de rutilo, muscovita e por vez, sillimanita (como descrito na petrografia). Pela baixa transparência do rubi, é comum o mineral ser trabalhado junto com a matriz ou em cabochão (que pode apresentar asterismo).

Por serem raras as ocorrências de fuchsita xistos, análises de proveniência de coríndon muitas vezes não levam em conta estas rochas como potencial rocha fonte de rubi encontrado em depósitos secundários. As análises apresentadas neste trabalho mostram as características da variedade de coríndon, em que destacam-se: o crômio como principal elemento que produz a cor no mineral, com presença de ferro e ausência de titânio. As

inclusões como descritas no parágrafo anterior são normalmente de fuchsita/muscovita, rutilo, sillimanita e zircão. Rutilo, sillimanita e zircão também podem ocorrer como minerais pesados nos depósitos, enquanto fuchsita e os feldspatos são instáveis.

Apesar das várias ocorrências de rochas portadoras de fuchsita por todo sudeste e nordeste do Brasil, são poucas as localidades em que este material é explorado ou possui capacidade para esta finalidade (gemológica ou ornamental).

No mercado atual, os quartzitos verdes mais utilizados como rochas ornamentais são os quartzitos de São Thomé das Letras, Minas Gerais, comercializados como “Quartzito Luminária”, “Carranca” e “Carranquinha”, ocorrências que alguns autores relatam que a derivação da cor é devido ao  $Fe^{+2}$  na muscovita (fengita) e não do  $Cr^{+3}$ .

Outras rochas, novas no mercado, são denominadas de *Botanic Wave*, *Botanic Bordeaux*, *Botanic Green* e *Emerald Green* (Petrus Mineração), apresentados na Figura 29, e *Gaya Quartzito* (Marbrasa: mármores e granitos), e são realmente fuchsita quartzitos, de alta qualidade, provenientes de Campo Formoso (BA). São produtos considerados raros e excêntricos, muito apreciados internacionalmente, e com um alto valor agregado. Em Lajes (RN), o Quartzito Verde Esmeralda tem grande potencial para esta utilização, comprovado por Cavalcanti *et al.* (2009).

A análise petrográfica feita nos quartzitos mostra como a distribuição homogênea da fuchsita e do quartzo na amostra são importantes para a cor, e como a granulação do quartzo é relativo ao brilho da amostra, nas quais vemos que, em amostras com granulação maior, a rocha possui mais brilho e também maior transparência.

Desta forma, os quartzitos com fuchsita, principalmente os que possuem coloração mais homogênea, um verde intenso e com quartzo com granulação maior, são mais favoráveis para a gemologia, devido à transparência, brilho e cor, podendo até ser utilizado como imitação de esmeralda. Tais imitações já são comuns no mercado, e passam despercebidas em lotes de esmeraldas verdadeiras. Juchem *et al.* (2006) avaliaram um lote de esmeralda em que são encontrados alguns fuchsita quartzitos usados como imitação. Os autores mostram a semelhança destes materiais e como vendedores e compradores pouco experientes podem se equivocar com grande facilidade.

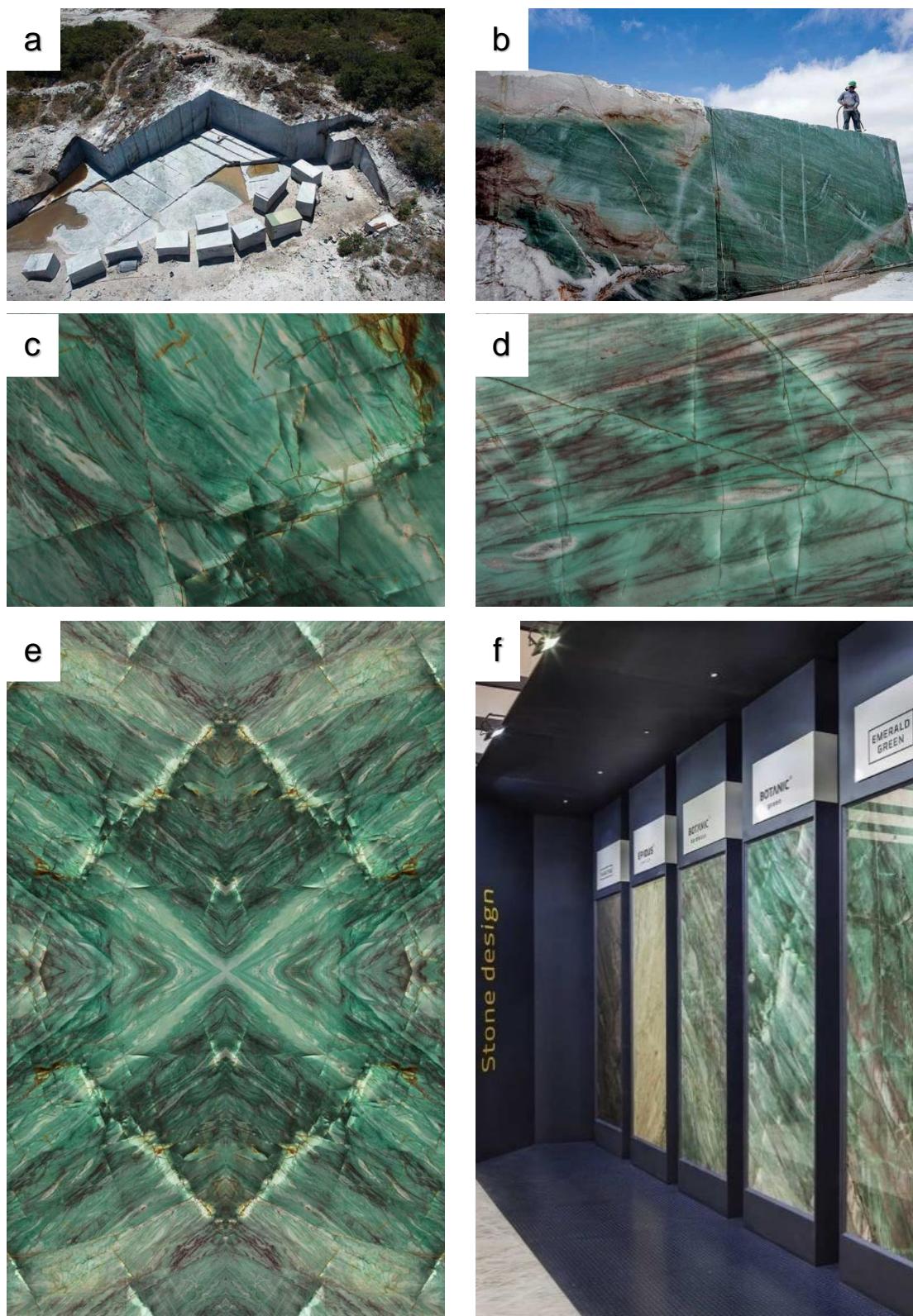


Figura 29. Quartzitos com fuchsite explorados em Campo Formoso (BA), pela Pettrus Mineração. a e b) Frente de lavra dos quartzitos para rocha ornamental; c, d e e) Quartzito verde mostrado no catálogo de vendas da empresa Pettrus Mineração; f) Exposição de rochas ornamentais, as três mais próximas são os quartzitos verdes. Fonte: <http://pettrusmineracao.com.br/>

## 9. CONCLUSÃO

Rochas com fuchsita são apreciadas na área de gemologia e rochas ornamentais devido ao seu aspecto estético. Para a geologia, mostram-se interessantes, mas são pouco compreendidas. Assim, este trabalho apresentou uma compilação de hipóteses propostas para a formação de rochas com fuchsita, citando as ocorrências no sudeste e nordeste do Brasil e as possíveis áreas para a exploração desta rocha como material gemológico ou ornamental. Foi feito também uma análise petrográfica da geração e consumo do coríndon em sistemas muito aluminosos representados pelos fuchsita xistos, e como é gerada a cor em quartzitos verdes.

O levantamento das ocorrências mostrou-se coerente com as hipóteses sugeridas na literatura em que o contexto geológico de destaque para a formação destas rochas são sequências metavulcanossedimentares arqueanas à paleoproterozoicas, porém a hipótese de formação individual não é possível de ser inferida sem um trabalho detalhado sobre a ocorrência.

Os quartzitos com fuchsita são mais comuns que os xistos monominerálicos (compostos apenas por fuchsita), e algumas das regiões listadas mostram um potencial contexto geológico para a exploração de rochas ornamentais no Brasil, como na Serra de Jacobina e a região nas proximidades de Vitória da Conquista (BA), Complexo Caicó (RN), Quadrilátero Ferrífero (MG), entre outras localidades.

A petrografia e MEV nos fuchsita xistos valida a hipótese de que pela quebra da muscovita são gerados coríndon e feldspato potássico em fácie anfibolito. As amostras brasileiras, com presença de sillimanita, mostram que a primeira reação envolvendo muscovita ocorre com quartzo, após o consumo de total do quartzo, e em temperaturas maiores, formou-se o coríndon.

A trajetória retrometamórfica inferida para as rochas brasileiras com rubi consiste na entrada de água no sistema, fazendo com que o coríndon reaja com os feldspatos (adjacentes a ele) produzindo fuchsita. A ocorrência de sillimanita no retrometamorfismo sugere aumento da atividade de sílica, provavelmente devido à perda de álcalis. No caso da Índia, os bolsões com muscovita e quartzo são produtos da hidratação do feldspato (que são preservados nas amostras brasileiras), a transformação do feldspato para muscovita gerou a liberação de sílica e potássio para o fluido, aumentando a solubilidade do coríndon e permitindo a formação de fuchsita e cianita.

Apesar das discordâncias com os trabalhos anteriores com relação à trajetória metamórfica destas rochas, a comparação dos fuchsita xistos com coríndon do Brasil e da Índia, mostraram muitas semelhanças mineralógicas e texturais. As reações metamórficas inferidas para ambas as rochas conseguem explicar as texturas observadas de forma mais aceitável que as outras propostas.

No aspecto de utilização para rochas ornamentais, conclui-se que a cor de quartzitos verdes é resultado de pequenas quantidades (<5%) de fuchsita entre os cristais de quartzo. Isto permite uma maior resistência comparada com quartzitos mais micáceos. No mercado atual, estas rochas ganham destaque pelas texturas (no ponto de vista estético), que as tornam mais individuais.

Na gemologia, os quartzitos verdes, também denominados de aventurinos, mostram-se favoráveis para imitações de esmeraldas quando homogêneos e com granulação maior (que aumenta a transparência e o brilho da gema). Os xistos com fuchsita podem ser aproveitados em peças mais delicadas e o coríndon nestas rochas são favoráveis para serem utilizados junto à matriz, pelo contraste de cores. Apesar de fuchsita xisto ser uma rocha rara, principalmente contendo rubi, é uma fonte a ser citada, visto que o Brasil não tem destaque na produção desta gema.

Com relação ao crômio, que é um elemento de destaque nestas rochas por causar a cor nos minerais gemológicos presentes, avaliou-se os métodos de como ele pode ser detectado sem que seja feito análises químicas das amostras. A presença de crômio na fuchsita não é observada na difração de raios X, onde esperava-se que ocorresse uma deformação na estrutura da muscovita, mas a espectroscopia UV/visível mostra-se um método importante na determinação da presença deste elemento na muscovita e no coríndon.

Recomenda-se, para estudos futuros, a delimitação detalhada das ocorrências com trabalhos de campo com atenção às relações estratigráficas e contexto geológico destas rochas, auxiliados pelas análises em laboratórios para a determinação da composição química. Desta forma, seria possível interpretar ou inferir os protólitos destas rochas exóticas. A falta do contexto geológico para as amostras analisadas, sem dúvida tornou as hipóteses deste trabalho mais subjetivas, por outro lado, as hipóteses sugeridas adequam-se aos fatos e descrições feitas.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ancelmi, M. F. (2016). *Geocronologia e geoquímica das rochas arqueanas do Complexo Granjeiro, Província Borborema*. Tese (doutorado). Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- Argast, S. (1995). Detrital Origin of Fuchsite-bearing Quartzites in the western Dharwar craton, Karnataka, India. *Journal of the Geological Society of India*, 45, 559-575.
- Assis, L. C., Marini, O. J. (1983). Contribuição à controvérsia da correlação Espinhaço-Minas. *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 361-375. Belo Horizonte: SBG.
- Barbosa, R. M., Melfi, A. J., Nahon, D. (1996). Comportamento geoquímico do cromo na alteração das rochas ultramáficas mineralizadas de Campo Formoso, Estado da Bahia. *Geochimica Brasiliensis*, 10(1), 043-056.
- Bonfim, D. B., Silva, F. C., Silva, C. A., Santos J. P., Garcia M. A. T., Santos L. J., Alves W. J. S. (2015). Evolução geotectônica e estudo metalogenético dos recursos minerais na região entre os municípios de Saúde e Pindobaçu, estado da Bahia Universidade Federal do Oeste da Bahia. *XXVI Simpósio de Geologia do Nordeste*, 24, 189. Natal: SGNE.
- Branco, P. M. (2008). *Dicionário de Mineralogia e Gemologia*. São Paulo, Oficina de Textos.
- Brigatti, M. F., Galli, E., Medici, L., Poppi, L., Cibin, G., Marcelli, A., Mottana, A. (2001). Crystal structure refinement and X-ray absorption spectroscopy of chromium-containing muscovite. *European Journal of Mineralogy*, 13, 377-390.
- Brigatti, M. F., Guggenheim, S. (2002). Mica Crystal Chemistry and the Influence of Pressure, Temperature, and Solid Solution on Atomistic Models. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 46, 1-116.
- Bryhni, I. (1964). Contributions to the mineralogy of Norway: Chromian muscovite in meta-anorthosite. *Norwegian Journal of Geology*, 44 (26), 353-363.
- Campos Neto, M. C., Janasi, V. A., Basei, M. A. S., Siga Jr, O. (2007). Sistema de nappes Andrelândia, setor oriental: litotestratigráfia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(4), 47-60.
- Camprubí, A., Partida, G. E., Martínez, M. L., Iriondo, A., Alfonso, P., Alvarado, E. C., Armendáriz, E. G., Puente, P. M., Canet, C., Ruiz, L. G. (2017). The Upper Cretaceous

Guaynopa IOCG and Guaynopita porphyry copper deposits, Chihuahua, Mexico. *Ore Geology Reviews*, 81(3), 1096-1112.

Cardelli, A., Cibin, G., Benfatto, M., Della Longa, S., Brigatti, M. F., Marcelli, A. (2003). A crystal-chemical investigation of Cr substitution in muscovite by XANES spectroscopy. *Physics and Chemistry of Minerals*, 30, 54-58.

Casagrande, P. I. (2013). *Mapeamento geológico da região de Quitaiús (CE) – Complexo Granjeiro – Província Borborema*. Trabalho de conclusão de curso. Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.

Cassedanne, J. P., Sauer, A. D. (1987). Classification of the gemstone deposits in Brazil. *International Gemological Conference*, 21, 7-20. Rio de Janeiro: IGC.

Cavalcanti, E. B. A. I. (2008). *Ocorrência de quartzito verde-esmeralda no município de Lajes/RN e sua viabilidade como rocha ornamental*. Dissertação (Mestrado). Recife: Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

Cavalcanti, E. B. A. I., Menor, E. A., Souza, J. C. (2009). Considerações Tecnológicas e Avaliação de Reservas da Ocorrência de Quartzito Ornamental (verde esmeralda) na Região de Lajes – RN. *Estudos Geológicos*, 19(1), 37-53.

Chatterjee, N. D., Johannes, W. (1974). Thermal Stability and Standard Thermodynamic Properties of Synthetic 2nI-MUscovite,  $KAl_2[AlSi_3O_{10}(OH)_2]$ . *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 48, 89 -114.

Chatterjee, N. D., Johannes, W., Leistner, H. (1984). The system  $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ : new phase equilibria data, some calculated phase relations, and their petrological applications. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 88, 1–13.

Chatterjee, R. S., Das, S. (2004). Tattekere conglomerate–quartzite association: origin and stratigraphic position of a disputed Archean formation in the supracrustals of Karnataka, India. *Journal of Asian Earth Sciences* 23, 247–261.

Chiodi, Filho C., Chiodi, D. K. (2018). Excursão de campo: Referências Geológicas. *VI Global Stone Congress*. Ilhéus: GSC2018.

Chrispim, S. J. (1983). Dados preliminares sobre a geologia estrutural das Serras da Bocaina e Faria- Lavras, MG. *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 376-386. Belo Horizonte: SBG.

- Cole, C. B., Reinhard C. T., Wang X., Gueguen B., Halverson G. P., Gibson T., Hodgskiss M. S. W., Mckenzie N. R., Lyons T.W., Planavsky N. J. (2016). A shale-hosted Cr isotope record of low atmospheric oxygen during the Proterozoic. *Geology*, 44(7), 555–558.
- Correa, M. (2010). *Variedades gemológicas de Quartzo na Bahia, Geologia, Mineralogia, causas de cor e técnicas de tratamento*. Dissertação (mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- Couto, P. A. A. (2000). *Mapa Gemológico do estado da Bahia e texto explicativo*. Escala 1:1.250.000. Salvador: CPRM.
- Davison, J. G. (2008). Rubies on Ice - Greenland Gemstone Exploration Makes the Grade. *The 2nd International Gem and Jewelry Conference*. Bangkok: GIT2008.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J. (1992). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Longman Scientific and Technical, New York.
- Del Lama, E. A., Candia, M. A. F., Szabó, G. A. J. (2001). Petrography and Metamorphism of the Metasedimentary Country-Rocks of the Jacurici Valley Chromitite-Hosting Mafic-Ultramafic complex, Bahia, Northeastern Brazil. *Revista Geologia USP, Série Científica*, 1, 1-15.
- Devaraju, T. C., Raith, M. M., Spiering, B. (1999). Mineralogy of the Archean barite deposit of ghattihosahalli, Karnataka, India. *The Canadian Mineralogist*, 37, 603-617.
- Dutra, T. X. C. (2008). *Estudos geoquímicos e em concentrados de bateia na região do granito de Campo Formoso, BA*. Trabalho de conclusão de curso. Salvador: Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- Evangelista, H. J. (1992). O grupo Dom Silvério, SE de Minas Gerais: petrografia, metamorfismo, geoquímica e geologia econômica. *Revista Escola de Minas*, 45 (1-2), 140-142.
- Evsyunin, V. G., Kashaev, A. A., Rastsvetaeva, R. K. (1997). Crystal structure of a new representative of Cr micas. *Crystallography Reports*, 42, 571-574.
- Ferguson, C. C., Al-Ameen, S. I. (1985). Muscovite breakdown and corundum growth at anomalously low fH<sub>2</sub>O: a study of contact metamorphism and convective fluid movement around the Omey granite, Connemara, Ireland. *Mineralogical Magazine*, 49, 505-514.
- Filgueiras A. M. C. (2000). *Estudos Litoestruturais do Greenstone Belt Morro Ferro entre a Faixa Mumbuca e a Faixa Morro do Ferro, Minas Gerais, e sua implicação para*

*mineralizações sulfetadas.* Tese (Mestrado). Campinas: Instituto De Geociências, Universidade Estadual de Campinas.

Frei, R., Gaucher, C., Poulton, S. W., Canfield, D. E. (2009). Fluctuations in Precambrian atmospheric oxygenation recorded by chromium isotopes. *Nature*, 461, 250-254.

Fritsch, E., Rossman, G. R., (1987). An update on color in gems. Part 1: introduction and colors caused by dispersed metal ions. *Gems & Gemology*, 23, 126-139

Galvão, C. F., Conceição filho, W. M., Lopes, G. A. C., Costa, U. R., Andrade, A. P., Sá, A. P., Mosmann, R. (1973). *Projeto: Cadastramento de ocorrências minerais do Estado da Bahia, volume I- Área de Vitória da Conquista.* Salvador: SME CBPM

Golani, P. R. (1989). Sillimanite-corundum deposits of Sonapahar, Meghalaya, India: a Metamorphosed Precambrian Paleosol. *Precambrian Research*, 43, 175-189.

Goldschmidt, V. M. (1970). *Geochemistry*. Ad Alex Muir Oxford, Clarendon Press.

Graf, M., Reisfeld, R., Panczer G. (2005). *Luminescence Spectroscopy of minerals and material.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Grapes, R., Palmer, K. (1996). (Ruby-sapphire)-chromian mica-tourmaline rocks from Westland, New Zealand. *Journal of Petrology*, 37(2), 293-315.

Harlov, D. E., Milke, R. (2002). Stability of corundum + quartz relative to kyanite and sillimanite at high temperature and pressure. *American Mineralogist*, 87, 424-432.

Heilbron, M. (1983). Dados preliminares sobre a geologia e o metamorfismo da área entre itutinga e madre de Deus (MG). *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 387-401. Belo Horizonte: SBG.

Heinrich, E. W. (1965). Further information in the geology of chromian muscovites. *The American Mineralogist*, 50(5-6), 758-762.

Hughes, R. W. (1990). *Corundum (Butterworths Gem Books)*. Butterworth-Heinemann, 314.

Juchem, P. L., Brum, T. M. M., Fischer, A. C., Balzaretti, N. M., Augustin, A. H. (2006). A fuchsite quartzite as an imitation of emerald. Acesso em 10 de agosto de 2018, <<https://www.researchgate.net/publication/270373960>>.

Kerrich, R., Fyfe, W. S., Barnett, R. L., Blair, B. B., Willmore, L. M. (1987). Corundum, Cr-muscovite rocks at O'Briens, Zimbabwe: The conjunction of hydrothermal desilicification

and LIL-element enrichment- geochemical and isotopic evidence. *Contributions Mineralogy and Petrology*, 95(4), 481-498.

Kerrick, R., Fyfe, W. S., Barnett, R. L., Blair, B. B., Willmore, L. M. (1988). Reply to: "A discussion of corundum, Cr-muscovite rocks at O'Briens, Zimbabwe: the conjunction of hydrothermal desilicification and LIL-element enrichment- geochemical and isotopic evidence". *Contributions Mineralogy and Petrology*, 100(4), 555–559.

Kretz, R. (1983). Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68, 277-279.

Ladeira, E. A., Tobschall, H. J. (1983). Evolução Petrogenética do Cinturão de rochas verdes, Rio das velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Anais do Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 249-258. Belo Horizonte: SBG.

Leo, G. W., Rose Jr, H. J., Warr J. J. (1965). Chromian muscovite from the Serra de Jacobina, Bahia, Brazil. *American Mineralogist*, 50 (3-4), 392-402.

Levinson, A. A., Cook, F. A. (1994). Gem Corundum in alkali basalt: origin and occurrence. *Gems and Gemology*, 30(4), 253-262.

Lima, R. B. (2013). *Evolução Tectônica da frente da Nappe Andrelândia: Orógeno Brasília Meridional*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de geociências, Universidade de São Paulo.

Maciel, R. R. (1983). Geologia estrutural da serra de três pontas, MG, Dados preliminares. *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 402-410. Belo Horizonte: SBG.

Martyn, J. E., Johnson, G. I. (1986) Corrigendum: Geological setting and origin of fuchsite-bearing rocks near Menzies, Western Australia, Australian. *Journal of Earth Sciences*, 33(3), 373-390.

Milesi, J. P., Ledru, P., Marcoux, E., Mougeot, R., Johan, V., Lerouge, C., Sabaté, P., Bailly, L., Respaut, J. P., Skipwith, P. (2002). The Jacobina Paleoproterozoic gold-bearing conglomerates, Bahia, Brazil: a "hydrothermal shear-reservoir" model. *Ore Geology Reviews*, 19 (1), 95– 136.

Miranda, D. A., Santos, F. P., Reis, C., Menezes, R. C. L., Loureiro, H. S. C. (2016). Mineralizações auríferas da Serra de Jacobina-BA: resultados preliminares. *XLVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, 1, 5950-5950. Porto Alegre: SBG.

Moraes, J. F. S. (1999). *Gemas do Estado do Rio Grande do Norte*. Recife: CPRM/SINTEC/SENAI/SEBRAE/FUNPEC.

- Moretzsohn, J. S., Soares filho, B. S. (1983). Geologia da porção Meridional da Serra do Bom Sucesso- MG. *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 423-431. Belo Horizonte: SBG.
- Naqvi, S. M., Condie, K. C., Allen, P. (1983). Geochemistry of some unusual early Archaean sediments from Dharwar Craton, India. *Precambrian Research*, 22, 125-147.
- Navas, A. S., Reddy B. J., Nieto F. (2004). Spectroscopic study of chromium, iron, OH, fluid and mineral inclusions in uvarovite and fuchsite. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 60(10), 2261-2268.
- Newton, R.C., Manning, C.E. (2008). Solubility of corundum in the system  $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{SiO}_2$ – $\text{H}_2\text{O}$ – $\text{NaCl}$  at 800 °C and 10 kbar. *Chemical Geology*, 249, 250-261.
- Oliveira, E. P., Mello, E. F., Macnaughton, N. J. (2002). Reconnaissance U-Pb geochronology of Precambrian quartzites from the Caldeirao belt and their basement, NE São Francisco Craton, Bahia, Brazil: implications for the early evolution of the Paleoproterozoic Itabuna-Salvador-Curaca orogen. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 284–298.
- Oliveira, G. A. I., Clemente, P. L. C., Vial, D. S. (1983). Excursão a mina de ouro de Morro Velho. *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 497-505. Belo Horizonte: SBG.
- Paciullo, P. V. P. (1983). Mapeamento Geológico- estrutural da área de Minduri-MG. *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 440-448. Belo Horizonte: SBG.
- Palmeira, D. S. (2010). *Petrografia Do Sienogranito Broco: Evidência De Fusão Crustal No Greenstone Belt Ibitira-Ubiraçaba, Ibiassucê, Bahia*. Trabalho de conclusão de curso. Salvador: Instituto de Geociências, Universidade Federal Da Bahia.
- Passos, R. V. (1999). *Caracterização da geometria de zonas de alteração hidrotermal- estudo de caso no depósito aurífero de Brumal, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Dissertação (mestrado). Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- Pimenta, V. A. (2013). *Caracterização mineralógica, petrológica e química da sulfetação nos reef's da mina Canavieiras, Jacobina, Bahia*. Trabalho de Formatura Curso de Graduação em Geologia. Rio Claro: *Instituto De Geociências E Ciências Exatas*, Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho”.
- Quinn, E. P. (2004). Corundum-fuchsite-kyanite rock from India. *Gems & Gemology*, 40(4), 338-339.

- Raith, M. M., Schumacher, R. (2012). Ruby-fuchsite rocks from the Kodagu District, Southern India. *M&M7*, 77-78. Dresden.
- Ramiengar, A. S., Devadu, G. R., Viswanatha, M. N., Chayapathy, N., Ramakrishnan, M. (1978). Banded chromite-fuchsite quartzite in the older supracrustal sequence of Karnataka. *Journal of the Geological Society of India*, 12, 577–582.
- Randive, K. R., Korakoppa, M. M., Muley, S. V., Varade, A. M., Khandare, H. W., Lanjewar, S. G., Tiwari, R. R., Aradhi, K. K. (2015). Paragenesis of Cr-rich muscovite and chlorite in green-mica quartzites of Saigaon–Palasgaon area, Western Bastar Craton, India. *Journal of Earth System Science*, 124(1), 213-225.
- Raposo, F. O. (1996). *Formações ferríferas e metassedimentos químicos de áreas selecionadas do Quadrilátero Ferrífero e suas relações com níveis rudáceos*. Dissertação (mestrado). Belo Horizonte: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Reimer, T. O. (1986). Alumina-rich rocks from the early Precambrian of the Kaapvaal Craton as indicators of paleosols and as products of other decompositional reactions. *Precambrian Research*, 32(1), 155-179.
- Ribeiro, A. (1983). Dados atuais do mapeamento geológico-estrutural da folha de Itumirim-MG. *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 461-468. Belo Horizonte: SBG.
- Ronaldo, R. (2013). *Ocorrência de Fuchsite no Seridó*. Acesso em 12 de abril de 2018, <<https://www.flickr.com/photos/serid/8977206066/in/photolist-eFhwAW-VrQJZa-n9r9f5-Bwb8p-3jWY2W-7uZBMC-b4R Fmg5MUmw-6mRogj-5LZ5p4/>>
- Rosas, C. F. (2003). *Modelo estrutural da jazida de sulfetos de Ni-Cu-Co e MGP, Fortaleza de Minas, MG*. Dissertação (mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Rosière, C. A., Chemale Jr, F. (2008). Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero – uma visão geral e discussão. *GEONOMOS*, 8(2), 27-43.
- Rossi, G. (2010). *Quartzitos e metaconglomerados auríferos da sequência da Serra da Boa Vista a leste do Quadrilátero Ferrífero-MG, Brasil*. Dissertação (mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade De São Paulo.
- Sá, J. H. S. (2012). Coríndon na Bahia. *Série arquivos abertos*, 38. Salvador: CBPM.

Sá, J. H. S., Leite, C. M. M., Conceição filho, V. M., Oliveira, N. P. (1984). Depósito de rochas fosfáticas no município de Juazeiro- Bahia. *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*, 8, 3724- 3729. Rio de Janeiro: CBG.

Sad, J. H. G, Pinto, C. P., Duarte, L. D. (1983). Geologia do distrito manganífero de Conselheiro Lafaiete, MG. *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 259-270. Belo Horizonte: SBG.

Sampaio, A. R., Santos, R. A., Rocha, A. J. D., Guimarães, J. T. (2001). *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Jacobina - folha SC.24-Y-C, Estado da Bahia*. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT.

Santos, D. A., Gurgel, M. T., Mota, A. F., Paiva, F. I. G. (2014). Extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de Várzea – PB. *HOLOS*, 30(4), 89-100.

Schirmer, V. B. (2012). *Caracterização petrográfica e litogeоquímica das formações ferríferas do Greenstone Belt Ibitira-Ubiraçaba, região de Brumado, Bahia*. Trabalho de conclusão de curso. Salvador: Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

Schreyer, W. (1982). Fuchsite-aluminium silicate rocks in achaean greenstone belts: Are they metamorphosed alunite deposits? *Geologische Rundschau*, 71(1), 347–360.

Schreyer, W. (1988). A discussion of: “Corundum, Cr-muscovite rocks at O'Briens, Zimbabwe: the conjunction of hydrothermal desilicification and LIL-element enrichment - geochemical and isotopic evidence” by Kerrich et al. *Contributions Mineralogy and Petrology*, 100(4), 552-554.

Schreyer, W., Werding, G., Abraham, K. (1981). Corundum-fuchsite rocks in greenstone belts of southern Africa: Petrology, Geochemistry, and Possible Origin. *Journal of Petrology*, 22(2), 191-231.

Schultz-Guttler, R. A. (2005). Fuchsite-corundum rock from Bahia, Brazil. *Gems & Gemology*, 41(3), 266-267.

Schultze, D. (2018). *Dissolution-precipitation reactions in the system Al2O3-SiO2-H2O and the formation of Al2SiO5*. Dissertação (mestrado em mineralogia). Berlin: Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt, Technischen Universität Berlin

Senna, J. A., Souza Filho, A. R. (2009). Caracterização espectro-mineralógica, do depósito de agalmatolito Mateus Leme (Quadrilátero Ferrífero/MG), por espectroscopia de

reflectância e dados ASTER. - *Anais XIV Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, 1, 3363-3370. Natal: SBSR.

Silva, L. L. (2008). *Relação estratigráfica e estrutural entre os grupos Costa Sena e Guinda na região de Diamantina, Minas Gerais*. Dissertação (mestrado). Belo Horizonte: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

Silva, L. R. C., Castro, M. S. S., Oliveira, L. B. G., Gama, J. P. A., Santos, J. P., Garcia, M. A. T. (2015). Caracterização metamórfica da região de Pindobaçu-BA. *XXVI Simpósio de Geologia do Nordeste*, 2, 209. Natal: SGNE.

Silva, M. C. R., Chaves, M. L. S. C. (2012). Litofácies sedimentares da Formação Sopa-Brumadinho no campo diamantífero de extração (Diamantina, MG). *Revista Escola de Minas*, 65(4), 483-489.

Silveira, C. J. S (2015). *Geocronologia U-Pb em zirão de rochas intrusivas e do embasamento na região do Vale do Jacurici, Cráton São Francisco, Bahia*. Dissertação (mestrado). Porto Alegre: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul.

Simonet, C., Fritsch, E., Lasnier, B. (2008). A classification of gem corundum deposits aimed towards gem exploration. *Ore Geology Reviews*, 34 (1-2), 127-133.

Sinha, J. K., Mishra, P. K. (2015). Spectroscopic and microstructural studies of ruby gemstones of Sinapalli, Odisha. *Journal Geological Society of India*, 86, 657-662

Sinha-Roy, S., Kumar, G. R. R. (1984). Fuchsite-bearing quartzite in the Sargur equivalent rocks of North Kerala. *Journal Geological Society of India*, 25(2), 120-122.

Spalletta, B. M. (2015). *Mapeamento e caracterização lito-estrutural da faixa Caldeirão, região de Uauá-BA*. Trabalho de conclusão de curso. Campinas: Universidade Estadual De Campinas Instituto de Geociências.

Srinivasaiah, C., Vasudev, V. N., Chalapathi Rao, N. V. (2015). Tungsten, barium and base metal mineralization in a layer of amphibolite in mesoarchaean Ghattihosahalli Belt, Western Dharwar Craton, Karnataka, India. *Journal Geological Society of India*, 86, 648-656

Teixeira, F. (2016). *Mapa cronoestratigráfico do Brasil (Geobank)*. Acesso em: 20 de abril de 2018, <<https://sosgisbr.com/tag/mapa-cronoestratigrafico/>>.

Teles, G. S. (2013). *Proveniência e idades de deposição dos sedimentos auríferos da Bacia de Jacobina: implicações sobre a evolução da bacia durante o paleoarqueano e a gênese da mineralização*. Dissertação (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

Trouw, R. A. J. (1983). Novos dados sobre os grupos São João Del Rei, Carrancas e Andrelândia. *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 469-477. Belo Horizonte: SBG.

Uhlein, A., Assis, L. C., Dardenne, M. A. (1983). As mineralizações de ouro e cromita da sequência vulcana-sedimentar do Serro-MG. *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, 306-320. Belo Horizonte: SBG.

Velde, B. (1966). Upper stability of muscovite. *The American Mineralogist*, 51, 924-929.

Vidal-Torrado, P., Macias, F., Calvo, R., Carvalho, S. G., Silva, A. C. (2006). Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentinizadas no sudoeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30, 523-541.

Whirmore, D. R. E., Berry, L. G., Hawley J. E. (1946). Chrome Micas. *The American Mineralogist*, 31(1-2), 1-21.

Wohlers, A., Manning, C. E. (2009). Solubility of corundum in aqueous KOH solutions at 700 °C and 1 GPa. *Chemical Geology*, 262, 326-333.

Zapparoli, A. C. (2001). *Os depósitos de cromita da borda leste da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais: Petrologia, quimismo e implicações genéticas*. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.



## **APÊNDICE**

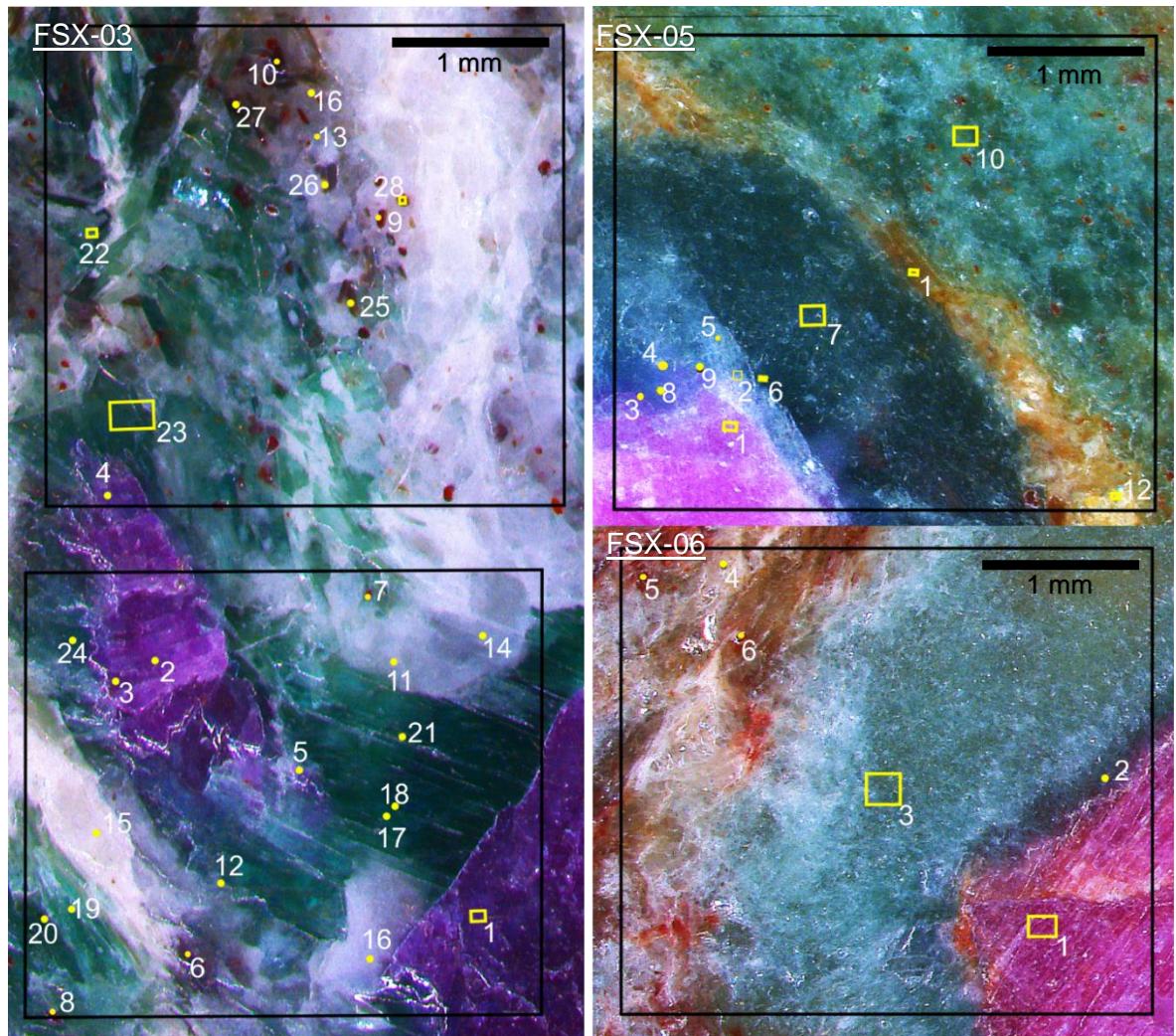


Figura A1. Imagem obtida com a lupa, os polígonos pretos indicam as áreas estudadas, os pontos e polígonos amarelos representam as análises EDS pontuais e em área, respectivamente, analisados na amostra FSX-03, FSX-05 e FSX-06 via MEV. As análises estão apresentadas nas Tabelas A1, A2 e A3.

Tabela A1. Análises EDS das fases minerais na amostra FSX-03, a identificação dos minerais analisados está representada na Figura A1.

FSX-03	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
<b>Na<sub>2</sub>O</b>						1,32	0,66	0,24	1,09	0,44	10,07	9,28	10,65	0,98	1,20	3,41	
<b>MgO</b>							0,32	0,34	0,81	0,54		0,20	0,11		0,07	1,70	
<b>CaO</b>											1,49	1,82					
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	96,01	95,08	91,94	90,56	87,60	5,86	12,17	7,54	6,13	4,46	22,49	23,83	19,94	19,97	19,98	29,46	
<b>SiO<sub>2</sub></b>	1,71	1,75	4,12	4,50	9,35	11,09	14,95	9,17	13,37	11,00	64,27	62,96	66,70	64,83	64,84	55,68	
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,24	0,37	0,56	0,70	1,63	1,10	2,52	1,67	1,86	1,88	1,68	1,76	2,03	14,19	13,66	8,64	
<b>TiO<sub>2</sub></b>					0,20	79,83	68,30	80,24	75,56	80,81			0,56		0,23		
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,66	0,64	0,23		1,03	0,79	0,60	0,55	0,70	0,60							
<b>FeO</b>	0,38	0,15	0,15	0,24	0,19		0,48	0,26	0,49	0,26		0,14		0,04		1,10	
<b>TOTAL</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
<b>Análise</b>	Área Crn	Ponto Crn	Ponto Crn	Ponto Crn	Ponto Crn	Ponto Rt	Ponto Rt	Ponto Rt	Ponto Rt	Ponto Rt	Ponto Ab	Ponto Ab	Ponto Ab	Ponto kfs	Ponto kfs	Ponto kfs	
<b>FSX-03</b>	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28					
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,76	0,52	0,78	0,69	0,59	0,85	0,80	0,67	0,66	0,90	0,50	0,70					
<b>MgO</b>	1,00	1,17	1,02	0,85	0,61	1,29	0,88	0,68	13,06	13,40	10,22	9,81					
<b>CaO</b>																	
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	36,49	37,18	36,58	36,45	40,04	36,03	36,99	38,75	21,75	21,03	23,25	20,49					
<b>SiO<sub>2</sub></b>	48,14	48,63	49,26	48,23	49,03	48,68	47,78	46,90	42,99	43,31	47,05	48,64					
<b>K<sub>2</sub>O</b>	10,70	10,30	10,19	10,79	7,96	10,18	10,56	10,21	10,34	9,89	10,23	11,31					
<b>TiO<sub>2</sub></b>	1,33	0,90	0,94	1,74	0,76	1,42	1,60	1,49	2,27	2,22	1,32	2,13					
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,52	0,47	0,57	0,49	0,30	0,46	0,47	0,71	0,64	0,51	0,42	0,69					
<b>FeO</b>	1,07	0,83	0,66	0,74	0,72	1,08	0,91	0,60	8,29	8,75	7,01	6,24					
<b>TOTAL</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00					
<b>Análise</b>	Ponto Fs	Ponto Fs	Ponto Fs	Ponto Fs	Ponto Fs	Área Fs	Área Fs	Ponto Fs	Ponto Bt	Ponto Bt	Ponto Bt	Área Bt					

Tabela A2. Análises EDS das fases minerais na amostra FSX-05, a identificação dos minerais analisados está representada na Figura A1.

FSX-05	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Na<sub>2</sub>O</b>		0,19			0,27	1,71	1,94	1,55	1,74	1,47	0,16	1,43
<b>MgO</b>		0,43				0,44	0,34	0,54	0,37	0,91	0,15	0,91
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	95,99	58,83	61,78	59,56	61,83	41,84	39,93	41,83	43,01	37,43	4,35	37,96
<b>SiO<sub>2</sub></b>	3,13	39,32	37,10	39,20	36,49	46,60	48,14	46,18	46,29	49,16	94,27	48,01
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,44	1,23	0,86	1,24	1,23	8,53	9,11	8,82	7,93	9,81	1,07	9,78
<b>TiO<sub>2</sub></b>						0,31	0,22	0,43	0,34	0,92		0,62
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,22		0,27			0,25		0,31	0,09	0,29		
<b>FeO</b>	0,23				0,18	0,32	0,32	0,34	0,23			1,29
<b>TOTAL</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Análise</b>	Área	Área	Ponto	Ponto	Ponto	Área	Área	Ponto	Ponto	Área	Área	Área
	Crn	ky	ky	ky	Ky	Fs	Fs	Fs	Fs	Qtz	Ms	

Tabela A3. Análises EDS das fases minerais na amostra FSX-06, a identificação dos minerais analisados está representada na Figura A1.

FSX-06	1	2	3	x	4	5	6
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,10	1,74	1,71	1,21	1,29	0,37	0,43
<b>MgO</b>		0,44		1,18	1,17	0,37	
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	96,99	39,64	45,53	37,16	36,02	8,76	7,65
<b>SiO<sub>2</sub></b>	2,32	47,88	43,64	48,28	50,12	9,33	8,63
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,25	9,79	8,29	10,07	10,13	1,74	1,70
<b>TiO<sub>2</sub></b>		0,28	0,19	1,59	1,27	79,09	81,00
<b>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>		0,04	0,16			0,59	
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,34		0,47	0,22		0,34	
<b>FeO</b>		0,19		0,28			
<b>TOTAL</b>	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Análise</b>	Área	Área	Ponto	Área	Ponto	Ponto	Ponto
	Crn	Fs	Fs	Fs	Ms	Rt	Rt

Tabela A4. Análises EDS das fases minerais na amostra FSX-01.

FSX-01	1	2
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,31	0,36
<b>MgO</b>	2,01	1,99
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	29,34	29,30
<b>SiO<sub>2</sub></b>	49,52	49,57
<b>K<sub>2</sub>O</b>	11,63	11,40
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,80	0,79
<b>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>		
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,97	1,95
<b>FeO</b>	4,42	4,64
<b>TOTAL</b>	100,00	100,00
<b>Análise</b>	Área	Área
	Fs	Fs

