



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CARACTERIZAÇÃO COMPOSICIONAL E MINERALÓGICA DE  
AMOSTRAS DE CONDENSADO DO AR EXALADO POR LAPIDÁRIOS  
DE CORINTO-MG**

**Murilo Schiavolin Silva**

**MONOGRAFIA nº 396**

Ouro Preto, abril de 2021



**CARACTERIZAÇÃO COMPOSICIONAL E MINERALÓGICA  
DE AMOSTRAS DE CONDENSADO DO AR EXALADO POR  
LAPIDÁRIOS DE CORINTO-MG**

---





## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marlière de Lima

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Ms. Edison Tazava



**MONOGRAFIA**

**Nº 396**

**CARACTERIZAÇÃO COMPOSICIONAL E MINERALÓGICA DE  
AMOSTRAS DE CONDENSADO DO AR EXALADO POR  
LAPIDÁRIOS DE CORINTO-MG**

**Murilo Schiavolin Silva**

*Orientadora*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristiane Castro Gonçalves**

*Co-Orientadores*

**Prof.<sup>a</sup> Dra. Olívia Maria de Paula Alves Bezerra (EMED-UFOP),  
Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio, Ma. Débora Vasconcelos de Oliveira**

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2020/1.

**OURO PRETO**

**2021**

---

Universidade Federal de Ouro Preto - <http://www.ufop.br>  
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>  
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>  
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita  
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais  
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Murilo Schiavolin Silva

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

#### SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S329c Schiavolin, Murilo.

Caracterização composicional e mineralógica de amostras de condensado do ar exalado por lapidários de Corinto-MG. [manuscrito] / Murilo Schiavolin. - 2021.

102 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane Paula de Castro Gonçalves.

Coorientadores: Ma. Débora Vasconcelos Oliveira, Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio, Profa. Dra. Olívia Maria de Paula Alves Bezerra.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

I. Saúde ambiental. 2. Silicose. 3. Quartzo. 4. Microscopia eletrônica de varredura. 5. Espectroscopia de raios X. I. Bezerra, Olívia Maria de Paula Alves. II. Gonçalves, Cristiane Paula de Castro. III. Oliveira, Débora Vasconcelos. IV. Sampaio, Geraldo Magela Santos. V. Universidade Federal de Ouro Preto. VI. Título.

CDU 551:614.87

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

<http://www.sisbin.ufop.br>

## Ficha de Aprovação

---

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO:** Caracterização composicional e mineralógica de amostras de condensado de ar exalado por lapidários de Corinto – MG

**AUTOR:** MURILO SCHIAVOLIN SILVA

**COORIENTADOR:** Geraldo Magela Santos Sampaio

**Aprovada em:** 16 de abril de 2021

#### BANCA EXAMINADORA:

Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio  DEGEO/UFOP

Profª. Dra. Adivane Terezinha Costa  DEGEO/UFOP

Prof. Dr Lucas Pereira Leão  DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 16/04/2021



## **Agradecimentos**

---

À cidade de Ouro Preto, amigos e familiares, pelos encontros e afetos durante esse percurso;

A todo corpo de funcionários da UFOP, pela dedicação diária na manutenção do espaço universitário;

Aos pesquisadores que colaboraram com a execução e a orientação deste trabalho, em especial à Olívia, Cris, Débora e Geraldo;

À UFOP, Escola de Minas, DEGEO e LMic pelos ensinamentos, estrutura e corpo docente;

À CNPq e CAPES, instituições que valorizam o saber científico e que financiaram parte das pesquisas utilizadas por este trabalho.



# SUMÁRIO

---

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xix</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	2
1.3 SILICOSE E CONTEXTO SOCIAL DA DOENÇA .....	3
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.5 JUSTIFICATIVA .....	5
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>7</b>
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
2.1.1 Organização dos dados.....	11
2.2 DESCRIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS MEV-EDS.....	12
<b>3 REVISÃO DO SISTEMA MEV-EDS</b> .....	<b>15</b>
3.1 INTRODUÇÃO AO SISTEMA MEV-EDS .....	15
3.1.1 Princípio básico de funcionamento do MEV .....	15
3.1.2 Princípio básico de funcionamento do detector EDS.....	18
3.2 METODOLOGIA E CONFIABILIDADE DO SISTEMA MEV-EDS.....	21
3.3 LIMITAÇÃO DAS ANÁLISES DOS EBCS POR MEV-EDS.....	22
<b>4 CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>23</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	23
4.2 CONCEITOS E TERMOS GEOLÓGICOS.....	23
4.3 O QUARTZO .....	25
4.3.1 Variedades de quartzo .....	27
4.4 OCORRÊNCIAS DE QUARTZO NA REGIÃO CENTRO-LESTE E NORDESTE DE MG .....	28
<b>5 FATORES DE EXPOSIÇÃO</b> .....	<b>31</b>
5.1 INTRODUÇÃO.....	31
5.2 TEMPO DE EXPOSIÇÃO.....	31
5.3 ATIVIDADE LAPIDÁRIA.....	33
<b>6 CARACTERIZAÇÃO COMPOSICIONAL E MORFOLÓGICA DOS EBCS</b> .....	<b>35</b>
6.1 ASPECTOS COMPOSICIONAIS .....	35

6.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS E TEXTURAIIS .....	36
<b>7 INTERPRETAÇÕES</b> .....	<b>43</b>
7.1 INTRODUÇÃO .....	43
7.2 A ATMOSFERA .....	43
7.2.1 Aerossóis atmosféricos .....	43
7.2.2 Poeira mineral nos aerossóis .....	43
7.3 SIGNIFICADO DIMENSIONAL DOS PARTICULADOS .....	44
7.4 INTERPRETAÇÃO MINERAL .....	45
7.4.1 Silicatos .....	45
7.4.2 Sulfatos .....	46
7.4.3 Óxidos .....	47
7.4.4 Carbonatos .....	47
7.4.5 Haletos .....	47
7.4.6 Elementos nativos .....	48
7.5 CONSIDERAÇÕES .....	48
<b>8 CONCLUSÕES</b> .....	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>53</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Fig. 1.1</b> – Localização de Corinto em Minas Gerais .....	2
<b>Fig. 1.2</b> – Mapa com as principais estradas de acesso ao município de Corinto, MG.....	3
<b>Fig. 2.1</b> – Resumo das principais etapas de levantamento do banco de dados .....	7
<b>Fig. 2.2</b> – Exemplos de fotomicrografias e espectrogramas .....	8
<b>Fig. 2.3</b> – Tubo plástico utilizado para coleta dos EBCs .....	9
<b>Fig. 2.4</b> – Etapas de preparação e análise dos EBCs.....	10
<b>Fig. 2.5</b> – Exemplo genérico da organização dos dados. ....	11
<b>Fig. 2.6</b> – Fotomicrografia com espectros em porcentagem de óxidos e espectrograma.....	12
<b>Fig. 2.7</b> – Fluxograma do processo de análise. ....	13
<b>Fig. 3.1</b> – Modelo esquemático simplificado de um sistema MEV-EDS.....	16
<b>Fig. 3.2</b> – Volume de interação do feixe de elétrons com a amostra.....	17
<b>Fig. 3.3</b> – Construção da imagem virtual na tela catódica do MEV .....	18
<b>Fig. 3.4</b> – Princípio básico de emissão de fótons de energia produzindo rXCa.....	19
<b>Fig. 3.5</b> – Relações entre energia de ionização, excitação e emissão de rXCa .....	20
<b>Fig. 3.6</b> – Gráfico resultante de uma análise EDS.....	20
<b>Fig. 3.7</b> – Exemplo ilustrativo de possíveis interferências composicionais .....	22
<b>Fig. 4.1</b> – Rocha pegmatítica apresentando cristais com faces definidas.....	24
<b>Fig. 4.2</b> – Fratura conchoidal em cristal de quartzo .....	24
<b>Fig. 4.3</b> – Ilustração da sílica amorfa e exemplo de um arranjo cristalino de sílica .....	25
<b>Fig. 4.4</b> – Representação tetraédrica da sílica .....	26
<b>Fig. 4.5</b> – Amostras de mão de variedades de quartzo. ....	27
<b>Fig. 4.6</b> – Principais domínios de ocorrência do quartzo no centro-leste e nordeste de MG...28	
<b>Fig. 4.7</b> – Ocorrências de quartzo na região de Corinto, MG .....	30

<b>Fig. 5.1</b> – Idades dos voluntários e tempo de exposição dos lapidários .....	32
<b>Fig. 6.1</b> – Textura homogênea e heterogênea dos agregados. ....	36
<b>Fig. 6.2</b> – Morfologias circulares e aciculares .....	37
<b>Fig. 6.3</b> – Aspectos morfológicos de partículas analisadas .....	38
<b>Fig. 6.4</b> – Partículas homogêneas com arestas nos lapidários. ....	39
<b>Fig. 6.5</b> – Agregados com contornos curvos acentuados.....	40
<b>Fig. 6.6</b> – Agregado heterogêneo com arestas no voluntário CT69 do grupo controle .....	40
<b>Fig. 6.7</b> – Partículas homogêneas com arestas nos voluntários do grupo controle.....	41
<b>Fig. 6.8</b> – Exemplos de massas disformes em lapidários e voluntários.....	42
<b>Fig. 7.1</b> – Possível partícula euédrica de olivina. ....	46

## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 5.1</b> – Atividades produtivas desenvolvidas pelos lapidários .....	33
<b>Tabela 6.1</b> – Principais associações elementares encontradas nas partículas analisadas .....	35

*A calamidade dos que não têm direitos não decorre do fato de terem sido privados da vida, da liberdade ou da procura da felicidade, nem da igualdade perante a lei ou da liberdade de opinião – fórmulas que se destinavam a resolver problemas dentro de certas comunidades – mas do fato de já não pertencerem a qualquer comunidade.* Hannah Arendt em “As origens do totalitarismo: antissemitismo, imperialismo e totalitarismo”.

## Resumo

---

No Município de Corinto, Minas Gerais, lapidários utilizam da exploração de cristais de quartzo para confecção de peças decorativas. Como resultado do processo produtivo de lapidação, são liberadas micropartículas que podem ser respiráveis/inaláveis, incluindo a sílica em sua forma livre. Sob rígidos parâmetros sanitários, os riscos envolvidos no processo produtivo são minimizados. Entretanto, não é o caso para parte destes trabalhadores. Apesar de iniciativas e programas para mitigar e controlar os fatores de exposição, a falta de infraestrutura em muitos locais de trabalho (normalmente peridomiciliares), desinformação e cultura de inutilização de equipamentos de proteção individual (EPI), frequentemente resultam em problemas de saúde ocupacional. Em alguns casos, os indivíduos são acometidos com doenças pulmonares graves, como a silicose e a tuberculose. Em 2014, como parte de um projeto de acompanhamento dos trabalhadores, a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Scalia Carneiro e colaboradores, conduzidos pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Olívia Bezerra (EMED-UFOP), coletaram amostras de condensados do ar exalado (EBCs/*Exhaled Breath Condensate*) por lapidários de Corinto em diferentes faixas etárias, variados tempos de exposição e, nos casos diagnosticados, com doenças pulmonares em estágios distintos. Tendo como referência um grupo controle formado por pessoas não expostas à poeira gerada pela atividade dos lapidários, os EBCs de ambos os grupos foram analisados por diferentes métodos, incluindo o sistema NTA (Análise de Rastreamento de Nanopartículas) e o sistema MEV-EDS (Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X), que trouxeram informações relevantes sobre o conteúdo do particulado: seus tamanhos, morfologias, composições químicas e concentrações. Os resultados obtidos indicaram a presença mineral em ambos os grupos analisados, com recorrente presença de silicatos – principalmente aluminossilicatos – e óxidos. Adiante, a maior recorrência de sílica pura e a presença de feições morfológicas e texturais típicas nos lapidários indicaram uma possível relação de parte das partículas de silicatos ao processo produtivo de lapidação. Contudo, não foi possível análise pormenorizada das espécies minerais e diferenciação da proveniência do particulado mineral, motivo que suscita a realização de novos estudos quantitativos e qualitativos sobre a poeira mineral liberada pelo processo produtivo de lapidação.

**Palavras chave:** Saúde ambiental, silicose, quartzo, MEV-EDS.



## Abstract

---

In the city of Corinto, Minas Gerais, lapidaries use quartz crystals to make decorative pieces. As a result of the production process of cutting, microparticles are released which can be breathed or inhaled, including silica in its free form. Under strict sanitary parameters, the risks involved in the production process are minimized. However, despite initiatives and programs to mitigate and control exposure factors, the lack of infrastructure in many workplaces (usually peridomiciles), misinformation and a culture of non-use of personal protective equipment (PPE) often result in occupational health problems. In some cases, individuals are affected with severe lung diseases such as silicosis and tuberculosis. In 2014, as part of a project to monitor workers, the Prof. Ana Paula Scalia Carneiro and collaborators, conducted by the Prof. Olivia Bezerra (EMED-UFOP), collected samples of EBCs (Exhaled Breath Condensates) by lapidaries in different age groups, varying times of exposure and, in diagnosed cases, with lung diseases at different stages. Having as reference a control group formed by people not exposed to the dust generated by the activity of the lapidaries, the EBCs of both groups were analyzed by different methods, including the NTA (Nanoparticle Tracking Analysis) and the SEM-EDS (Scanning Electronic Microscopy and X-Ray Dispersive Energy Spectroscopy), which brought relevant information about the content of the particles (their sizes, morphologies, chemical compositions and concentrations). Using the SEM-EDS data, the compositional, mineralogical and textural nature of these constituents could be qualitatively interpreted. The obtained results indicated the mineral presence in both groups analyzed, with recurrent presence of silicates – mainly aluminosilicates – and oxides. Further, the greater recurrence of pure silica and the presence of typical morphological and textural features in the lapidaries have indicated a possible relationship of part of the silicate particles to the lapidary production process. However, a detailed analysis of the mineral species with the differentiation of their provenance was not possible, what requires new quantitative and qualitative studies on the mineral dust released by the process of lapidation.

**Key words:** Environmental health, silicosis, quartz, SEM-EDS.



### 1.1 APRESENTAÇÃO

No município de Corinto, MG, muitas famílias são dependentes da lapidação de cristais. Em geral, as cooperativas são responsáveis pela extração dos minerais, de forma rudimentar, em pequenos garimpos espalhados pela região. Embora ocorram outras variedades de quartzo, a principal ocorrência é do quartzo hialino, popularmente conhecido como cristal de rocha. Os melhores cristais são selecionados e remetidos para galpões ou pequenas oficinas, onde passam por sucessivas etapas produtivas de lapidação, com o objetivo de torna-las mais atrativas para o mercado de gemas.

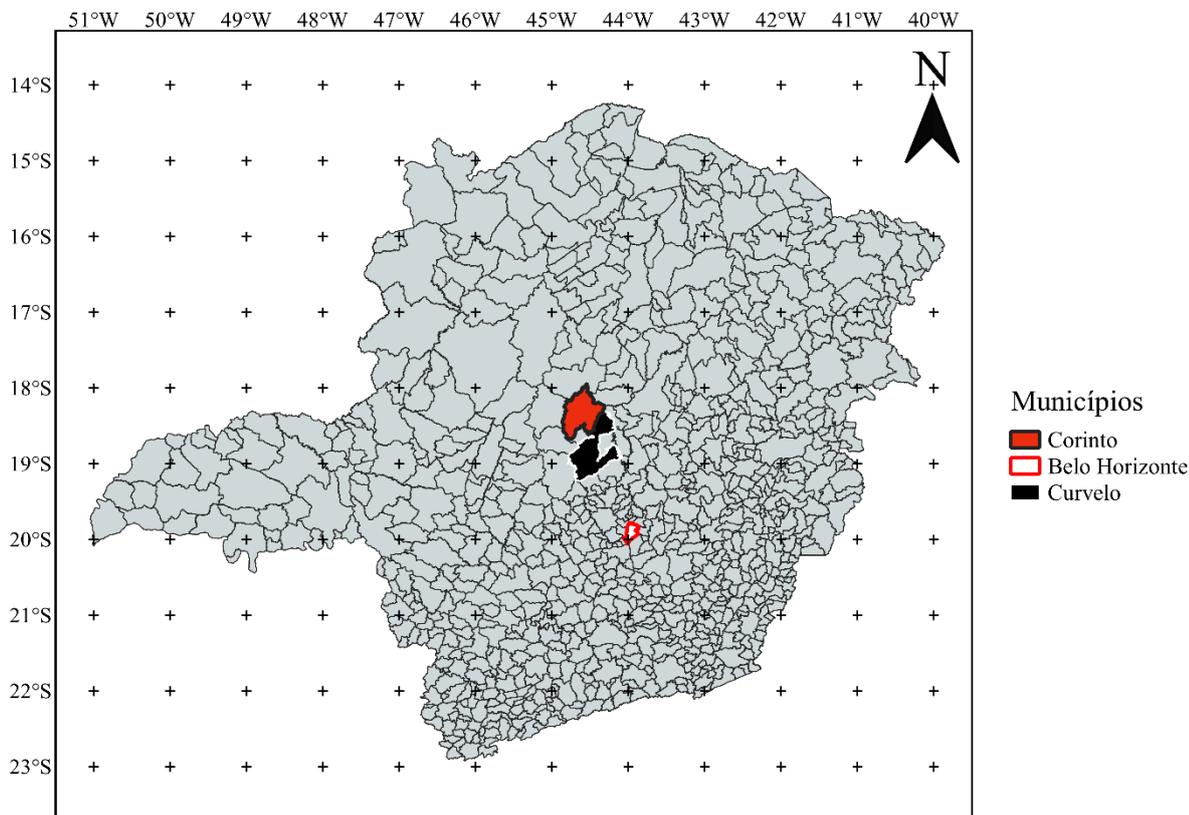
O trabalho dos lapidários, entretanto, muitas vezes é precário e não garante condições seguras, com controle sanitário, para a realização das atividades. Comumente, os trabalhadores compartilham o mesmo espaço e atuam em mais de uma tarefa, polindo as peças de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) com abrasivos necessários à atividade, mas impróprios para saúde, estando expostos a quantidades elevadas de partículas de sílica geradas pelo processo de lapidação. Como consequência, essas pessoas tornam-se suscetíveis a contraírem a silicose (Carneiro *et al.* 2017).

Em um projeto de pesquisa conduzido pela Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Scalia Carneiro, com participação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Olívia Maria de Paula Alves Bezerra (EMED-UFOP), amostras de condensados do ar exalado (EBCs/*Exhaled Breath Condensates*, Horváth *et al.* 2005) de lapidários em Corinto, MG, e voluntários do grupo controle (servidores da UFOP) foram coletadas e analisadas por uma equipe de pesquisadores e colaboradores (Carneiro *et al.* 2017; Sauvain *et al.* 2017). O procedimento permitiu o acesso a fluidos provenientes dos pulmões e pôde ser utilizado, a partir de diferentes técnicas de análise, para compreensão do conteúdo particulado relacionado ao processo produtivo de lapidação.

Os resultados revelaram que as partículas nos EBCs dos lapidários de quartzo se apresentavam em maiores concentrações e variações de tamanho, relativamente ao grupo controle, sugerindo a influência da exposição ocupacional à sílica por parte dos lapidários (Carneiro *et al.* 2017; Sauvain *et al.* 2017). Adiante, uma das etapas da pesquisa de Carneiro *et al.* (2017) contou com análises dos EBCs pelo sistema MEV-EDS. Através da concessão deste banco de dados pelos pesquisadores, este trabalho teve como objetivo principal a descrição e a interpretação mineralógica das partículas contidas nos EBCs dos lapidários e dos voluntários do grupo controle, conforme as diferenças morfológicas, texturais e composicionais apresentadas.

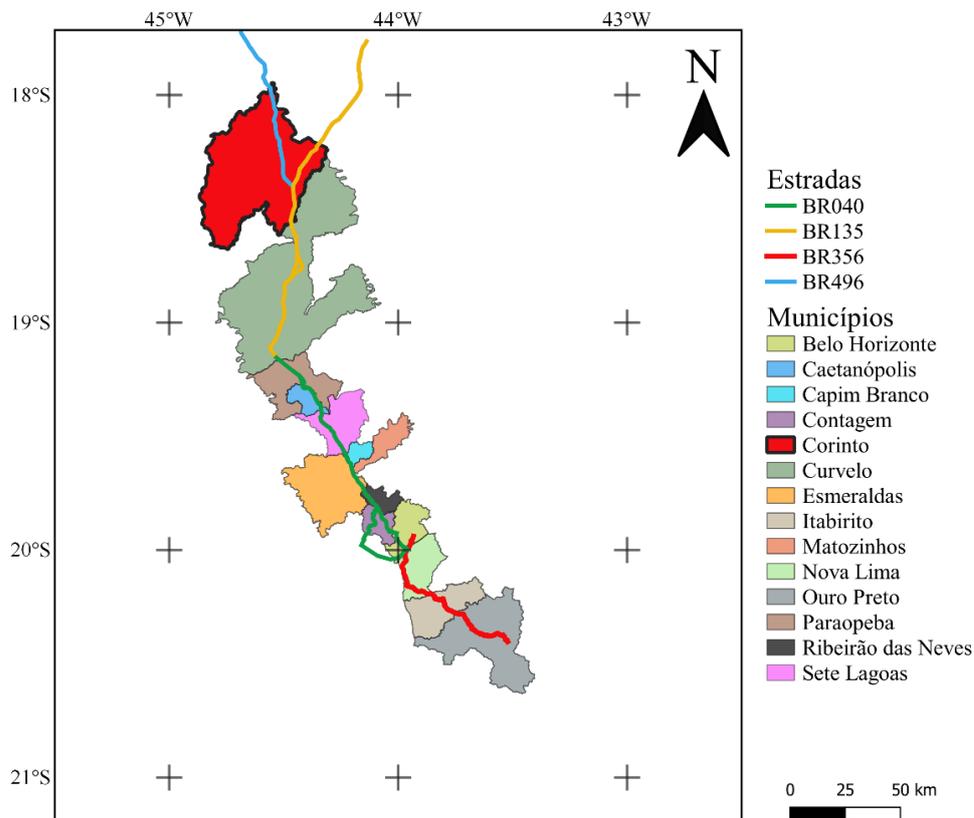
## 1.2 LOCALIZAÇÃO

O município de Corinto localiza-se na região central de Minas Gerais (Fig. 1.1), a aproximadamente 50 km do centro urbano de Curvelo e a 230 km de Belo Horizonte (Bezerra & Macedo, 2017).



**Fig. 1.1** – Localização de Corinto em Minas Gerais (shapefiles obtidas no site do IBGE). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 05 de jul. de 2020.

Partindo de Ouro Preto, o acesso de carro a Corinto inicia-se pela BR-356, por 86 km até a entrada de Belo Horizonte, e segue pela BR-040, por mais 118 km, atravessando as cidades de Contagem, Ribeirão das Neves, Esmeraldas, Matozinhos, Capim Branco, Caetanópolis e Paraopeba (Fig. 1.2). Já em Curvelo, o caminho prossegue por todo o município pela BR-135, por mais 51 km, até a zona urbanizada. Por fim, são necessários mais 47 km até a entrada sul de Corinto.



**Fig. 1.2** – Mapa com as principais estradas de acesso ao município de Corinto, MG. Disponível em: <<https://www.ontl.epl.gov.br/downloads>>. Acesso em: 12 de ago. de 2020.

### 1.3 SILICOSE E CONTEXTO SOCIAL DA DOENÇA

A silicose é uma doença pulmonar fibrosante, progressiva (mesmo depois de cessada a exposição) e incurável, provocada pela reação tecidual de caráter fibrogênico a partir da respiração/inalação de poeira de sílica livre (Wagner 1997). Traz enorme sofrimento físico e psicológico ao indivíduo e, em muitos casos, pode estar intimamente associada com o desenvolvimento de outras doenças, como a tuberculose, o câncer e doenças autoimunes (Greenberg *et al.* 2007). É a principal doença respiratória ocupacional no Brasil e no mundo, e os únicos tratamentos disponíveis visam aliviar os sintomas e manter as habilidades funcionais (Braz 2014).

Os ambientes de trabalho mais propícios para o desenvolvimento da silicose incluem atividades econômicas como mineração, indústria cerâmica, setores metalúrgicos, pedreiras, construção civil e de jateamento de areia (Fedotov 1997). A única forma de prevenção da doença é o controle efetivo da exposição a poeira de sílica nesses locais (Wagner 1997).

De acordo com Ferreira *et al.* (2006) são descritas três formas, relativas a temporalidade e exposição à sílica, em que ocorre a silicose: a crônica, em que o tempo de exposição é longo (após 10 anos, segundo Braz 2014) e os níveis de concentração de poeira são relativamente baixos; a acelerada, com velocidade intermediária de progressão e que requer cerca de 5 a 10 anos de exposição; e a aguda, forma rara que se manifesta em trabalhadores expostos a concentrações muito elevadas de micropartículas recentemente fraturadas pelo processo produtivo.

Em relação a Corinto, Bezerra & Macedo (2017) relatam que parte considerável das atividades lapidárias são feitas em condições de insalubridade. Os locais de trabalho são geralmente galpões ou oficinas peridomiciliares, que apresentam: estruturas precárias, trabalhadores não registrados, uso restrito ou ausência de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual). Além disso, falta informação sobre potenciais danos e melhores práticas na mitigação dos riscos.

De acordo com Carneiro *et al.* (2017), um total de 118 lapidários de Corinto foram examinados em 9 anos de estudos. Destes, 57 foram diagnosticados com silicose (1 caso de silicose aguda, 7 casos de silicose acelerada e 49 casos de silicose crônica), com maior incidência de óbitos neste grupo ( $6/57 = 10.5\%$ ) em comparação com os não silicóticos ( $1/61 = 1.6\%$ ).

Segundo Bezerra & Macedo (2017), a prefeitura de Corinto custeia a ida dos lapidários até Belo Horizonte, onde encontra-se o Serviço Especializado de Saúde do Trabalhador (SEST) – pertencente a UFMG. No local são realizados o atendimento e o acompanhamento da silicose pela Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Scalia Carneiro, com o objetivo de analisar a evolução da doença no município. É recorrente, entretanto, que o trabalhador diagnosticado com a silicose seja afastado, por determinação médica, de suas funções. Em muitos casos, o lapidário é então substituído por um membro mais novo da família, como forma de reajuste da renda familiar, realimentando o ciclo.

Melo & Zago (2012) discorrem sobre os problemas sociais decorrentes da constatação de silicose em Guapé, MG. Quando configurada a doença, os agentes de saúde afastam aquele indivíduo, trazendo ao lapidário a sensação de improdutividade e baixa autoestima. Temendo o diagnóstico, é comum evitarem os serviços de atendimento. Além disso, a busca pelo médico é tida por aqueles do sexo masculino como um atestado de fraqueza. Adiante, há ainda um quadro de descrença no discurso médico, desconfiança da eficácia das medidas de proteção individual no imaginário coletivo dos lapidários e frequente utilização de EPIs incapazes de reterem as partículas de sílica, como é o caso do uso de máscaras comuns permeáveis a poeira. Por fim, ainda que os EPIs sejam imprescindíveis, entende-se que uma das medidas sanitárias mais eficazes é controlar a geração de poeira, através, por exemplo, da umidificação do ambiente.

Corroboram também para compreensão do problema da silicose os relatos obtidos de entrevistas com lapidários de Joaquim Felício, MG, realizadas por Ferreira *et al.* (2008), revelando a

não utilização dos equipamentos de proteção coletiva e a desinformação em relação ao risco de desenvolvimento da silicose pela atividade de lapidação – risco este desconhecido por 71,4% dos entrevistados antes da pesquisa. Mais grave, a informalidade e a dependência do trabalho para subsistência em alguns casos envolve o emprego da mão-de obra de menores de idade.

#### 1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é realizar a caracterização químico-mineralógica qualitativa das partículas contidas nos condensados do ar exalado (EBCs) coletados por Carneiro *et al.* (2017) entre lapidários de Corinto, ampliando o horizonte de entendimento acerca da prevalência da silicose no município.

Os objetivos específicos são:

- A discussão sobre a proveniência dos particulados minerais nos lapidários e voluntários do grupo controle;
- As relações entre aspectos morfológicos, composicionais e tipos mineralógicos;
- Identificar as diferenças entre particulados encontrados nos EBCs de lapidários e voluntários do grupo controle.

#### 1.5 JUSTIFICATIVA

Conhecer os processos iniciais e a evolução da silicose permite que uma série de medidas menos drásticas e mais efetivas possam ser tomadas pelas entidades de saúde, anteriormente à instalação da doença e às complicações no quadro clínico. É comum o lapidário ter um caso estabelecido de silicose, precisando ser afastado da exposição à poeira – podendo ser remetido a um outro tipo de atividade que não envolve exposição. Entretanto, nos casos mais graves, em que há confirmação da suspeita de silicose, os trabalhadores são afastados do trabalho, gerando uma série de consequências para o indivíduo e para a comunidade (informação verbal)<sup>1</sup>.

Pesquisas como a de Carneiro *et al.* (2017) e trabalhos como este sobre o conteúdo e a natureza das partículas contidas nos EBCs, facilitadas pelo avanço nos últimos anos das técnicas de análise mineralógica de micropartículas, abrem possibilidades para melhores condições de identificação de potenciais riscos de adoecimento anteriormente às alterações radiológicas

---

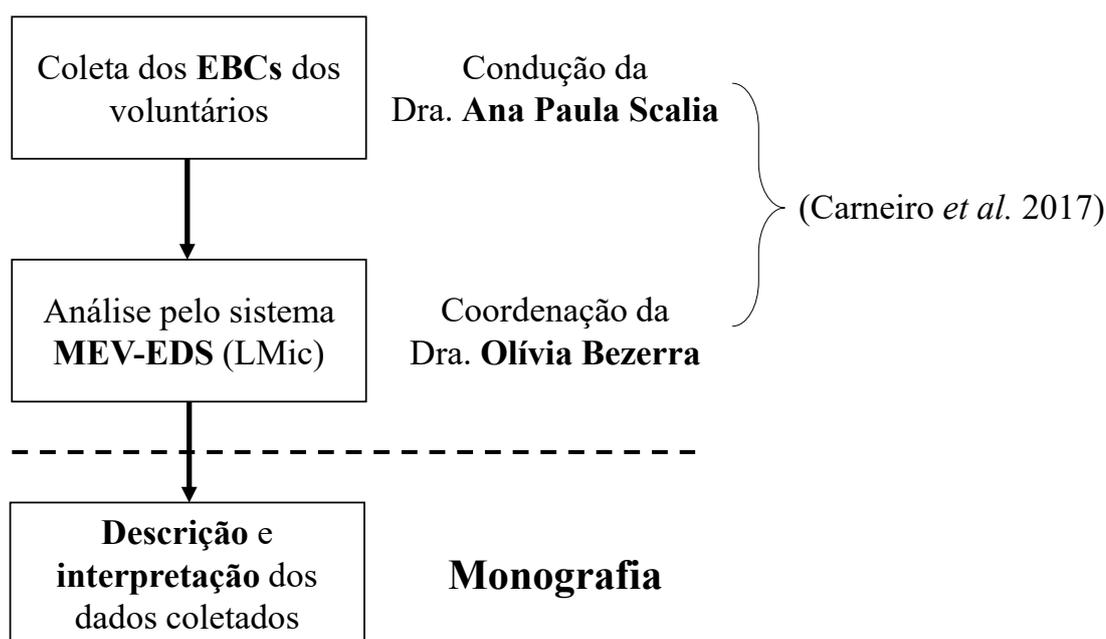
<sup>1</sup> Discussões com a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Olívia Bezerra durante a execução da monografia sobre as possibilidades de utilização da caracterização mineralógica para o acompanhamento clínico dos lapidários.

Schiavolin, M. 2021, Caracterização Composicional e Mineralógica de Amostras de Condensado do Ar Exalado por Lapidários de Corinto-MG.

características da silicose. Dessa forma, pode-se fazer precocemente o acompanhamento longitudinal do trabalhador, evitando o desenvolvimento para quadros irreversíveis.

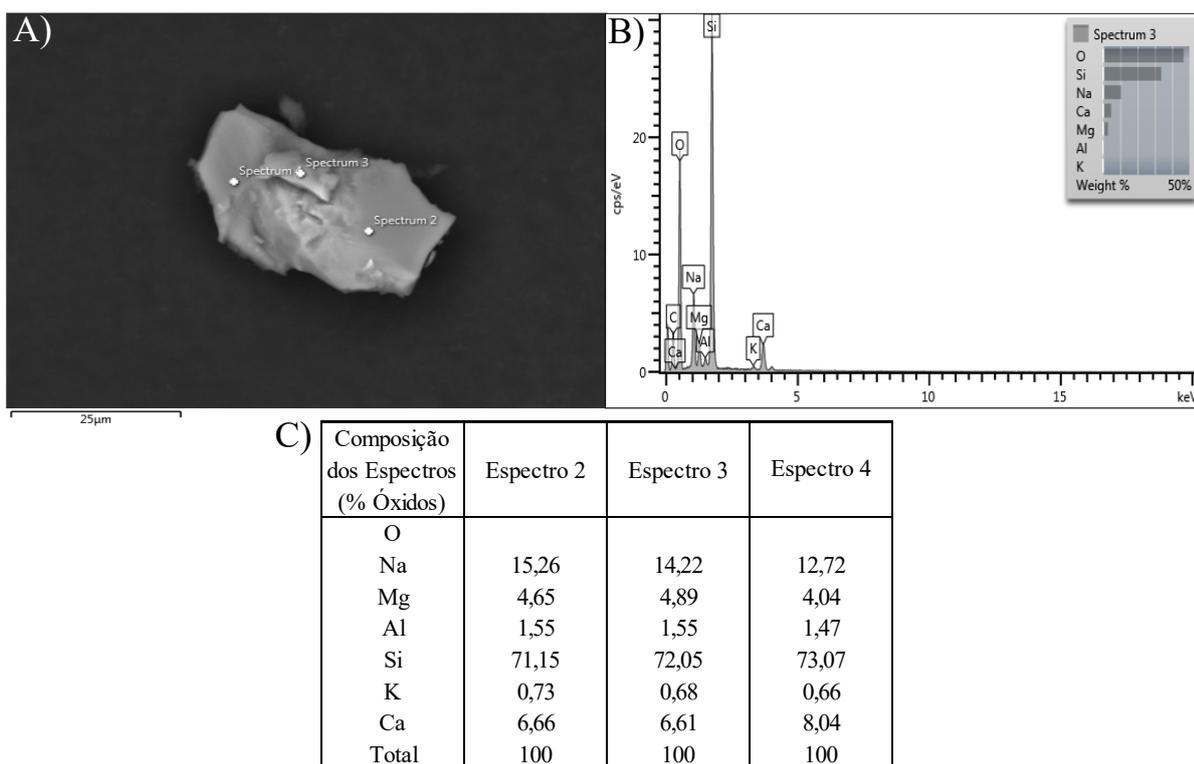
#### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a descrição e interpretação das partículas contidas nos EBCs dos voluntários este trabalho utilizou do banco de dados levantado e concedido pela equipe de Carneiro *et al.* (2017). O banco de dados disponibilizado inicia-se com a coleta dos EBCs dos voluntários pela Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Scalia Carneiro em 2014 e posterior análise pela técnica de MEV-EDS (Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva de raios-X) no Laboratório de Microscopia e Microanálises da UFOP (LMic) sob coordenação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Olívia Bezerra e colaboração de pesquisadores e técnicos da UFOP (Fig. 2.1).



**Fig. 2.1** – Resumo das principais etapas de levantamento do banco de dados disponibilizado por Carneiro *et al.* (2017) para execução desta monografia. LMic=Laboratório de Microscopia e Microanálises (DEGEO/UFOP).

O banco de dados disponibilizado incluiu fotomicrografias (Fig. 2.2A), espectrogramas correspondentes aos pontos de microanálises químicas (Fig. 2.2B), tabelas composicionais para os espectros (em porcentagem de óxidos ou porcentagem de peso elementar) (Fig. 2.2C) e anotações manuscritas *in loco*.



**Fig. 2.2** – A) Exemplo de fotomicrografia (imagem obtida pela detecção de elétrons retroespalhados), B) espectrograma mostrando elementos medidos para o espectro 3 e tabela composicional e C) lâmina referente ao lapidário CR15 (dados cedidos pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Olívia Bezerra, pertencente ao grupo de pesquisa de Carneiro *et al.* 2017).

Carneiro *et al.* (2017) amostrou EBCs de 12 lapidários de quartzo em Corinto, MG, e 11 voluntários para o grupo controle (servidores da UFOP), sem nenhuma exposição ocupacional à sílica, entre maio e outubro de 2014.

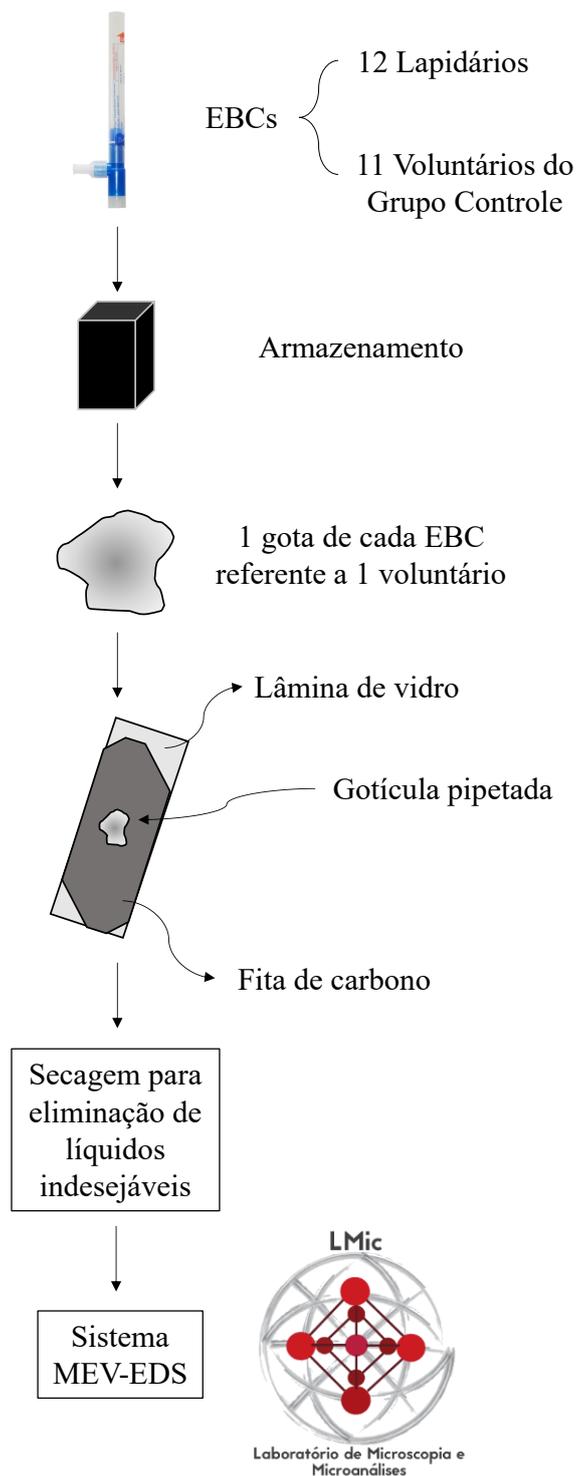
Para obtenção do EBC, cada participante respirou normalmente durante 15 minutos em um tubo metálico refrigerado contendo internamente um tubo plástico (RTubes<sup>®</sup>/ Respiratory Research Inc., Charlottesville, VA, USA; Fig. 2.3), com a utilização de cliques nasais, em local limpo e distante da exposição ocupacional (Carneiro *et al.* 2017). De acordo com a fabricante dos RTubes<sup>®</sup>, esse tipo de coleta ocorre de forma não invasiva. O instrumento é capaz de extrair gotículas (ou fluidos) facilmente analisáveis, contendo partículas sólidas, como minerais, e vários biomarcadores, como DNA, RNA, mRNA, proteínas, metabólitos e compostos orgânicos voláteis.



**Fig. 2.3** – Tubo plástico utilizado para coleta dos EBCs (RTubes®/ Respiratory Research Inc.).

Para evitar contaminações e isolar as amostras de EBC, todas foram seladas em RTubes®, logo após terem sido coletadas, e sem nenhum tratamento adicional. Por fim, as amostras foram transportadas a -20 °C e armazenadas em um mesmo ambiente a -80 °C até serem analisadas pelo sistema MEV-EDS no laboratório de microscopia e microanálises do DEGEO-UFOP (LMic) pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Olívia Bezerra (Carneiro *et al.* 2017).

Para obter imagens e determinar a composição dos particulados, foi utilizada a técnica de MEV-EDS. Após retirada do armazenamento, foram utilizadas pipetas virgens de vidro, sem contaminação, para transferir uma gota de cada EBC para um pedaço de fita de carbono aderida a uma lâmina de vidro. Por fim, o conjunto passou por um período de secagem em ambiente protegido para evaporação de líquidos indesejáveis (Fig. 2.4).



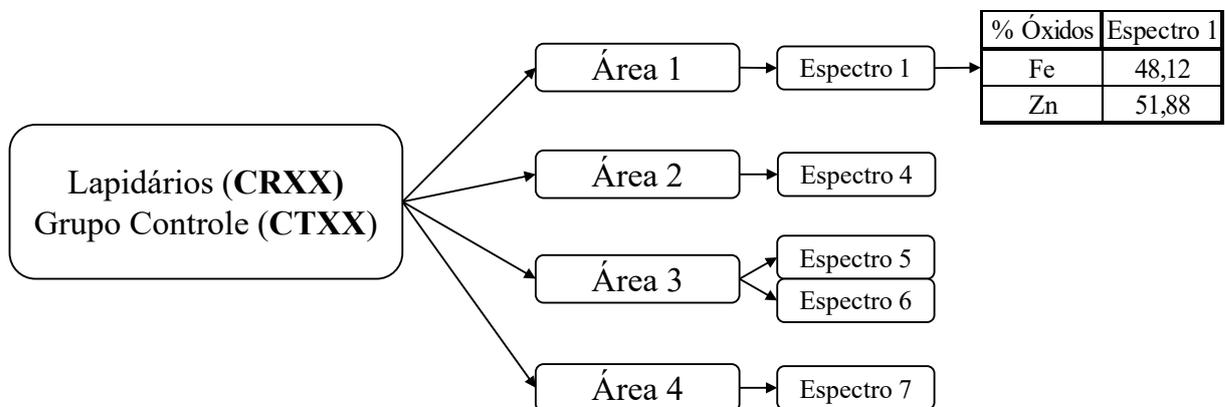
**Fig. 2.4** – Etapas de preparação e análise dos EBCs (Carneiro *et al.* 2017).

O MEV utilizado (JSM-6510, JEOL) conta com um espectrômetro de energia dispersiva de raios-X (EDS), com tecnologia SDD (*Silicon Drift Detector*) da marca Oxford e software Aztec também da marca Oxford. Em virtude da utilização da fita de carbono, este elemento não foi

considerado nas análises. As varreduras foram pontuais, com espera para estabilização dos picos e critérios pré-definidos, como direcionamento sempre no sentido de cima para baixo e da direita para a esquerda e aumentos segundo necessidade de obtenção de imagens mais abrangentes.

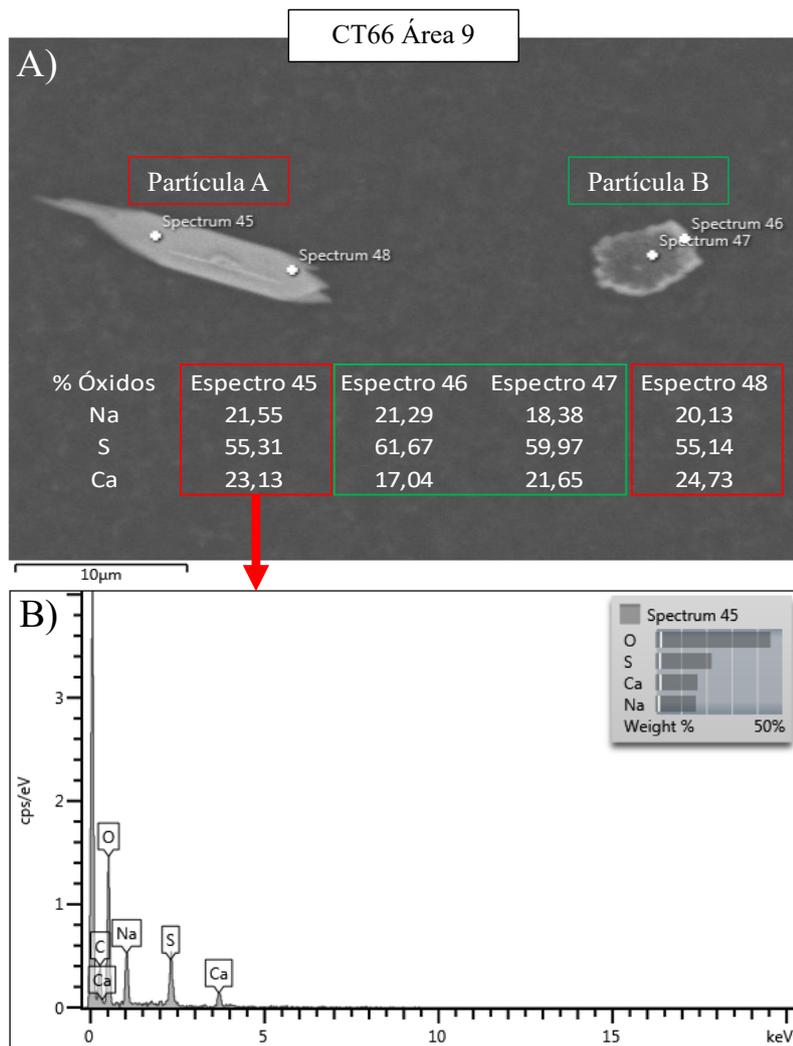
### 2.1.1 Organização dos dados

Para cada EBC referente a um lapidário (CRXX) ou um voluntário do grupo controle (CTXX), os pesquisadores selecionaram áreas representativas para serem analisadas (Carneiro *et al.* 2017). Através das fotomicrografias em escala de cinza, pontos específicos (contrastantes com a vizinhança) foram determinados para identificação dos espectros elementares (Fig. 2.5).



**Fig. 2.5** – Exemplo genérico da organização dos dados.

Em seguida, a partir dos raios-X coletados pelo EDS, espectrogramas foram gerados e aspectos composicionais destes pontos determinados. Com isso, foram obtidos dados percentuais em massa dos elementos químicos, convertidos e apresentados nas planilhas na forma de porcentagem em massa de óxidos (exceto para os elementos cloro e flúor). Dessa forma, o sistema MEV-EDS permitiu a identificação das partículas (Fig. 2.6).



**Fig. 2.6** – A) Fotomicrografia com espectros em porcentagem de óxidos (em massa) e B) Espectrograma.

## 2.2 DESCRIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS MEV-EDS

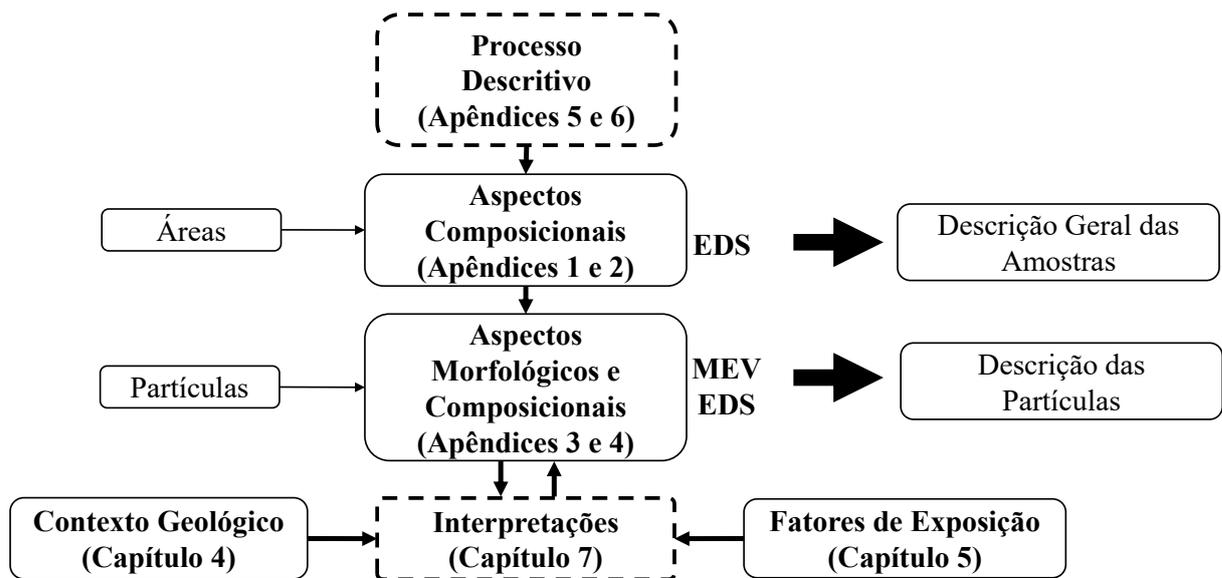
A compreensão sobre a natureza dos constituintes particulados em EBCs pelo sistema MEV-EDS é um campo de estudo recente, com poucas referências bibliográficas sobre o assunto.

A descrição e a interpretação mineralógica das partículas contidas nos EBCs dos lapidários e do grupo controle, objetivo deste trabalho, se basearam na análise morfológica e composicional apresentada pelo sistema MEV-EDS (sobre conceitos e princípios de funcionamento do sistema MEV-EDS ver o Capítulo 3: Revisão do Sistema MEV-EDS). Para que houvesse uma visão geral sobre o problema, uma primeira aproximação descritiva foi realizada com a intenção de reconhecer os aspectos composicionais de áreas dos EBCs (Apêndices 1 e 2), conforme a ocorrência de elementos químicos identificados pelo EDS. Para efeitos do presente estudo só foram considerados (presentes ou

ausentes) os óxidos acima de 10% em massa em ao menos um dos espectros referente à área de análise do EBC, com o objetivo de suprimir parte da identificação dos elementos menores e traço.

Em um segundo momento, as morfologias das partículas mais representativas foram descritas, utilizando-se das escalas de cinza apresentadas pelo MEV. As partículas que apresentaram padrões reconhecíveis e recorrentes foram categorizadas – formas geométricas, arestas e etc. Adiante, foram considerados os aspectos texturais das partículas, diferenciando-as em texturas heterogêneas e texturas homogêneas. Levando-se em conta mais uma vez os aspectos composicionais dos óxidos acima de 10% em massa, as principais associações elementares apresentadas pelas partículas contidas nos EBCs dos lapidários e nos EBCs do grupo controle foram descritas e sumarizadas nas fotomicrografias dos Apêndices 3 e 4.

Por último, uma interpretação foi proposta utilizando-se da integração dos resultados descritivos, do contexto geológico e dos fatores de exposição dos lapidários. Um fluxograma deste processo encontra-se abaixo (Fig. 2.7).



**Fig. 2.7** – Fluxograma do processo de análise.

Para tratamento dos dados, foram utilizados os *softwares* da Microsoft (Excel), manipulação das imagens (PowerPoint) e redação (Word); e o QGIS para confecção dos mapas.

Schiavolin, M. 2021, Caracterização Composicional e Mineralógica de Amostras de Condensado do Ar Exalado por Lapidários de Corinto-MG.

#### 3.1 INTRODUÇÃO AO SISTEMA MEV-EDS

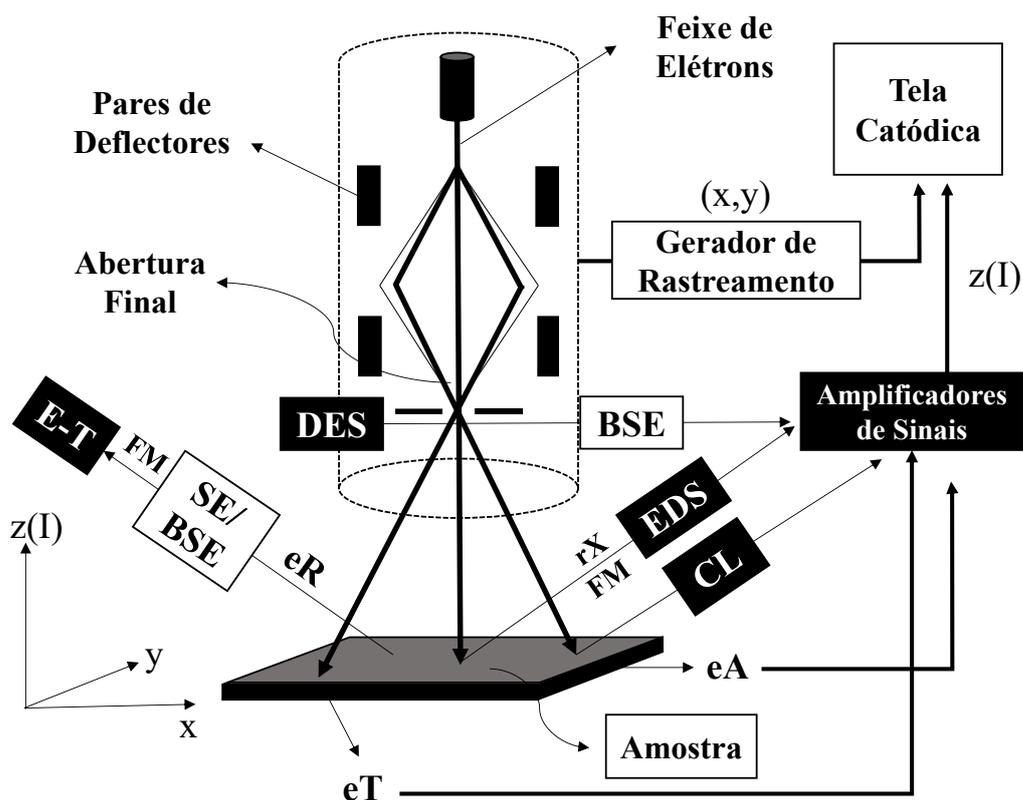
O sistema MEV-EDS tem sido amplamente difundido na comunidade científica em diversas áreas, devido sua capacidade de fornecer informações detalhadas de materiais orgânicos heterogêneos e inorgânicos, em escala micrométrica e nanométrica (Goldstein *et al.* 2003). O princípio de funcionamento do método consiste na emissão de um feixe de elétrons focalizados em um ponto de uma superfície amostral após atravessar uma coluna cilíndrica a vácuo. A interação destes elétrons com o material produz uma série de sinais que podem ser mensurados por detectores posicionados no entorno do equipamento. Os sinais mais comuns são os elétrons secundários (SE/*Secondary Electrons*), os elétrons retroespalhados (BSE/*Backscattered Electrons*), raios-X, elétrons auger (AE/*Auger Electrons*) e outros fótons de energia (Goldstein *et al.* 2003).

Através da recepção destes sinais, o sistema MEV-EDS é capaz de construir imagens virtuais tridimensionais dos objetos analisados, paralelamente à quantificação composicional da amostra. Com isso, o material pode ser analisado segundo suas propriedades microestruturais, microtexturais e químicas (Goldstein *et al.* 2003).

##### 3.1.1 Princípio básico de funcionamento do MEV

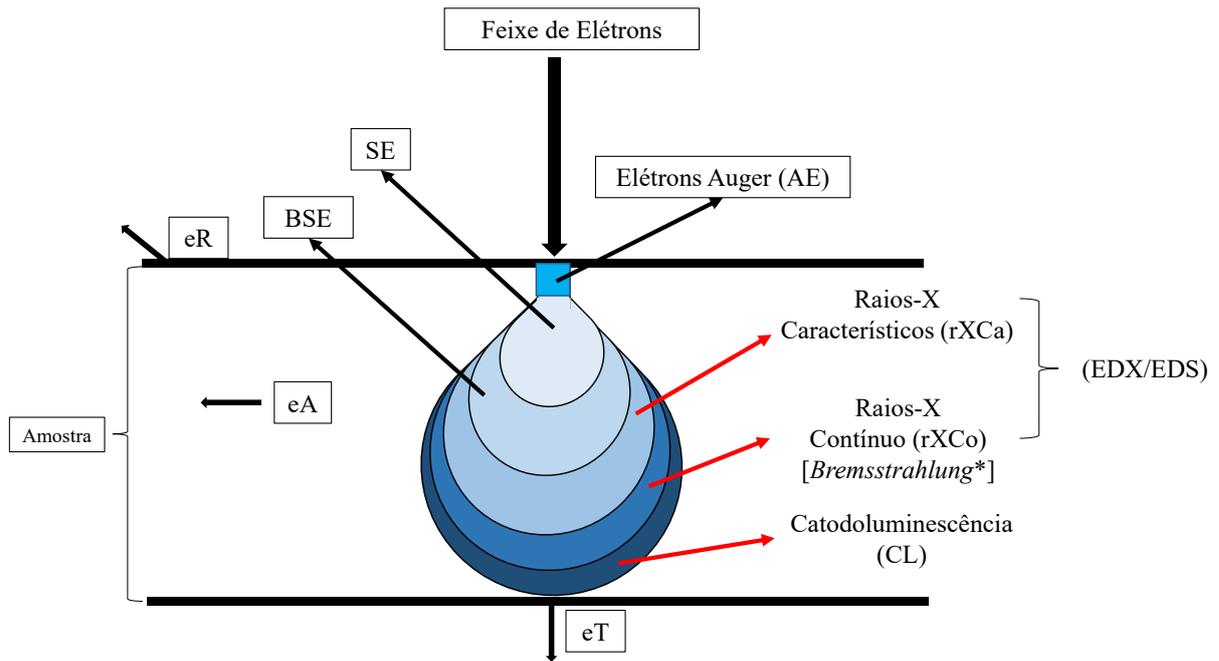
A incidência do feixe de elétrons em uma superfície quadrangular da amostra ocorre de forma pontual, seguindo-se um escaneamento ou varredura de pontos sucessivos. O sinal ou energia emitida pela amostra é captado por um detector e é então transmitido a uma tela catódica, sincronizada com a incidência do feixe, enquanto o sinal é modulado e a geração da imagem realizada (Dedavid *et al.* 2007).

Para ilustrar este funcionamento do MEV, primeiramente há o disparo de um feixe de elétrons na parte superior do equipamento (Fig. 3.1). Em seguida, correntes elétricas são ajustadas para produzir campos eletromagnéticos em bobinas (deflectores) posicionadas aos pares, no interior do equipamento, sob pressões reduzidas (~ vácuo). Com isso, a posição do feixe é direcionada ao ponto de interesse (x, y) e passa a varrer a amostra, enquanto uma tela catódica recebe, em sincronia, as intensidades dos sinais z (I) referentes a interação dos elétrons com a amostra (Goldstein *et al.* 2003).



**Fig. 3.1** – Modelo esquemático simplificado de um sistema MEV-EDS (modificado de Goldstein *et al.* 2003). CL=Coletor de Catodoluminescência, DES=Detector de Estado Sólido, EDS=Energy Dispersive System/sistema de energia dispersiva, E-T=detector de Everhart-Thornley, eA=elétrons Absorvidos, eR=elétrons Refletidos, eT=elétrons Transmitidos, FM=Fotomultiplicador e rX=coletor de raios-X.

Ao colidirem com a amostra, os elétrons entram em contato com os campos elétricos produzidos pelos átomos presentes na amostra e passam a se comportarem de maneiras distintas. Diferentes trajetórias são percorridas, resultando em um volume de interação tridimensional na amostra (Fig. 3.2), em escala micrométrica. Ao final do processo, os elétrons são absorvidos (eA), transmitidos (eT) ou refletidos (eR) (Goldstein *et al.* 2003). Parte daqueles que são refletidos perdem consideravelmente sua energia cinética devido a colisões inelásticas (SE), enquanto outros respondem elasticamente e “não perdem” energia (BSE) (Goldstein *et al.* 2003).



**Fig. 3.2** – Volume esquemático simplificado de interação do feixe de elétrons com a amostra segundo simulações de Monte Carlo (modificado de Whiteside *et al.* 2016 e de Goldstein *et al.* 2003). SE=Secondary Electrons/elétrons secundários, BSE=Backscattered Electrons/elétrons retroespalhados, eR=elétrons refletidos, eA=elétrons absorvidos, eT=elétrons transmitidos, \*Bremsstrahlung=radiação de frenagem.

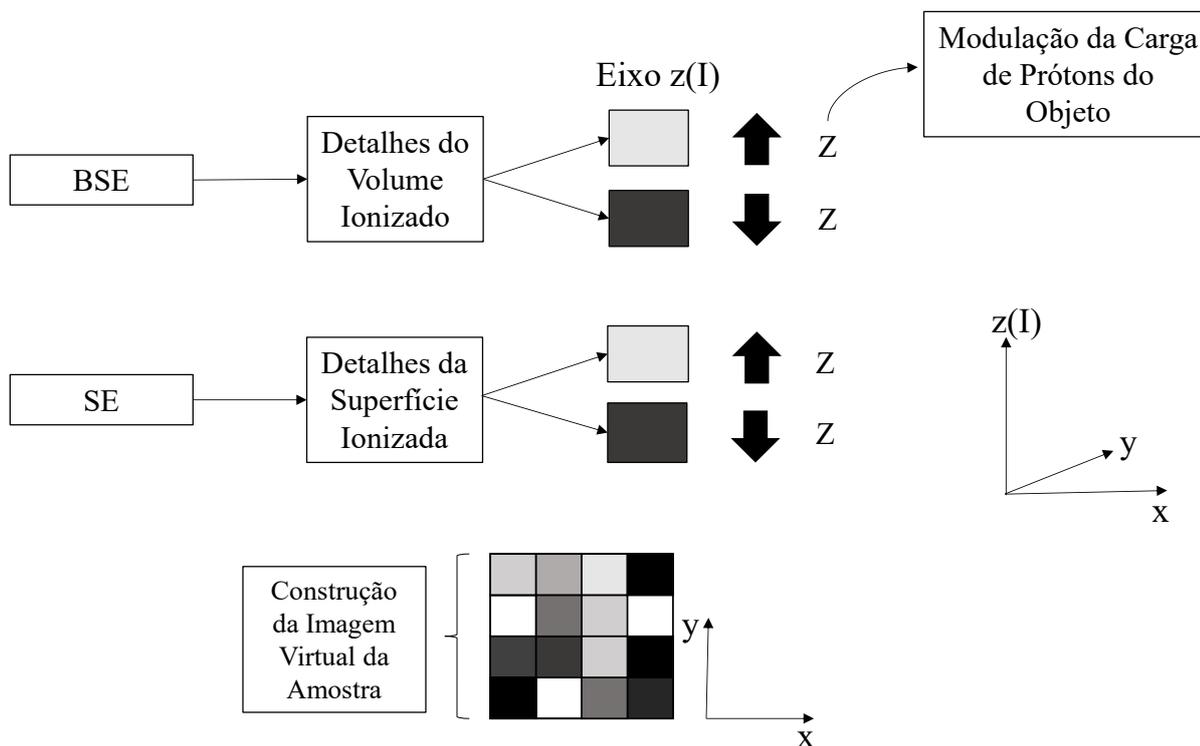
A probabilidade de espalhamento elástico ( $Q$ ) aumenta conforme o número atômico ( $Z$ ) do material amostrado, em uma relação onde  $Q \sim Z^2$ . Por sua vez, a taxa de perda de energia ( $PE$ ) mantém uma relação inversa com o espalhamento elástico  $Q \sim 1/PE^2$ . Conforme o  $Z$  aumenta, os elétrons tendem a se desviarem mais da direção inicial atingida pelo feixe, com ângulos de espalhamento maiores, e simultaneamente tendem a percorrerem mais rapidamente a amostra. Como resultado, o tamanho do volume de interação diminui, já que os elétrons, em razão das menores taxas de perda de energia, escapam da amostra mais facilmente (respondem elasticamente) e estão menos sujeitos a serem absorvidos. Assim, a contagem de BSE é alta (Goldstein *et al.* 2003).

O raciocínio inverso é válido. Com  $Z$  baixo, há menores probabilidades de comportamentos elásticos (resposta inelástica), maiores taxas de perdas de energia, baixos ângulos de desvios da direção inicial e maiores volumes de interação (maior capacidade de penetração na amostra). Portanto, a contagem de BSE é baixa (Goldstein *et al.* 2003).

Segundo Dedavid *et al.* (2007), os elétrons mais utilizados para obtenção de imagens em amostras geológicas são os SE e os BSE. Com o objetivo de quantificá-los, uma série de detectores são posicionados no entorno da amostra. O detector de Everhart-Thornley, por exemplo, contém um cintilador e uma gaiola de Faraday que, ajustada sua diferença de potencial, permite rejeitar SE ou coletá-los mais eficientemente (Goldstein *et al.* 2003). Ainda de acordo com Goldstein *et al.* (2003),

como os SE são mais superficiais que os BSE, a escolha de privilegiá-los traz maiores informações sobre a topografia da amostra.

Através dos amplificadores de sinais, a contagem dos elétrons para cada ponto  $(x, y)$  amostrado permite que se obtenha um valor de intensidade  $(I)$ , que passa a ser convertido em uma escala de cinza (Fig. 3.3). Com o término do rastreamento, o resultado da quantificação total e relativa dos SE e dos BSE para toda a amostra  $f(x, y, I)$  são modelados matematicamente e convertidos em uma imagem digitalizada. Dessa forma, são obtidas informações composicionais, topográficas e de cristalinidade do objeto (Goldstein *et al.* 2003).



**Fig. 3.3** – Construção da imagem virtual na tela catódica do MEV em escala de cinza através da quantificação dos SE e BSE (modificado de Goldstein *et al.* 2003).

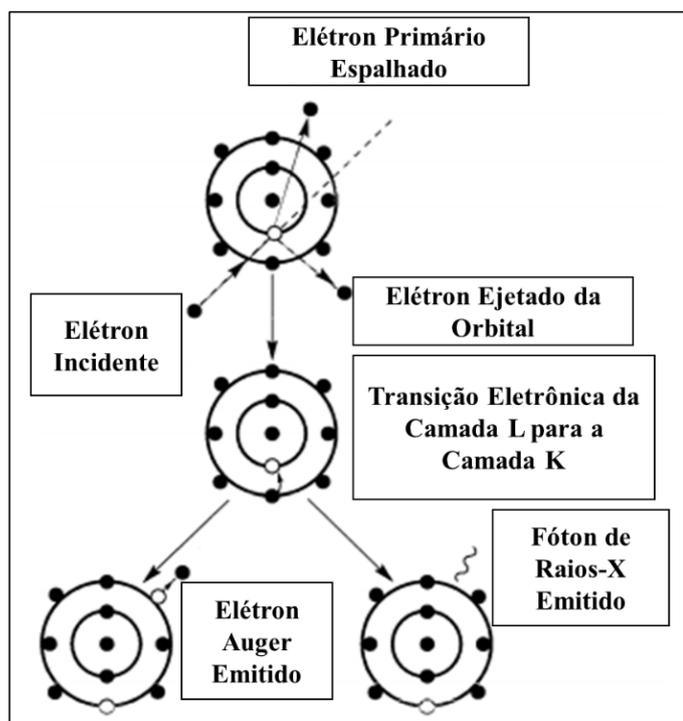
### 3.1.2 Princípio básico de funcionamento do detector EDS

O MEV pode vir acompanhado de um componente detector denominado EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*/Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X), capaz de determinar composições das amostras, a partir da detecção de raios-X emitidos (Goldstein *et al.* 2003).

Do volume resultante da interação do feixe de elétrons com o objeto analisado, uma das possibilidades é a emissão de fótons de raios-X característicos ( $rXC\alpha$ ), de energia específica para o elemento presente na amostra. Outra possibilidade é a emissão de fótons que não guardam relações de

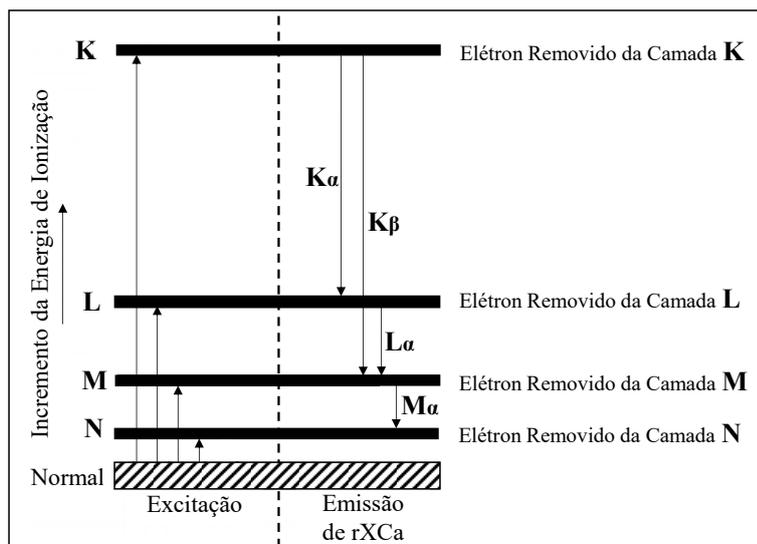
correspondência elementar, denominados de raios-X contínuos, ou *Bremsstrahlung* (rXCo), resultantes da desaceleração dos elétrons ao entrarem em campos eletromagnéticos gerados pelos átomos (Goldstein *et al.* 2003).

Quando um elétron externo (do feixe) incide sobre um átomo, um elétron do átomo é ejetado da orbital, enquanto o elétron primário incidente é espalhado (gerando os efeitos mecânicos já comentados anteriormente para os SE e BSE). Esse novo arranjo eletrônico é instável para o átomo, que tem de reconstituí-lo. A excedência de energia de ionização (energia mínima para retirar um elétron de uma camada ou subcamada) gera possíveis transições eletrônicas, cada qual produzindo uma quantidade determinada de energia na forma de fótons, na forma de rXCa e elétrons Auger (Fig. 3.4) (Goldstein *et al.* 2003).



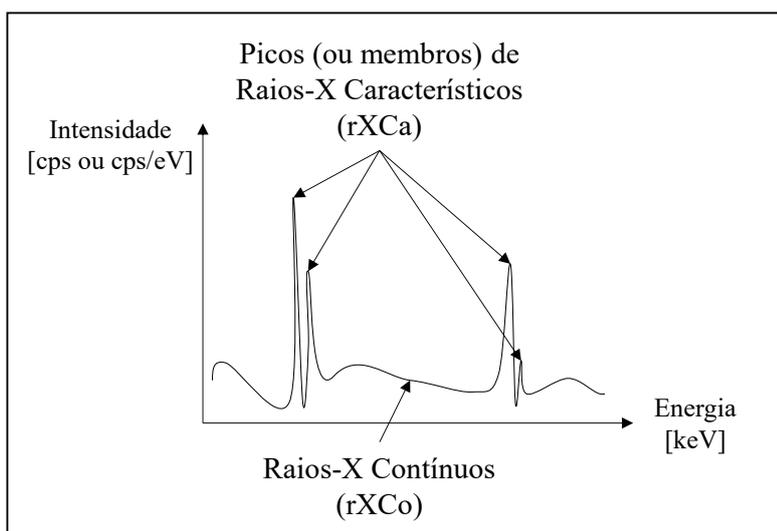
**Fig. 3.4** – Princípio básico de emissão de fótons de energia produzindo rXCa (modificado de Goldstein et al. 2003)

Ordens de incremento da energia de ionização geram excitações específicas que, quando relaxadas, emitem os rXCa (Fig. 3.5). Como exemplo, uma excitação com energia de ionização “K” retorna sequencialmente os rXCa  $K\alpha$ , ( $K\beta$  e  $L\alpha$ ) e  $M\alpha$  conforme o átomo retorna ao seu estado normal.



**Fig. 3.5** – Relações entre energia de ionização, excitação e emissão de rXC<sub>a</sub> (modificado de Goldstein *et al.* 2003).

A energia de ionização necessária para que determinadas transições eletrônicas ocorram geram famílias de raios-X (picos ou membros) únicos para um determinado elemento químico (tipificação elementar), como uma impressão digital. Por sua vez, as intensidade desses picos retornam valores quantitativos da presença daquele elemento na amostra. O gráfico gerado tem na sua abscissa a energia de ionização necessária (em kilo elétrons-volt) e na ordenada a intensidade resultante (em contagem de fótons por segundo) (Fig. 3.6).



**Fig. 3.6** – Gráfico resultante de uma análise EDS (modificado de Goldstein *et al.* 2003).

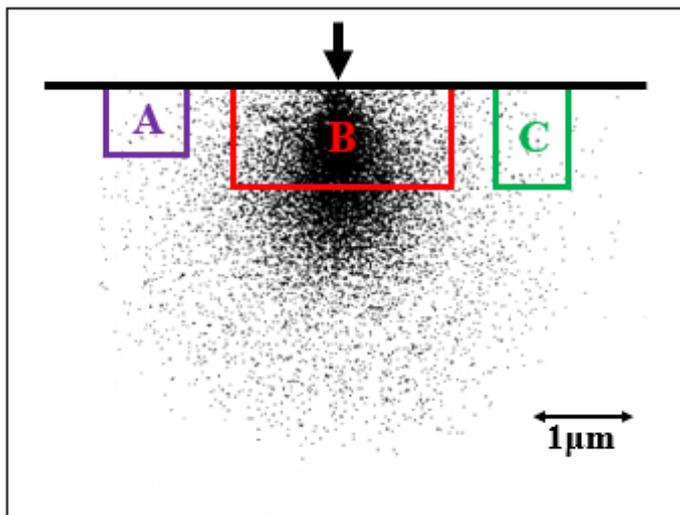
### 3.2 METODOLOGIA E CONFIABILIDADE DO SISTEMA MEV-EDS

A análise dos picos de rXCa por EDS para caracterização composicional foi realizada através de métodos qualitativos. De acordo com Newbury & Ritchie (2013), o método qualitativo é constituído por etapas de reconhecimento de famílias de rXCa, através de softwares de identificação automatizada, que definem a composição do objeto de análise.

Adquirir dados qualitativos robustos e de alta confiabilidade demanda critérios e cuidados especiais. Diferentes estratégias podem ser definidas pelo usuário para modificar o procedimento de interpretação dos picos elementares e o rigor matemático esperado. O analista deve se atentar para a definição dos parâmetros do software ajustados às necessidades do estudo e manualmente inspecionar o processo de varredura para verificação das sugestões dadas pelo programa.

O EDS permite microanálises qualitativas com elevado grau de confiabilidade para identificação de elementos maiores (acima de 10% em massa). Entretanto, os resultados são menos satisfatórios quanto maior é a proporção de elementos menores (entre 1% e 10% em massa) e traços (menor que 1% em massa) no objeto (Newbury & Ritchie 2013). Outros motivos também concorrem para perda na confiabilidade dos dados obtidos pelo método. Alguns destes, apontados por Goldstein *et al.* (2003) e Newbury & Ritchie (2013), são:

- Desconsideração e/ou coincidência de picos erroneamente interpretados pelo sistema automatizado, em razão da definição dos parâmetros internos do software;
- Inadequação das configurações de análise (tempo de aquisição dos dados insuficiente), gerando baixa intensidade (contagem) dos sinais captados e ocorrência de variações estatísticas aleatórias (exemplo: identificação de rXCa ao invés de rXCo).
- Não linearidade na posição dos picos de forma apropriada abaixo de 1keV (energia) devido coletas incompletas dos raios-X e efeitos de fóton coincidência (em alguns casos, inabilidade do EDS para separação de membros de uma família de rXCa abaixo de 3keV);
- Dimensões equivalentes entre o volume de interação e as partículas, ocasionando sobreposição composicional de objetos distintos (Fig. 3.7);
- Supressão de picos elementares do espectro pela presença generalizada de determinado material na amostra.



**Fig. 3.7** – Exemplo ilustrativo de possíveis interferências da vizinhança em decorrência das características dimensionais das partículas e do volume de interação (modificado de Goldstein *et al.* 2003).

### 3.3 LIMITAÇÃO DAS ANÁLISES DOS EBCS POR MEV-EDS

As principais limitações da técnica de MEV-EDS relativas a este estudo possivelmente ocorreram em relação a identificação dos elementos menores e traços e na determinação composicional e morfológica (baixa resolução) de partículas de dimensões nanométricas – mais comumente encontrada nos agregados.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Inicialmente, apresentam-se conceitos e nomenclaturas de cunho geológico utilizados no decorrer do texto. Em seguida, tem-se uma síntese sobre características composicionais e formas de ocorrência do quartzo e uma contextualização de sua distribuição na região centro-leste e nordeste de Minas Gerais (nas proximidades de Corinto).

#### 4.2 CONCEITOS E TERMOS GEOLÓGICOS

Parte do material particulado encontrado nos EBCs é composto por material inorgânico. Quando um material inorgânico é homogêneo, de composição química definida, arranjo estrutural ordenado e ocorrência natural, tem-se o que se denomina mineral. Nesse caso, o mineral é classificado segundo um sistema cristalino (Haldar & Tisljar 2014). Uma rocha, por sua vez, é formada em condições naturais por um conjunto de minerais (algumas poucas rochas são praticamente monominerálicas), sob determinadas condições de pressão, temperatura, pressão de fluidos, voláteis, dentre outros parâmetros, ao longo de variados períodos de tempo (Lutgens *et al.* 2017).

A depender das condições de contorno, havendo espaço e tempo para o crescimento dos minerais, o ordenamento interno da rede cristalina, seus padrões de simetria, tende a se refletir externamente nas suas faces ou hábito. Emprega-se usualmente, nestes casos, o termo cristal (Fig. 4.1) (Klein & Philpotts 2013; Lutgens *et al.* 2017).



**Fig. 4.1** – Rocha pegmatítica apresentando cristais com faces definidas, refletindo a estrutura cristalina interna (extraído de Klein & Philpotts 2013).

A organização dos átomos e os tipos de ligações químicas em uma rede cristalina conferem específicas propriedades físicas aos minerais, que são utilizadas para diferenciá-los. Uma delas, por exemplo, refere-se à susceptibilidade – relativa à aplicação de uma força – a ruptura (perda de coesão) ou fragmentação ao longo de superfícies determinadas em função do sistema cristalino e arranjo de ligações de dado mineral. Quando a fragmentação ocorre em superfícies plano-paralelas, define-se planos de clivagem. Quando a fragmentação se dá ao longo de superfícies não planares ou irregulares, utiliza-se o termo fratura. Esse tipo de propriedade tem efeito prático na identificação de alguns minerais que apresentam clivagens ou fraturas características (Bloss & Gibbs 1963; Correns 1969; Klein & Philpotts 2013; Lutgens *et al.* 2017). O quartzo, por exemplo, apresenta superfícies de ruptura classificadas como fraturas conchoidais (Fig. 4.2) (Klein & Philpotts 2013).



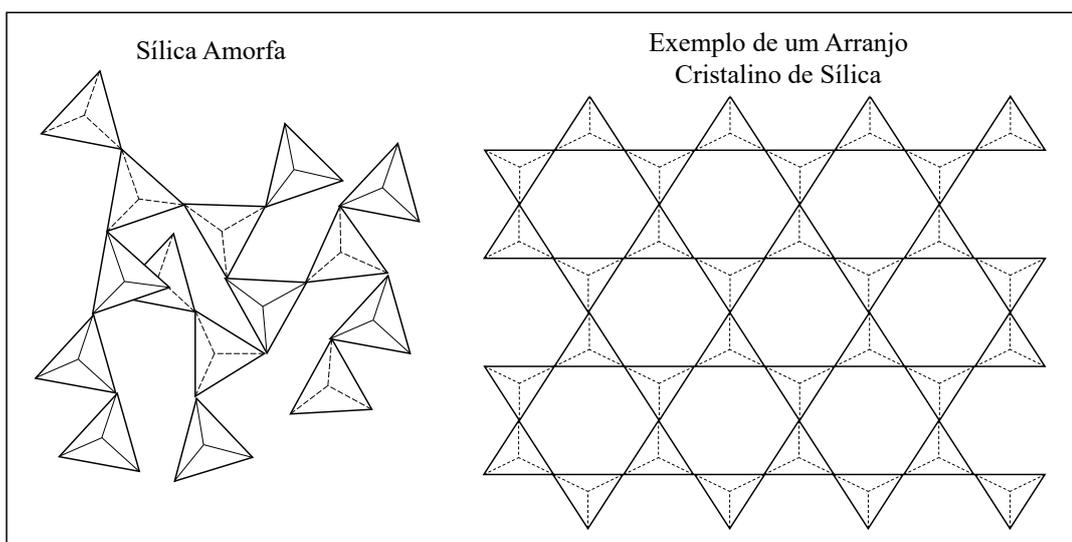
**Fig. 4.2** – Fratura conchoidal em cristal de quartzo (extraído de Klein & Philpotts 2013).

A associação de um ou mais minerais, sob determinadas condições geológicas, formam inúmeros tipos de rochas, descritas pela petrografia ou petrologias (campos de estudo das características físicas das rochas) (Lutgens *et al.* 2017; Boggs 2001). A disposição das rochas em superfície e subsuperfície é tema tratado, dentre outras áreas do conhecimento geológico, pela estratigrafia. Mais especificamente, são objetos de estudo da litoestratigrafia ordenar, classificar e hierarquizar (em supergrupos, grupos, formações e membros) tipos litológicos existentes em uma região (Boggs 2001).

A disposição desses tipos litológicos na crosta terrestre, em superfície e em profundidade, bem como os processos formadores dos mesmos, está associada às dinâmicas externa e interna da Terra. A depender dos processos geológicos envolvidos, serão formados determinados litotipos e também estruturas que devem caracterizar as condições vigentes. Um exemplo são os veios, que são corpos de rochas magmáticas tabulares, discordantes, ou que “cortam” as rochas encaixantes (mais antigas), e se formam a partir da cristalização de minerais, comumente preenchendo fraturas preexistentes. São corpos de rocha de dimensão centimétrica até métrica (Marshak & Van Der Pluijm 2004).

### 4.3 O QUARTZO

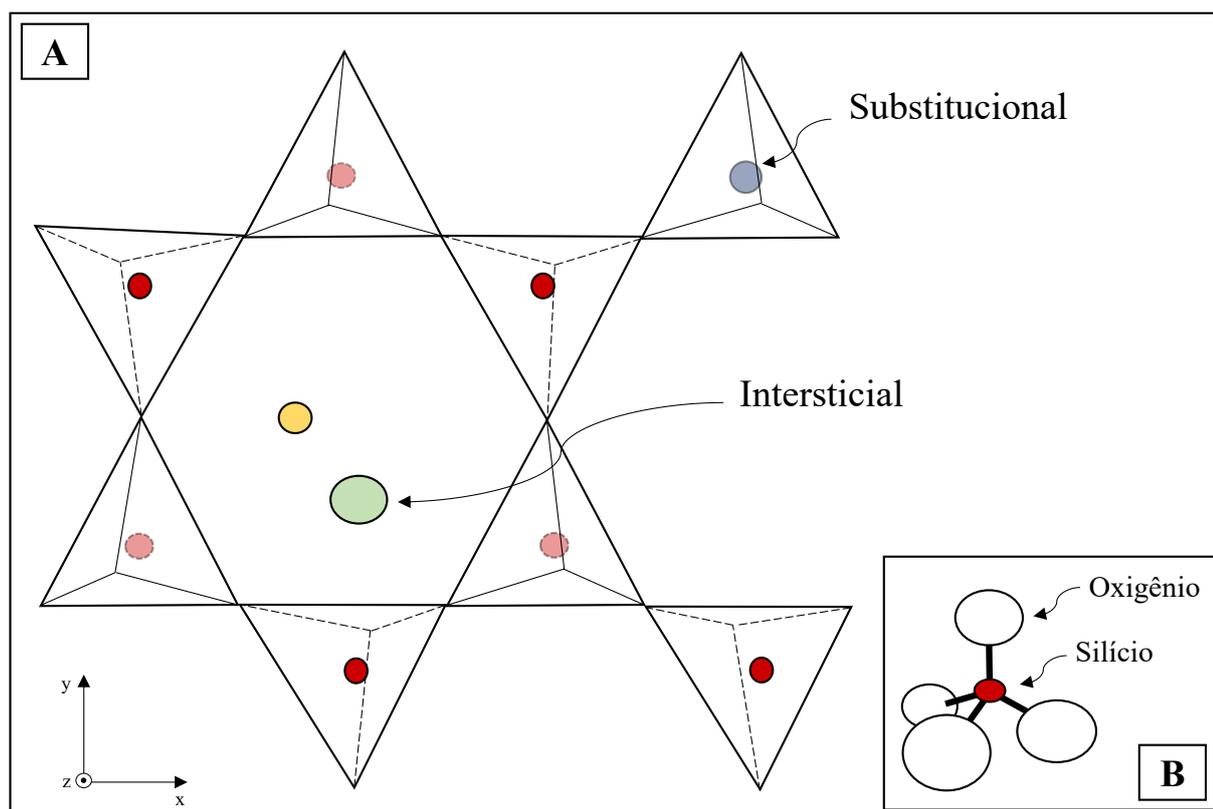
O dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), ou popularmente sílica, está presente em compostos inorgânicos amorfos – onde não há um sistema de cristalização definido e ordenado, mas também define todos os silicatos. Dentre estes destacam-se os tectossilicatos, grupo mineral no qual encontram-se os minerais do grupo da sílica (Fig. 4.3) (Greenberg *et al.* 2007; Demange 2012).



**Fig. 4.3** – Ilustração da sílica amorfa e exemplo de um arranjo cristalino de sílica (modificado de Polyakova 2014).

Exemplos de minerais do grupo da sílica são a tridimita, a cristobalita e o quartzo; tidos como polimorfos entre si – expressão que se refere a minerais de mesma composição química, mas diferentes sistemas cristalinos (Greenberg *et al.* 2007; Demange 2012). O quartzo é o mais comumente encontrado na parte superior da crosta e é frequentemente usado para fins tecnológicos (Götze & Möckel 2012; Santos 2014) e estéticos (Branco 2008; Correa 2010). Está presente em muitos tipos de rochas e solos, devido a abundância dos elementos silício e oxigênio, e sua alta estabilidade química e física, que o torna pouco suscetível às intempéries (Correa 2010; Fleischer 1953).

A unidade básica de  $\text{SiO}_2$ , presente em todos os silicatos, apresenta um arranjo tetraédrico (Fig. 4.4A), onde o íon silício ( $\text{Si}^{+4}$ ) central é estabilizado por quatro íons de oxigênio ( $\text{O}^{-2}$ ) externos (Fig. 4.4B). No caso do quartzo, a repetição dessas unidades tetraédricas resulta em uma cadeia tridimensional (pirâmides interconectadas pelos vértices de oxigênio), onde cada tetraedro é ligado a outros quatro (Polyakova 2014; Favacho-Silva 2000; Barbosa 2012; Correns 1969; Demange 2012).



**Fig. 4.4** – A) Representação esquemática bidimensional de uma cadeia de tetraedros de sílica que caracterizam os tectosilicatos (a estrutura se repete no eixo z) e os processos de intercâmbio elementar relacionados. B) Unidade básica de formação dos tetraedros de sílica (Lutgens *et al.* 2017; Polyakova 2014).

### 4.3.1 Variedades de quartzo

Quanto às suas formas de ocorrência, o quartzo é encontrado na natureza em diferentes cores e tonalidades (Fig. 4.5). Alguns exemplos são: quartzo rosa (vermelho-rosa), citrino (amarelo-laranja), quartzo fumê (amarelo-cinza-preto), ametista (roxo) e hialino ou cristal de rocha (incolor) (Navarro & Zanardo 2016; Alecrim 1982).



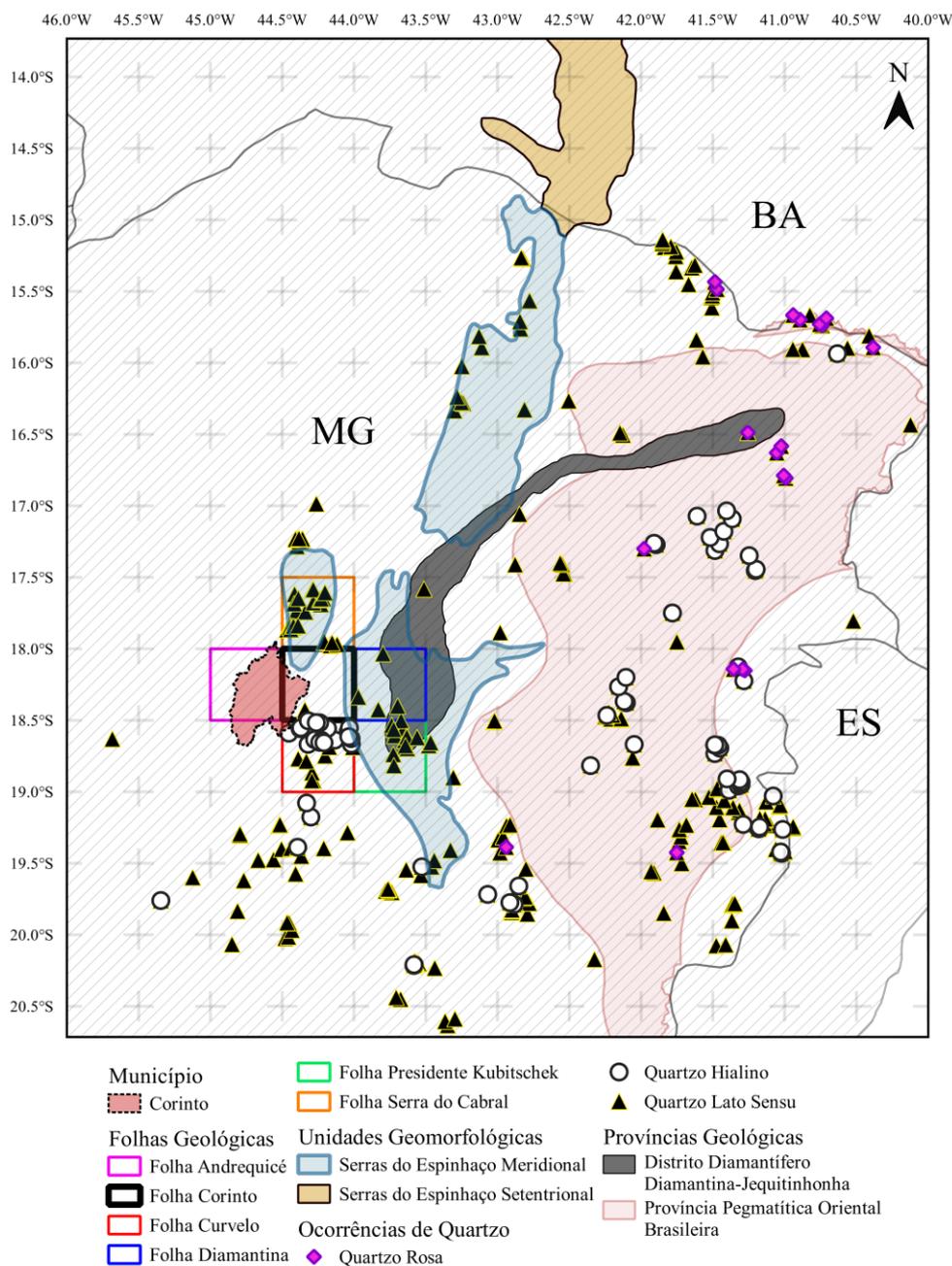
**Fig. 4.5** – Amostras de mão de (sentido horário da esquerda para direita) quartzo rosa, citrino, quartzo fumê, ametista e quartzo hialino ou cristal de rocha (extraído de Klein & Philpotts 2013).

Essas diferenças na coloração justificam-se pelo intercâmbio de elementos químicos durante a formação do mineral. Ocorrem processos de substituição pela entrada de elementos traço no lugar ocupado pelo silício no tetraedro de sílica, e/ou pela entrada de elementos traço nos interstícios do cristal (Fig. 4.4A) (Barbosa 2012).

O íon silício ( $\text{Si}^{4+}$ ) por vezes é substituído por outro elemento químico, com raio iônico e valência semelhantes, por substituição. Segundo Barbosa (2012), alguns destes substitutos podem ser:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{H}^+$  e  $\text{P}^{5+}$ . Contudo, ainda assim pode haver um desequilíbrio estrutural, já que, à exceção do íon titânio, o restante precisa ser contrabalanceado por uma carga adicional. Para tanto, alguns cátions são incorporados em posições intersticiais para compensar essa falta. Alguns exemplos, citados por Barbosa (2012), são:  $\text{H}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cu}^+$  ou  $\text{Ag}^+$ .

#### 4.4 OCORRÊNCIAS DE QUARTZO NA REGIÃO CENTRO-LESTE E NORDESTE DE MINAS GERAIS

Favacho-Silva (2000) faz uma divisão simplificada entre dois ambientes, de características distintas, onde encontram-se cristais de quartzo de qualidade gemológica no centro-leste e nordeste de Minas Gerais: domínio hidrotermal na Serra do Espinhaço (unidade geomorfológica), e domínio pegmatítico na Província Pegmatítica Oriental Brasileira (província geológica) (Fig. 4.6)

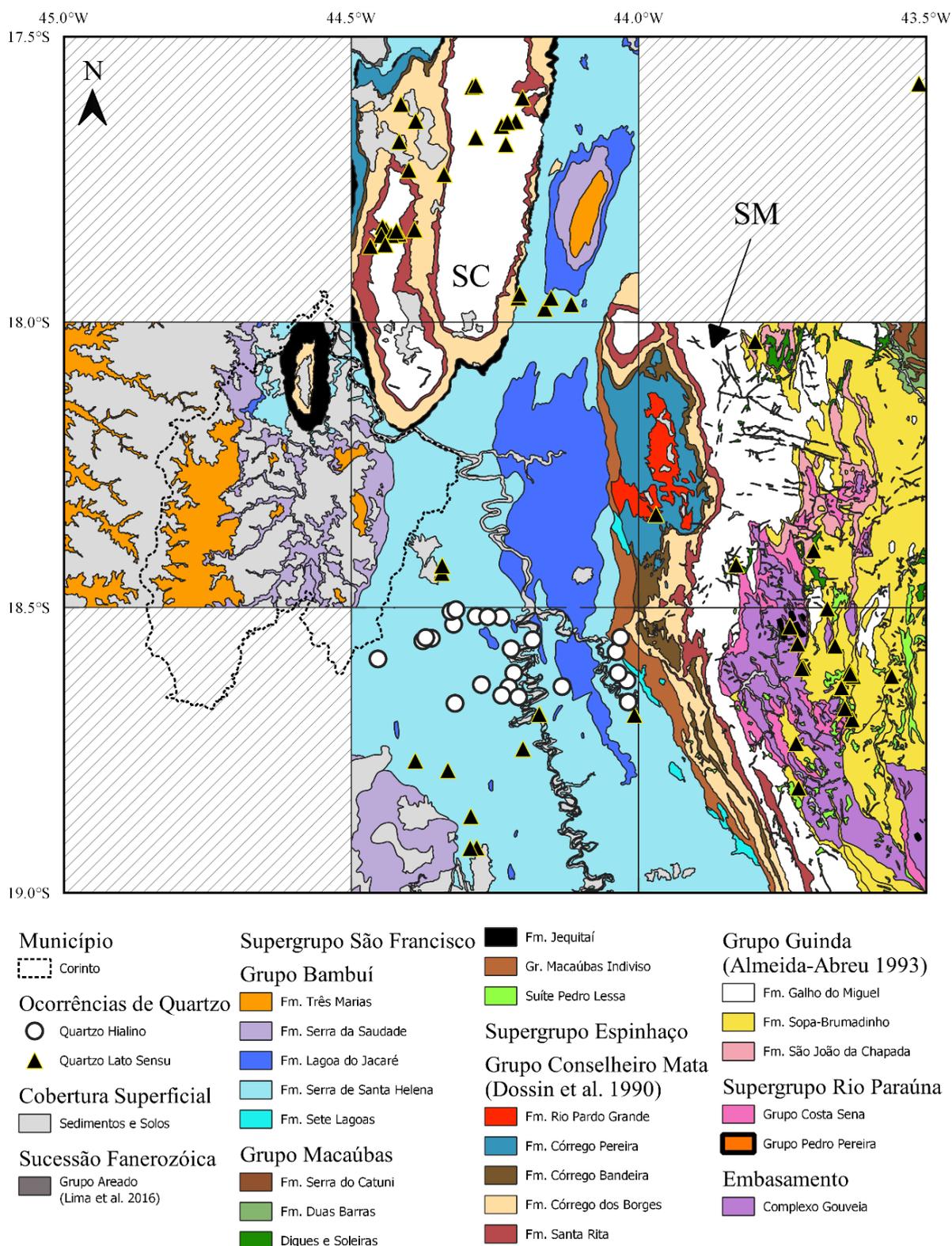


**Fig. 4.6** – Mapa da região central e nordeste de Minas Gerais, indicando principais domínios de ocorrência de quartzo. Gerência de Recursos Minerais/SUREG-BH, CPRM, 2009; CPRM; UFMG/Projeto Espinhaço. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>. Acesso em: 05 jul. de 2020.

A região de interesse, no entorno de Corinto, está contida no domínio da Serra do Espinhaço Meridional. De acordo com Favacho-Silva (2000) e Scholz *et al.* (2012), há prevalência na região de quartzo de origem hidrotermal (veios). Barbosa (2012) destaca que estes veios, em especial os de quartzo hialino e colorido, estão inseridos principalmente em quartzitos e metapelitos do Supergrupo Espinhaço. De forma similar, Chaves *et al.* (2003) associa a presença dos veios, além dos metapelitos, às faixas de milonitização do Complexo Basal.

As considerações de Barbosa (2012), Chaves *et al.* (2003) e Scholz *et al.* (2012) e a observação do mapa geológico (Fig. 4.7) permitem interpretar que as ocorrências de quartzo no entorno de Corinto estão divididas principalmente em três regiões:

- Serra do Cabral (SC), sobre a Fm. Galho do Miguel;
- Serra de Minas (SM), sobre a Fm. Sopa-Brumadinho e rochas do embasamento (Complexo Gouveia), comumente de forma subordinada a diques e soleiras (incluindo a Suíte Pedro Lessa, ver Chaves *et al.* 2003);
- Marginalmente a canais de drenagem do Rio das Velhas e do Rio Paraúnas, em geral sobre a Fm. Serra de Santa Helena.



**Fig. 4.7** – Mapa geológico simplificado da região de interesse, mostrando ocorrências de quartzo nos arredores de Corinto. SC=Serra do Cabral; SM=Serra de Minas. CPRM; UFMG/Projeto Espinhaço. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>. Acesso em: 05 jul. de 2020.

#### 5.1 INTRODUÇÃO

Diversos estudos, como de Greenberg *et al.* (2007) e Gilson (1977), convergem para o entendimento de que a silicose é uma doença que está intimamente relacionada a exposição de sílica livre, de forma prolongada, desprotegida e através de altas concentrações. Ou seja, o problema da silicose está intimamente atrelado a alguns fatores de exposição, como a dosagem – a quantidade de sílica respirável – e o tempo de exposição. A partir de informações coletadas pela Dra. Ana Paula Carneiro, este capítulo apresentará e discutirá alguns destes fatores de exposição nos lapidários de Corinto, MG.

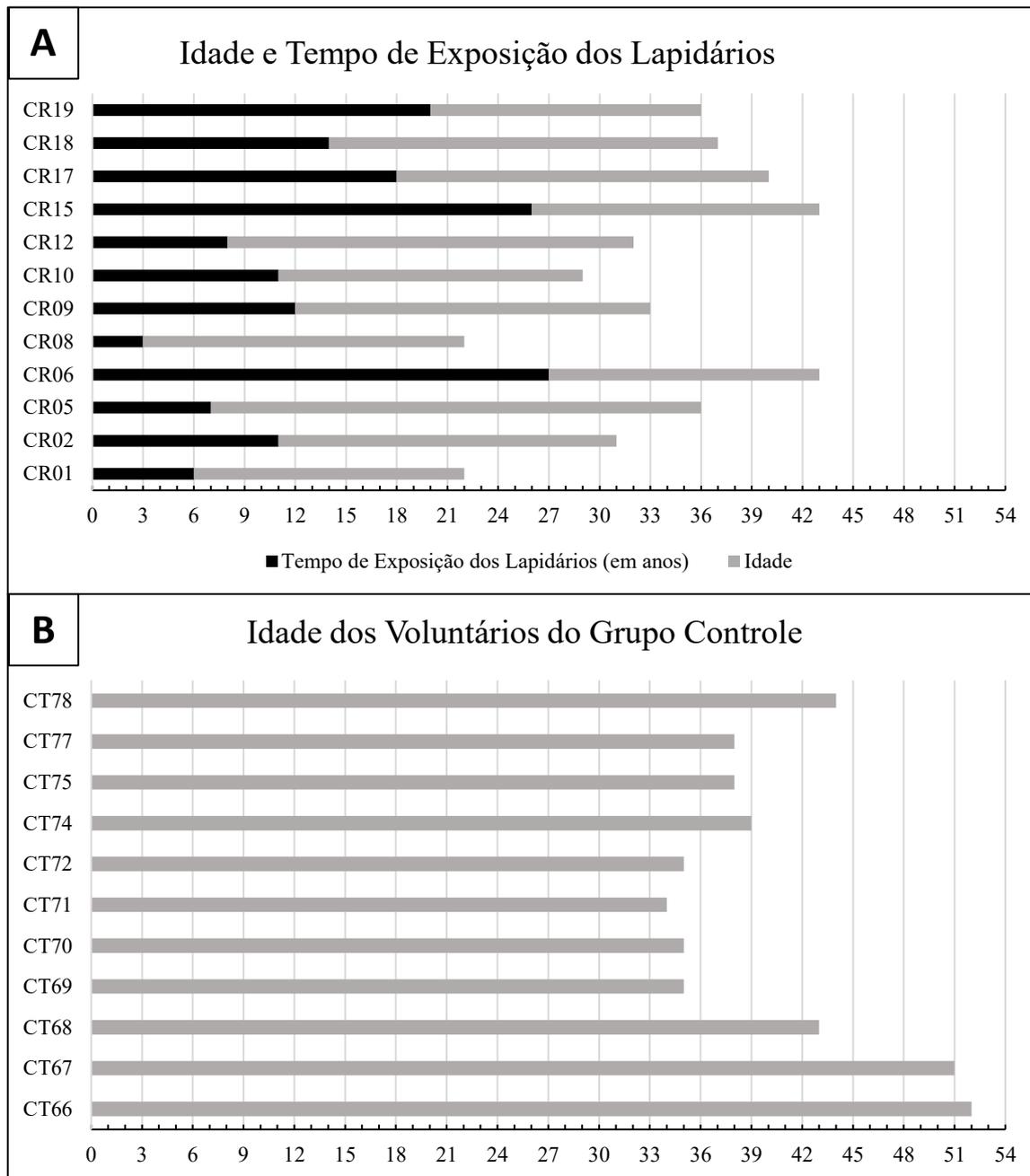
No “Capítulo 7: Interpretações”, esses fatores de exposição serão confrontados com as análises mineralógicas e composicionais das partículas contidas nos EBCs dos lapidários, com o objetivo de encontrar possíveis correlações entre estes fatores e os tipos minerais encontrados.

#### 5.2 TEMPO DE EXPOSIÇÃO

O tempo de exposição a sílica cristalina é tido como um dos pré-requisitos para o desenvolvimento da silicose, já que pequenas quantidades do mineral são esperadas no aparelho respiratório humano não exposto, sem produzir efeitos nocivos. Assim, a silicose dificilmente é encontrada em pessoas que não estão ou nunca estiveram expostas a atividades ocupacionais relacionadas ao manuseio da sílica ou a locais naturalmente com grandes quantidades de poeira mineral (Norboo *et al.* 1991, Gilson 1977).

Como exemplo, Steenland *et al.* (2002) discorre sobre o caso da fibrose massiva progressiva tipicamente desenvolvida após anos de exposição. Ainda neste mesmo estudo, os autores atentam também para a relação direta, mas não linear, entre aumento da exposição acumulada de sílica cristalina ( $\text{mg}/\text{m}^3\text{-anos}$ ) e maiores taxas de mortalidade.

A equipe de Carneiro *et al.* (2017) levantou informações sobre o tempo de exposição e idade dos lapidários que participaram do estudo em questão (Fig. 5.1A), conforme informações presentes no SEST-HC (Serviço Especializado em Saúde do Trabalhador – Hospital das Clínicas da UFMG), entre agosto de 2006 e setembro de 2014.



**Fig. 5.1** – A) Idade e tempo de exposição dos lapidários e B) Idade dos voluntários do grupo controle (dados cedidos pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Olívia Bezerra, pertencente ao grupo de pesquisa de Carneiro *et al.* 2017).

Para efeito comparativo, as idades dos indivíduos do grupo controle também foram consideradas (Fig. 5.1B). Observa-se, ainda, que a média de idade dos lapidários ( $33 \pm 7$ ) é próxima a do grupo controle ( $40 \pm 6$ ).

### 5.3 ATIVIDADE LAPIDÁRIA

Alguns tipos de silicose, como a manifestada em sua forma aguda, são causadas pela inalação de altas concentrações de sílica, sob péssimas condições de controle a exposição, resultando em elevadas taxas de letalidade (Steenland *et al.* 2002).

Diferentes tipos de enfoques podem ser considerados quanto a dosagem de sílica: ambiente de trabalho, atividade produtiva desenvolvida pelo lapidário, equipamentos de proteção individual entre outros. Destes fatores, somente aquele referente a atividade produtiva executada pelo lapidário será discutido. Na pesquisa de Carneiro *et al.* (2017) foram identificadas cinco atividades principais, a de serra, de rebolo-forma, e as fases finais de alisamento, lixamento e polimento (Tabela 5.1). Observa-se que os lapidários CR12 e CR18 não responderam qual atividade produtiva exerciam.

**Tabela 5.1** – Atividades produtivas desenvolvidas pelos lapidários (dados complementares disponibilizados com anuência da pesquisadora Bezerra O.M.P.A, pertencente ao grupo de pesquisa de Carneiro *et al.* 2017).

Lapidários	Atividades Produtivas				
	Serra	Rebolo-Forma	Alisamento	Lixa	Polimento
CR01					
CR02					
CR05					
CV06					
CR08					
CR09					
CR10					
CR12					
CR15					
CR17					
CR18					
CR19					

Essas atividades podem estar relacionadas a maior ou menor liberação de sílica e também a outros tipos de particulados, como consequência do desgaste do material de trabalho dos lapidários. Utilizando-se da referência de Nadur (2009), a seguir serão descritas de forma simplificada algumas destas atividades e materiais de trabalho, conforme experiência geral.

A serragem consiste de uma serra circular verticalizada, de cobre ou de bronze, e em alguns casos, diamantada. É o primeiro passo para fragmentação da peça em unidades menores. O rebolo-forma trabalha com um disco, que pode ser acoplado com lixas ou materiais abrasivos. Muito comumente, no caso do quartzo, esse material é o esmeril (carbeto de silício). Sua função é dar forma ao cristal (largura, altura e profundidade).

Nas últimas etapas, a intenção é suavizar os contornos. O alisamento faz o primeiro desbaste grosseiro e torna as faces mais regulares, enquanto que o lixamento e o polimento completam os retoques finais. Neste último, são comuns os discos poliméricos, cerâmicos ou metálicos. Geralmente, emprega-se também determinados pós abrasivos, como o trípoli (sílica extremamente fina). Também é comum os lapidários utilizarem de lixas d'água e de escovas de aço para remoção de imperfeições.

## CARACTERIZAÇÃO COMPOSICIONAL E MORFOLÓGICA DOS EBCS

### 6.1 ASPECTOS COMPOSICIONAIS

Quanto aos aspectos composicionais, algumas associações de elementos químicos constituem a maior parte das partículas dos EBCs (Tabela 6.1). Percebe-se que nos lapidários a variedade dessas associações é maior do que nos voluntários e que alguns ocorrem simultaneamente em ambos os grupos (em vermelho). Entre parêntesis, elementos que ocorrem localmente como variação interna de uma partícula com textura heterogênea (discutido no próximo subcapítulo). No capítulo seguinte serão discutidos os grupos minerais que se relacionam a essas associações elementares.

**Tabela 6.1** – Principais associações elementares encontradas nas partículas analisadas (ordem alfabética).

Associações Elementares	
Lapidários	Grupo Controle
Ag-O	Al-Ca-Fe-Si-O
Al-O	Al-Ca-S-Si-O
Al-Ca-Si-O	Al-Fe-Si-O
Al-Fe-Si-O	Al-Mg-Si-O
Al-Fe-Si-O-(+Ti)	Al-Si-O
Al-Si-O	Al-Si-O-(+Fe)
Al-Si-O-(+Fe)	Ca-O
Al-Si-O-(+K)	Ca-K-S-O
Al-Si-O-(+Ti)	Ca-Na-S-O
Ba-S-O	Ca-S-O
Ca-Fe-Ti-O	Fe-O
Ca-Mg-O	NaCl
Ca-Na-S-O	Na-S-O
Ca-S-O	Si-O
Fe-O	Ti-O
Fe-Si-O	
Fe-Zn-O	
Mg-Si-O	
Na-Si-O	
Si-O	
S-Si-O	

## 6.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS E TEXTURAIS

A descrição dos aspectos texturais considerou as diferenças internas dos particulados analisados em relação as tonalidades de cinza apresentadas pelas fotomicrografias: homogêneo (“liso”), com pouca ou nenhuma variação; heterogêneo (“sujo”) com variações internas (Fig. 6.1). Essa diferença textural é reflexo de mudanças composicionais internas às partículas. Por exemplo, na partícula heterogênea de Al-Si-O do lapidário “CR01, Área 3” (Fig. 6.1A) percebe-se tonalidades de cinza escuro à branco. O espectro 5 indica, além do Al-Si-O, a presença de Fe na tonalidade de branco. Portanto, outras regiões desta partícula com essa tonalidade de branco possivelmente se referem a diferenças composicionais onde, além do Al-Si-O, ocorre a presença do elemento Fe. Em alguns casos a textura permite distinguir partículas internas, em que há contornos claros (Fig. 6.1C e D). Uma das possibilidades é que essas partículas internas à agregados sejam inclusões minerais.

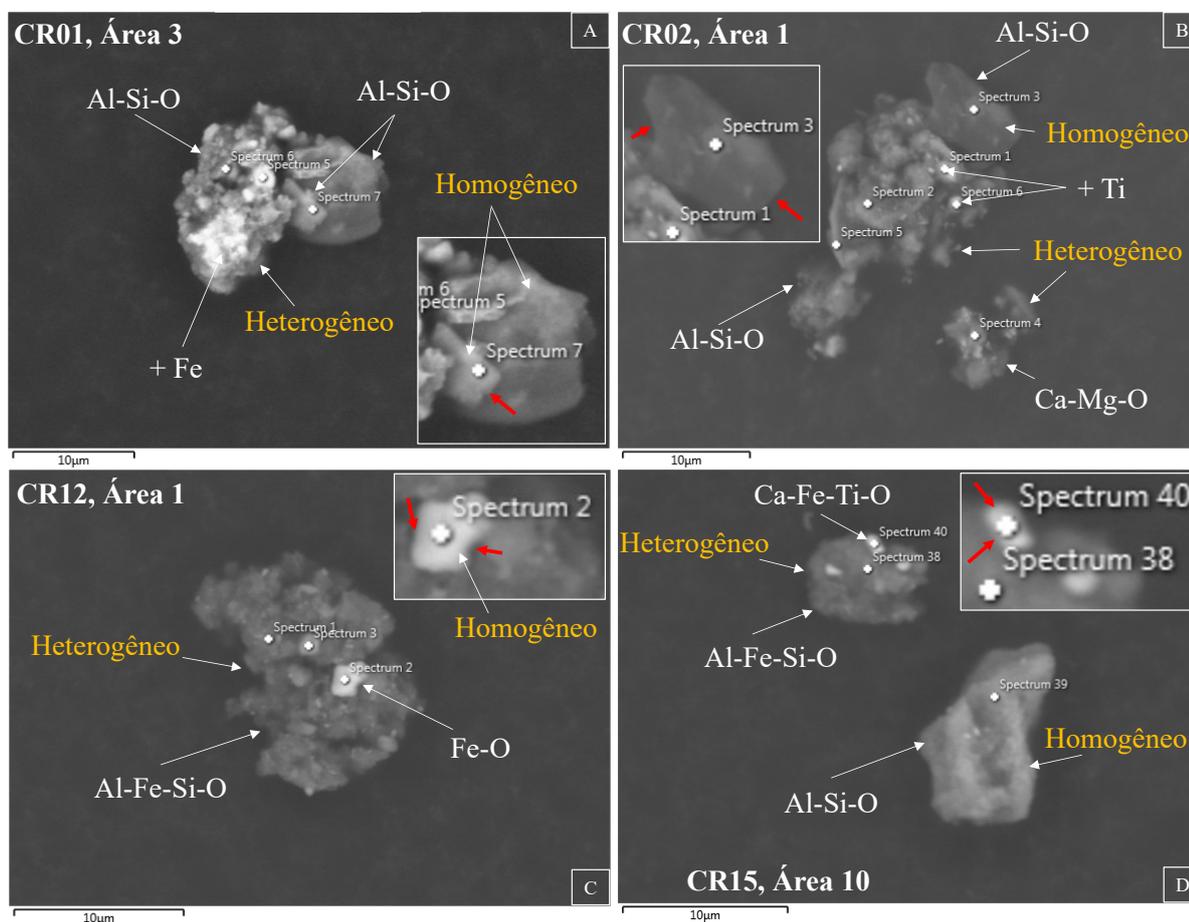
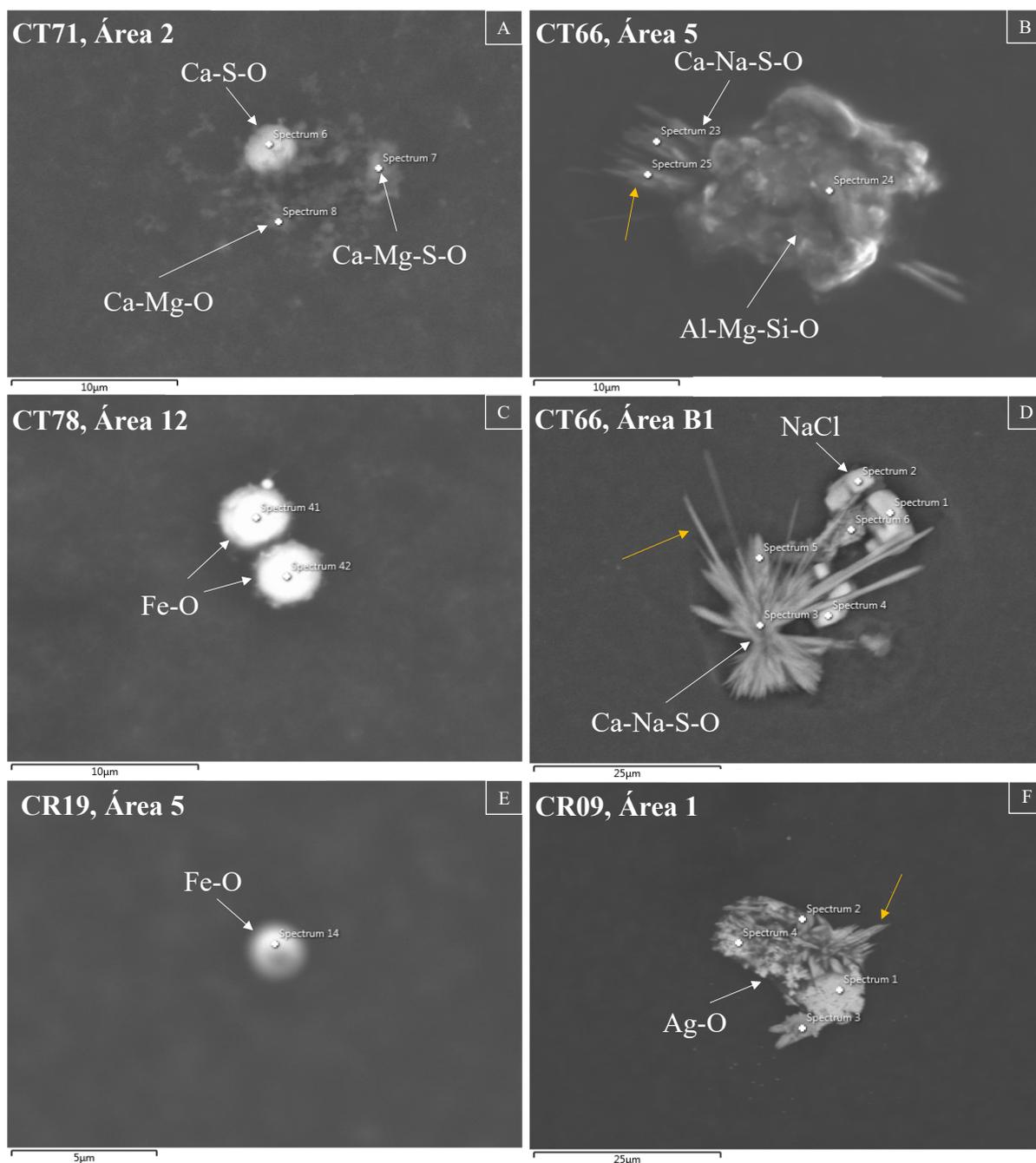


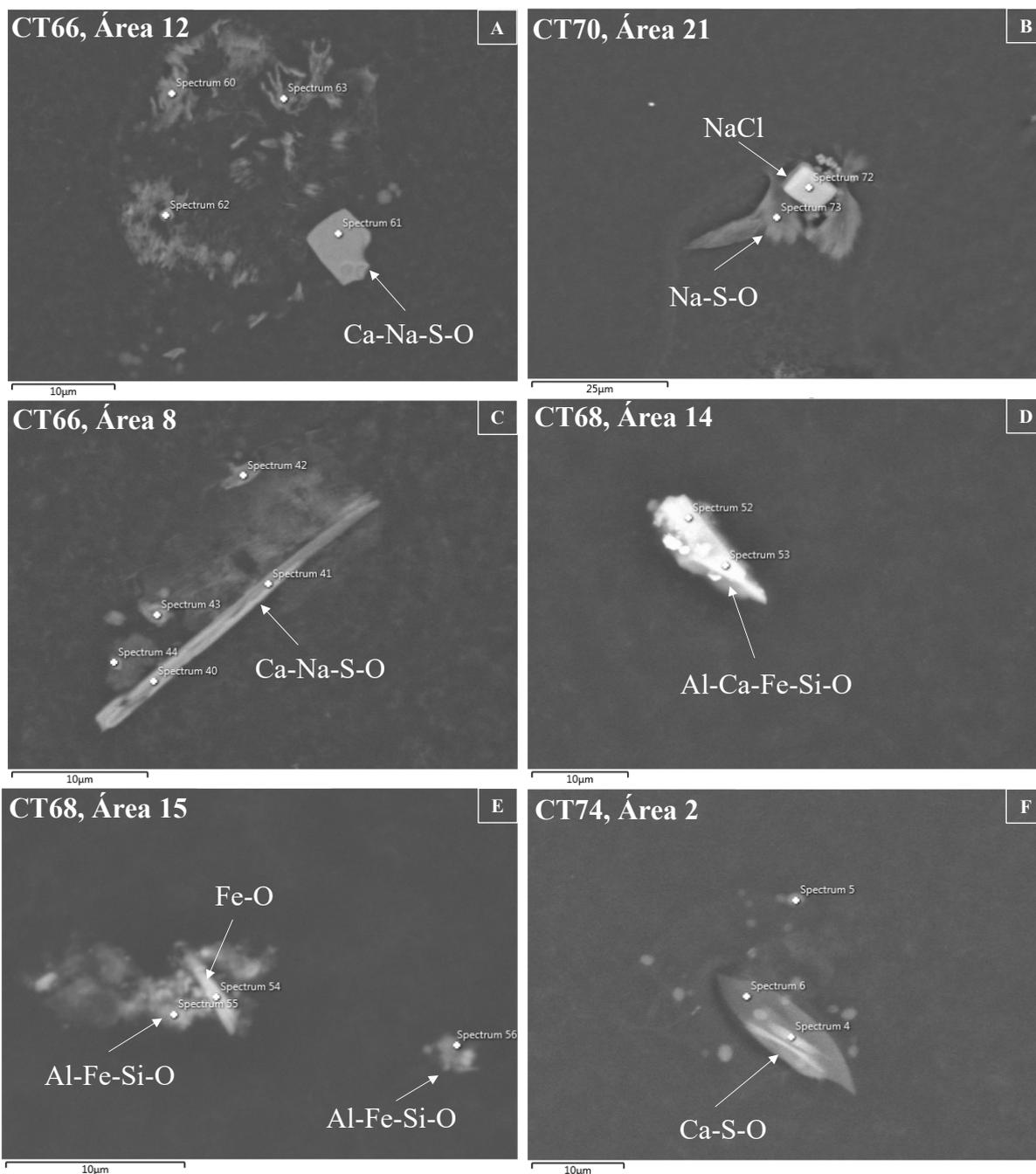
Fig. 6.1 – Textura homogênea e heterogênea dos agregados.

Os padrões morfológicos circular (Fig. 6.2A, C e E) e acicular (“agulhas”, Fig. 6.2B, D e F) foram reconhecidos para particulados de ambos os grupos analisados – lapidários e grupo controle.



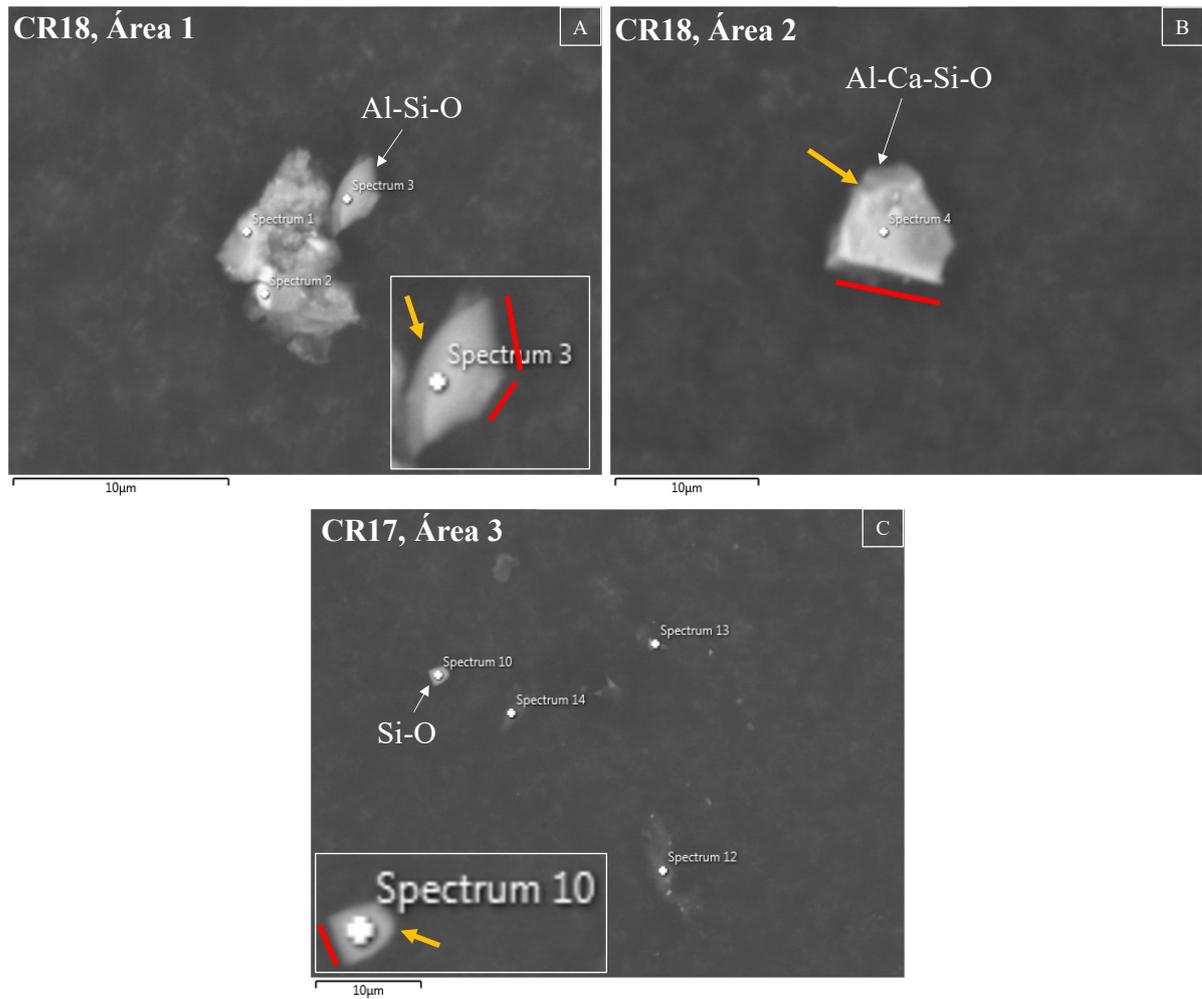
**Fig. 6.2** – Morfologias circulares à esquerda e aciculares à direita.

Nos voluntários do grupo controle, além dos padrões circulares e aciculares, também foram identificadas partículas com geometria retangular (Fig. 6.3A e B), tabular (Fig. 6.3C), triangular (Fig. 6.3D e E) e em formato de folhas (Fig. 6.3F).



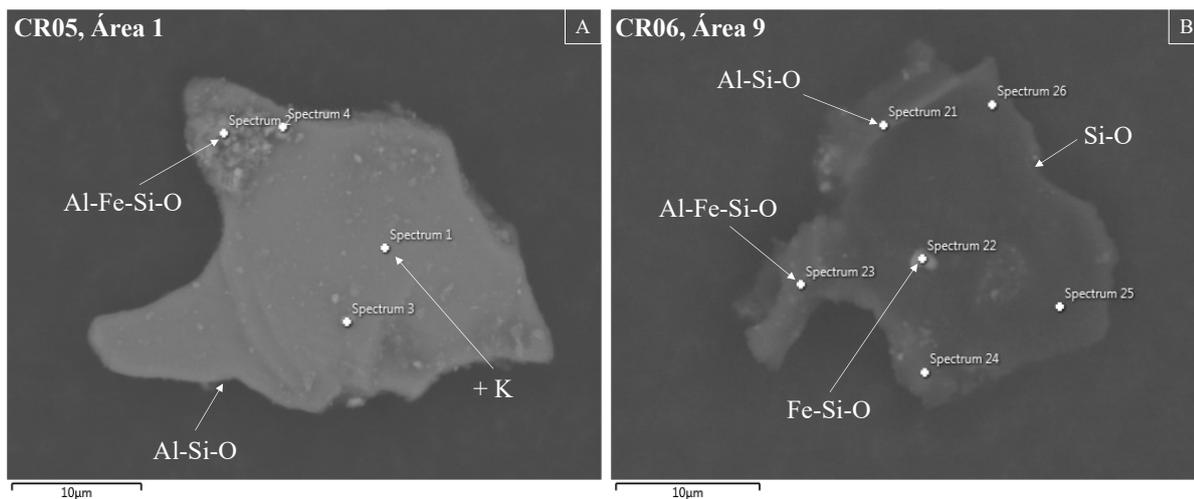
**Fig. 6.3** – Aspectos morfológicos de partículas analisadas. Aspecto retangular (A e B), tabular (C), triangular (D, E) e em formato de “folhas” (F).

Algumas partículas, apesar de não se enquadrarem em um padrão, apresentaram arestas bem definidas (Fig. 6.4 A-C).



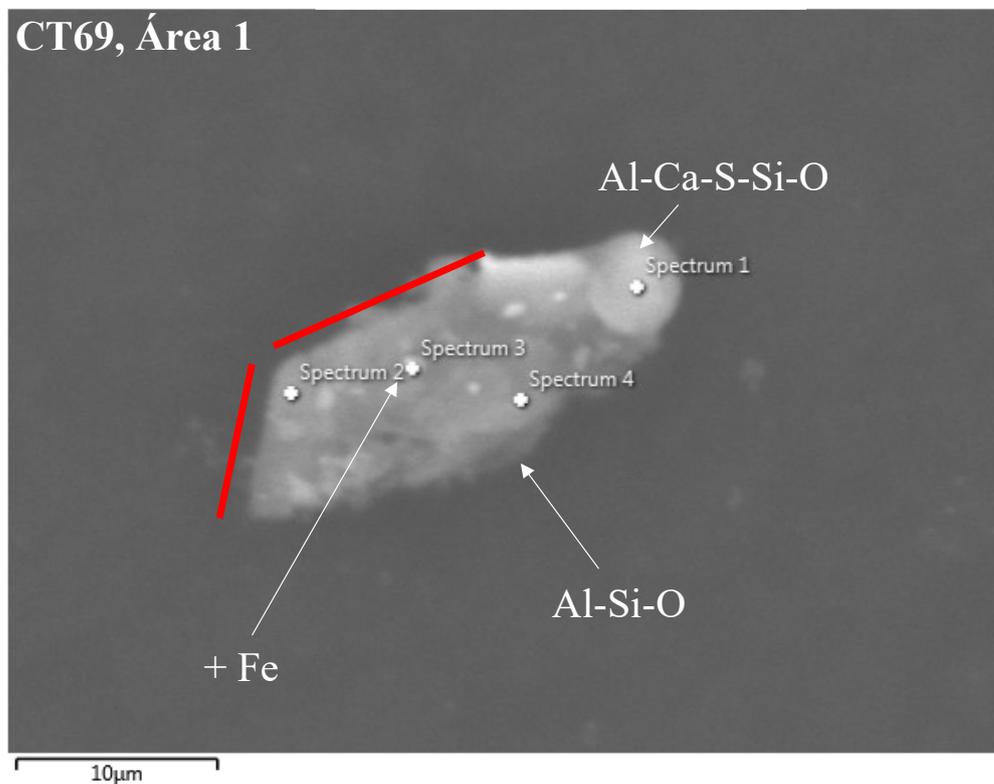
**Fig. 6.4** – Partículas homogêneas com arestas nos lapidários.

Dois outros agregados, além da heterogeneidade interna, apresentaram contornos curvos acentuados (Fig. 6.5A e B).

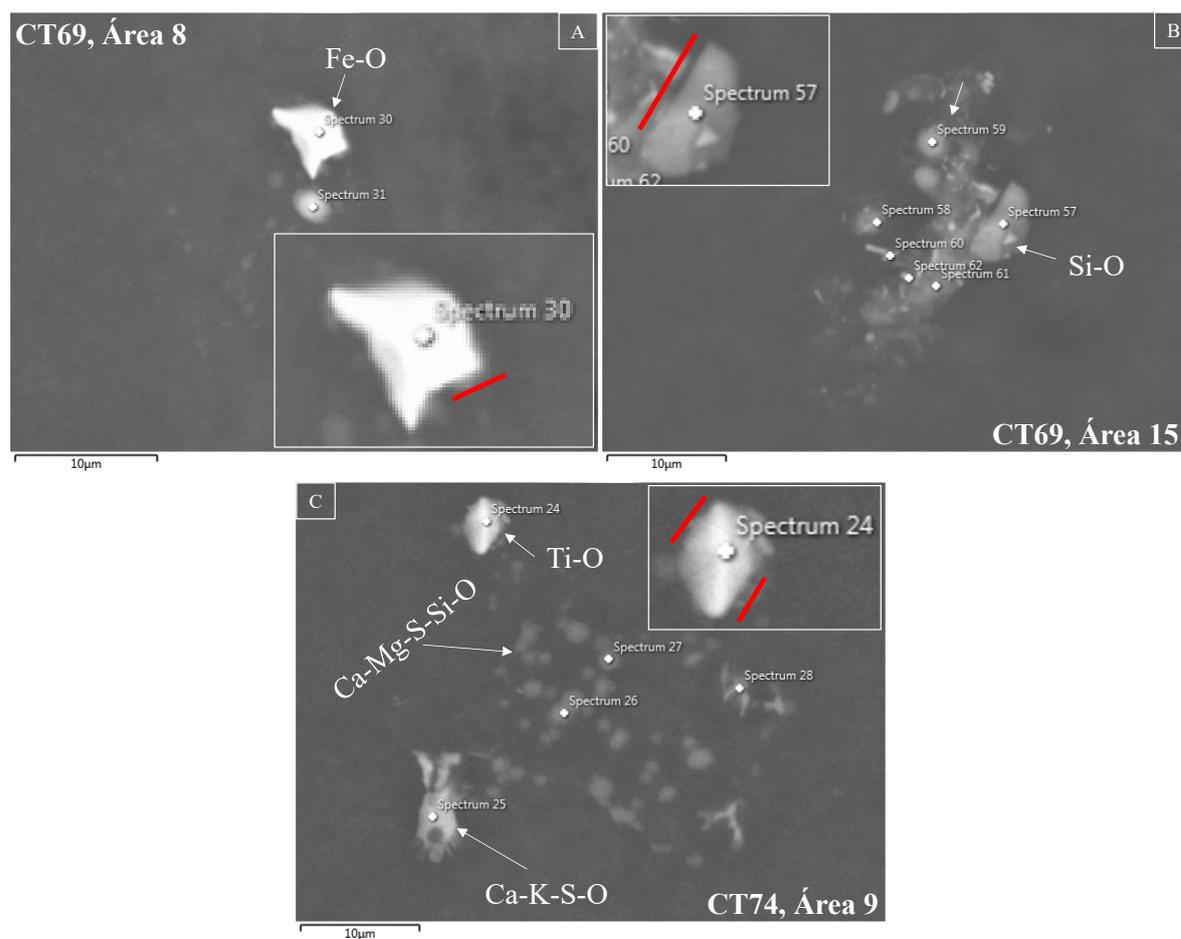


**Fig. 6.5** – Agregados com contornos curvos acentuados.

Agregados heterogêneos nos voluntários do grupo controle apresentaram diferenças internas, no geral, mais sutis (texturalmente mais limpas). Uma única partícula com heterogeneidade textural apresentou arestas no voluntário CT69 (Fig. 6.6). Em todas as outras partículas com arestas foram descritas texturas homogêneas (grupo controle na Fig. 6.7; lapidários na Fig. 6.4).

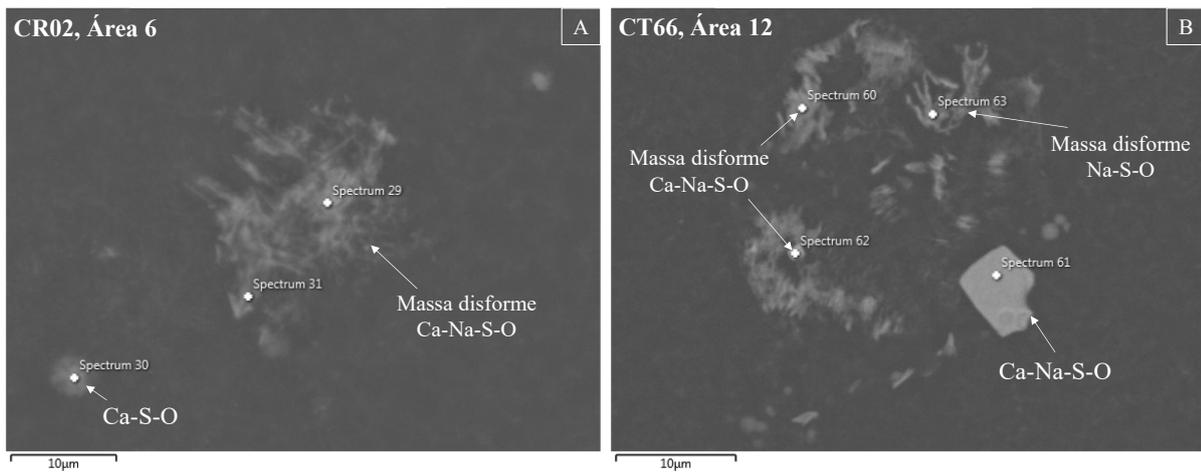


**Fig. 6.6** – Agregado heterogêneo com arestas no voluntário CT69 do grupo controle.



**Fig. 6.7** – Partículas homogêneas com arestas nos voluntários do grupo controle.

Por último, é comum nos EBCs, principalmente dos voluntários, a presença de massas “disformes” (por entre as partículas) (Fig. 6.8). Nos Apêndices 3 e 4 encontram-se todas as fotomicrografias utilizadas e nos Apêndices 5 e 6 as descrições.



**Fig. 6.8** – Exemplos de massas disformes em lapidários e voluntários.

### 7.1 INTRODUÇÃO

A interpretação sobre a natureza das partículas encontradas nos EBCs se baseia na integração das descrições, das considerações sobre o contexto geológico e dos perfis de exposição dos lapidários. Antes, é necessária uma breve explicação sobre os particulados (principalmente minerais) na atmosfera.

### 7.2 A ATMOSFERA

A atmosfera é um reservatório geológico que se comporta como um fluido. É composta por gases, majoritariamente nitrogênio (N<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>), e de partículas sólidas e líquidas em suspensão, denominadas de aerossóis (Andrews *et al.* 2004; Almeida 1999; Andrade 1993).

#### 7.2.1 Aerossóis atmosféricos

Inter-relacionados, processos antrópicos e naturais (geológicos e biológicos) introduzem e retiram aerossóis da atmosfera. Os exemplos mais citados na literatura são as maresias (*sea sprays*), que transportam o sal marinho NaCl para o interior, e as tempestades de areia (*wind-blown dusts*), que remobilizam e dispersam grandes quantidades de fragmentos particulados (Barry & Chorley 2003; Andrews *et al.* 2004; Shikazono 2015; Laskina 2015; Zender *et al.* 2004). A composição das partículas nos aerossóis envolve fatores complexos, que incluem variáveis espaciais, temporais (por vezes, sazonais), meteorológicas e antrópicas (Bergametti *et al.* 1989).

#### 7.2.2 Poeira mineral nos aerossóis

A poeira mineral é um dos tipos de aerossóis existentes e a sua dispersão na Terra é creditada em grande parte aos processos erosivos eólicos. Os maiores expoentes de fonte natural de material particulado encontram-se nos grandes desertos do Saara e Sahel na África, e no platô Tibetano na Ásia e, em menor escala no contexto sul-americano, nos desertos da Patagônia e do Atacama (Shao 2001; Gornitz 2008).

Os particulados minerais são constituídos de agregados de diferentes composições e misturas heterogêneas com tamanhos que variam de décimos de nanômetros a centenas de micrômetros (Pye 1987). Em termos de massa drenada, os minerais são os mais abundantes componentes dos aerossóis atmosféricos (Laskina 2015).

Frequentemente, a presença mineral nos aerossóis reflete a mineralogia das rochas na superfície terrestre (Gornitz 2008). Como os silicatos constituem a mineralogia principal das rochas (aproximadamente 90% da crosta), estes minerais são os mais comuns nos aerossóis (Shikazono 2015; Clarke & Washington 1924; Gornitz 2008; Demange 2012).

### 7.3 SIGNIFICADO DIMENSIONAL DOS PARTICULADOS

Normalmente, a dimensão das partículas é tratada em termos de diâmetros equivalentes, que se relacionam a uma propriedade específica. Como exemplo, é comum a utilização do diâmetro aerodinâmico ( $d_a$ ), que correlaciona o comportamento inercial da partícula (velocidade terminal de sedimentação no ar), a uma esfera hipotética equivalente de densidade unitária ( $1\text{g/m}^3$ ) (Gruenzner 2003; Wang 2005).

No estudo sobre aerossóis utiliza-se abreviações para se referir aos diâmetros aerodinâmicos das partículas na faixa entre  $0,1\ \mu\text{m}$  e  $10\ \mu\text{m}$  (Wang 2005). Segundo Freitas & Solci (2009) e Wang (2005), os termos  $\text{MP}_{2,5}$  se referem ao material particulado respirável na fração fina menor que  $2,5\ \mu\text{m}$  e maior que  $0,1\ \mu\text{m}$ ,  $\text{MP}_{2,5-10}$  para material particulado inalável na fração grossa entre  $2,5$  e  $10\ \mu\text{m}$  e  $\text{MP}_{10}$  para material particulado genericamente abaixo de  $10\ \mu\text{m}$  e acima de  $0,1\ \mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{2,5-10}$ ). Partículas maiores que  $15\ \mu\text{m}$  quando inaladas não ultrapassam as vias respiratórias superiores e são removidas antes de atingirem os pulmões. As  $\text{MP}_{10}$ , contudo, podem atingir o sistema respiratório inferior e alcançar os alvéolos pulmonares (Almeida 1999).

As  $\text{MP}_{2,5}$  estão comumente relacionadas a processos atmosféricos que envolvem reações químicas de partículas menores, com frequente influência antrópica. As  $\text{MP}_{2,5-10}$ , no entanto, estão predominantemente associadas a processos mecânicos de desintegração de grandes partículas, com papel preponderante da força gravitacional na sedimentação do material. É usual aceitar que quantidade considerável dessas partículas provêm de processos naturais, em particular pela ação dos ventos, ressuspensão de poeira (incluindo poeira mineral) e dispersão de partículas por sprays marinhos (Almeida 1999; Magalhães 2005).

As  $\text{MP}_{10}$  têm capacidade de percorrer grandes distâncias (intercontinentais). Porém, conforme é aumentado o diâmetro aerodinâmico da partícula, menor se torna a sua capacidade dispersiva, e as

MP maiores que 10  $\mu\text{m}$  em geral (exceções van der Does *et al.* 2018) ficam restritas a transportes intracontinentais (Tegen & Fung 1994; Pye 1987).

## 7.4 INTERPRETAÇÃO MINERAL

A seguir serão utilizados os aspectos composicionais e morfológicos para interpretação mineralógica das partículas contidas nos EBCs de lapidários e grupo controle.

### 7.4.1 Silicatos

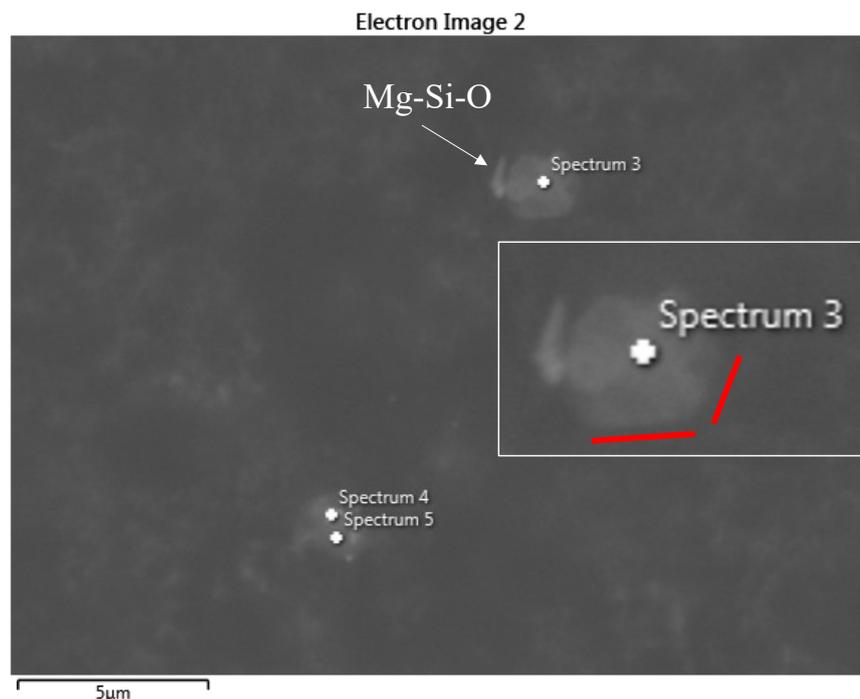
A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é a unidade fundamental dos silicatos (Nesse 2000). A sílica pura (~100% de  $\text{SiO}_2$  na totalidade da partícula) é encontrada nos aerossóis na forma mineral (quartzo, comumente) ou amorfa (terras diatomáceas, sílicas biogênicas, vidros e etc) (Polyakova 2014; Götze 2012; Ronov & Yaroshevsky 1969; Gomes *et al.* 2018).

Em ambos os grupos a sílica pura está presente, embora com diferenças morfológicas entre lapidários e voluntários do grupo controle. No grupo controle, a única partícula tem textura homogênea, enquanto nos lapidários as duas principais ocorrem como agregado (textura heterogênea - “CR06, Área 9”), com tamanho entre 15-20  $\mu\text{m}$  (muito maior do que as outras partículas de sílica) e como partícula com textura homogênea com arestas e uma possível fratura conchoidal. O agregado de sílica nos lapidários possivelmente é um fragmento de rocha, composta por quartzo (principal) e outras associações elementares (Fe-Si-O/Al-Fe-Si-O/Al-Si-O) interpretadas adiante. As outras partículas de sílica pura não puderam ser diferenciadas como minerais ou amorfas. Pode-se dizer, contudo, que a sílica pura nos lapidários é mais recorrente que no grupo controle, uma vez que ocorre em 5 lapidários: CR05 (1 partícula na Área 7), CR06 (1 partícula na Área 9), CR12 (1 partícula na Área 9), CR15 (1 partícula na Área 3), CR17 (1 partícula na Área 8 e outra partícula na Área 9); enquanto no grupo controle em apenas 1 indivíduo: CT78 (1 partícula na Área 11). Para todos os voluntários (lapidários e grupo controle), as partículas de sílica pura são constituídas de 100% de  $\text{SiO}_2$ .

Uma associação muito comum, tanto em lapidários quanto no grupo controle, é a do Al com a Si. Por vezes, com outros elementos associados, como o Ca, Mg, Fe e K. Partículas contendo Al e Si ocorrem frequentemente como aerossol na atmosfera na forma de aluminossilicatos. Nesse grupo mineral, o  $\text{Al}^{3+}$  assume como cátion principal a estrutura do silicato segundo a fórmula química  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  (Pye 1987; Shikazono 2015; Perkins 1998). Outras possibilidades de minerais comuns, onde o Al não é o cátion principal, incluem os feldspatos e as micas. Morfologias parecidas com lamelas e arestas definidas (possivelmente clivagens em zonas de fraqueza) em texturas homogêneas foram

encontradas nos lapidários (CR01, Área 3 e CR02, Área 1) e corroboram com a interpretação da presença de micas.

Por último, associações de sílica com magnésio ou ferro (Mg-Si-O/Fe-Si-O) e sem a presença do alumínio podem estar relacionados a silicatos do grupo dos piroxênios/anfibólios e do grupo das olivinas ( $[Mg, Fe]_2SiO_4$ ) e só foram encontradas nos lapidários. A olivina, embora seja incomum e pouco esperada pelo contexto geológico, pode exibir seção euédrica, similar a encontrada na Fig. 7.1.



**Fig. 7.1** – Possível partícula euédrica de olivina.

#### 7.4.2 Sulfatos

De acordo com Nesse (2000), os minerais do grupo dos sulfatos contêm o composto aniônico ( $SO_4^{2-}$ ). Embora o ânion sulfato ocorra em diferentes tipos de ciclos naturais e antropogênicos, é mais comum na forma de sulfatos minerais em rochas (Zender *et al.* 2004; Shikazono 2015).

Os aspectos morfológicos encontrados nas partículas contendo enxofre são variados. Apenas uma delas foi reconhecida como morfologia (ora acicular, ora tabular) similar às apresentadas pela espécie mineral anidrita. No trabalho de Bourotte (2002) essas estruturas são nomeadas como “baguetes de sulfato de cálcio”. Algumas morfologias, como as massas disformes e em forma de “folhas” não foram reconhecidas e não sugerem correlação mineral.

### 7.4.3 Óxidos

Os óxidos minerais são formados por compostos em que cátions de um ou mais metais se combinam com o oxigênio (Nesse 2000). Em geral os óxidos minerais ocorrem nos aerossóis na forma de ferro livre como composto amorfo (influência antrópica) ou mineral (comumente hematita/ilmenita ou goethita) (Lafon *et al.* 2006) e foram comuns nos EBCs de ambos os grupos, apresentando diferentes morfologias.

As partículas com padrões circulares de aproximadamente 2,5 a 5  $\mu\text{m}$  de diâmetro aerodinâmico possivelmente se referem a esferas de óxidos de ferro (muito semelhante as citadas por Bourotte 2002) e foram interpretadas como provenientes de atividades antrópicas (Rojas & Van Grieken 1993; Lichtman & Mroczkowski 1985; Mamane *et al.* 1986; Piña *et al.* 2000 apud Bourotte 2002). Outras partículas, principalmente de dimensões maiores, possivelmente se referem a minerais de óxidos de ferro (como a hematita/ilmenita) ou fragmentos materiais.

Além dos óxidos de ferro, o óxido de titânio ( $\sim 100\%$  de  $\text{TiO}_2$  na totalidade da partícula) no voluntário “CT74, Área 9” em partícula com morfologia losangular foi interpretado como mineral rutilo/anatásio.

### 7.4.4 Carbonatos

Segundo Nesse (2000), os minerais carbonatos apresentam na sua estrutura o grupo aniônico ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Na análise MEV-EDS realizada, o carbono não foi corretamente identificado, seja pela proximidade do número atômico do elemento carbono ( $Z = 6$ ) ao limite de detecção ( $5 \leq Z \leq 95$ ), seja pela presença de película de carbono nas lâminas amostradas (gerando picos anômalos de carbono).

Partículas apresentando Mg e/ou Ca podem ter alguma relação com minerais carbonatos, como a calcita/aragonita ( $\text{CaCO}_3$ ), magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ) e a dolomita ( $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ ). Entretanto, alguns destes, como o  $\text{CaCO}_3$ , também são formados a partir de atividade biogênicas (Shikazono 2012). Dada as limitações da técnica para interpretação composicional, um dos critérios de identificação mineral seriam as morfologias com formatos romboédricos, típicas de alguns carbonatos, mas que não foram descritas. Portanto, não foi possível sugerir a presença de minerais carbonatos nas análises.

### 7.4.5 Haletos

O ânion nos haletos minerais é composto pelos elementos cloro (Cl), flúor (F), bromo (Br) ou iodo (I) (Nesse 2000). As estruturas cristalinas resultantes destes minerais tendem a ser simples, como

no caso da halita (NaCl), silvita (KCl) e fluorita (CaF<sub>2</sub>), que se apresentam morfologicamente na forma de cubos ou paralelepípedos. É característica a presença da halita nos voluntários do grupo controle com esses formatos típicos. No entanto, essas partículas não foram encontradas nos lapidários. Dois motivos principais podem explicar essa diferença: viés de busca por parte dos pesquisadores e tempo de armazenamento. Em relação a este último, as primeiras análises constataram grande número de partículas de NaCl. Porém, conforme novas análises foram sendo realizadas, algumas dessas partículas desapareceram das amostras.

#### **7.4.6 Elementos nativos**

Único caso em que uma partícula poderia ser classificada como mineral pertencente aos elementos nativos, o óxido de prata (Ag<sub>2</sub>O) (aproximadamente 90% de Ag e 10% de O) não pôde ter sua procedência determinada. A prata nativa, mais próxima dos valores teóricos de óxidos, não condiz com as quantidades de oxigênio identificadas (e outro mineral de prata não teria essas quantidades elementares) e a morfologia da partícula (classificada na descrição como acicular) não encontra referência na literatura (normalmente os hábitos são malformados e por vezes com aspecto arborescente [Klein & Philpotts 2013]). É possível que esses conteúdos de prata, e outras partículas contendo elementos incomuns, tenham relação com materiais utilizados pelos lapidários para confecção das peças (bijuterias).

### **7.5 CONSIDERAÇÕES**

A interpretação baseada nas descrições dos particulados dos EBCs de ambos os grupos analisados indicam que tanto lapidários quanto o grupo controle apresentavam minerais em seus pulmões no momento de coleta das amostras. Apesar das limitações da técnica de MEV-EDS, algumas características composicionais e morfológicas foram sugestivas e permitiram inferir informações a respeito de possíveis mineralogias relacionadas às partículas encontradas.

Contudo, a interpretação mineralógica ficou restrita a classes (ou grupos) minerais genéricos, em virtude, principalmente, de dois principais problemas: a morfologia, para a maioria das partículas, não trouxe informações suficientes; e a limitação da técnica para determinação dos elementos menores e traço restringiu a caracterização apenas para os elementos maiores.

Assim, as principais classes e grupos minerais sugeridas para as partículas dos EBCs de lapidários e grupo controle foram: a classe dos silicatos, incluindo grupo dos aluminosilicatos, grupo dos feldspatos, grupo da sílica (possivelmente quartzo), grupo das micas, grupo dos piroxênios, grupo

dos anfibólios e grupo das olivinas; a classe dos sulfatos; a classe dos óxidos (possivelmente hematita/magnetita e rutilo); e a classe dos haletos (halita).

A sílica pura, indiferenciável pela técnica se amorfa ou mineral (quartzo), se mostrou mais recorrente nos lapidários em relação ao grupo controle, favorecendo a interpretação da proveniência desta sílica pelo processo produtivo de lapidação.

Em virtude dos minerais genéricos encontrados, não foi possível correlacionar os minerais contidos nos EBCs dos lapidários ao contexto geológico de ocorrência dos veios de quartzo na região de Corinto. E, em relação aos fatores de exposição dos lapidários, também não houve critérios para correlacionar às atividades dos lapidários ou o tempo de exposição a características mineralógicas apresentadas pelas partículas encontradas nos EBCs.

Ainda, deve-se considerar também que as poeiras minerais são dependentes das condições regionais. Portanto, indivíduos em diferentes localidades estão expostos a poeiras minerais distintas. Sabe-se, por exemplo, da participação das mineradoras em Ouro Preto na ressuspensão de parte da poeira mineral encontrada nos aerossóis da região (Magalhães 2005). Dessa forma, a coleta de EBCs em diferentes localidades (Corinto e Ouro Preto) pode ter influenciado nas diferenças mineralógicas encontradas.

Schiavolin, M. 2021, Caracterização Composicional e Mineralógica de Amostras de Condensado do Ar Exalado por Lapidários de Corinto-MG.

## CAPÍTULO 8

### CONCLUSÕES

---

Embora ocorra em ambos os grupos, é mais frequente nos EBCs dos lapidários agregados heterogêneos irregulares, enquanto nos EBCs do grupo controle predominam partículas apresentando padrões geométricos e texturas homogêneas. Alguns desses padrões geométricos com textura homogênea nos EBCs do grupo controle podem estar relacionados a partículas aerossóis comuns, possivelmente provenientes de fontes antrópicas. Por sua vez, agregados heterogêneos irregulares podem ser remetidos a fragmentos de rochas e/ou minerais.

Os silicatos são os minerais mais comuns tanto nos lapidários quanto no grupo controle e ocorrem em quantidades semelhantes em ambos os grupos. No entanto, a sílica pura é mais recorrente nos lapidários. A prevalência da sílica pura, aliada a frequência em que ocorrem agregados heterogêneos irregulares, permite interpretar que possivelmente houve contribuição do processo produtivo de lapidação no conteúdo particulado dos EBCs dos lapidários. Outros minerais, principalmente óxidos e sulfatos, possivelmente ocorrem em quantidades menores em ambos os grupos. Porém, nos lapidários, não puderam ser remetidos ao processo de lapidação.

Assim, a compreensão sobre a natureza das partículas minerais nos EBCs de ambos os grupos, mesmo que de forma genérica, foi satisfatória. Embora tenha havido limitações na técnica utilizada, dificultando a pormenorização e diferenciação das espécies minerais, informações importantes foram extraídas, com destaque para as diferenças morfológicas/texturais entre lapidários e grupo controle e a prevalência de sílica pura nos lapidários.

Estudos sobre poeira mineral e particularmente sobre mineralogia de EBCs, por uma abordagem geológica, ainda são restritos e pouco difundidos. Trabalhos como este, de integração entre a geologia e a medicina, podem trazer contribuições para a melhoria das condições de vida destes trabalhadores envolvidos em processos produtivos onde há exposição de particulados potencialmente nocivos à saúde.

Como sugestão para pesquisas futuras, o sistema MEV-EDS poderia vir acompanhado de outras técnicas de análise, como a técnica de *laser ablation* (análise destrutiva), permitindo a diferenciação de elementos químicos em pequenas quantidades e qualificando a caracterização mineralógica dos EBCs. Outra possibilidade é considerar os diâmetros aerodinâmicos das partículas contidas nos EBCs conjuntamente com a análise mineralógica pormenorizada. Como hipótese, espera-se maior variação de diâmetros aerodinâmicos para uma mesma espécie mineral nos lapidários em

Schiavolin, M. 2021, Caracterização Composicional e Mineralógica de Amostras de Condensado do Ar Exalado por Lapidários de Corinto-MG.

relação ao grupo controle, uma vez que o processo produtivo de lapidação libera fragmentos aleatoriamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Abreu F.R. 1991. *Estudo das mineralizações auríferas filonianas da região da cidade de Diamantina/MG*. MS dissertation, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 100 p.
- Ahrens C.D & Henson R. 2015. *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*. Boston, Cengage Learning, 678 p.
- Alecrim J.D. 1982. *Recursos minerais do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte*, METAMIG, 298 p.
- Alexander J.M., Bell D.M., Imre D., Kleiber P.D., Grassian V.H., Zelenyuk A. 2016. Measurement of size-dependent dynamic shape factors of quartz particles in two flow regimes. *Aerosol Science and Technology*, **50(8)**:870-879.
- Almeida I.T.D. 1999. *A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto*. DS dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 194 p.
- Alves C. 2005. Aerossóis atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica. *Química nova*, **28(5)**:859-870.
- Andrade M.D.F. 1993. *Identificação de fontes da matéria particulada do aerossol atmosférico de São Paulo*. DS dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 232 p.
- Andrews D.G. 2010. *An introduction to atmospheric physics*. New York, Cambridge University Press, 237 p.
- Andrews J.E., Brimblecombe P., Jickells T.D., Liss P.S., Reid B. 2004. *An introduction to environmental chemistry*. Oxford, Blackwell Publishing, 296 p.
- ANM - Agência Nacional de Mineração. Quartzo: Sumário Mineral 2014 (ano base de 2013). Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/sumarios/quartzo-sumario-mineral-2014/view>. Acessado em 19 de maio de 2020.
- Arndt N., Kesler S., Ganino C. 2015. *Metals and society: An introduction to economic geology*. Berlin, Springer, 160 p.
- Barbosa C.T. 2012. *A origem do quartzo green gold: tratamento e ambiente geológico*. DS dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 133 p.
- Barbosa M.S.D.A., Carneiro A.P.S., Maciel J.G.F.S., Moronte E.A., La Rocca P.D.F., Santos A.R.M. 2011. Silicose em trabalhadores de quartzito da região de São Thomé das Letras-Minas Gerais: dados iniciais indicam um grave problema de saúde pública. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, **36(123)**:177-184.
- Barboza C.E.G., Winter D.H., Seiscento M., Santos U. D. P., Terra Filho M. 2008. Tuberculose e silicose: epidemiologia, diagnóstico e quimioprofilaxia. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, **34(11)**:959-966.
- Barreto M.L. 2001. *Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil*. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 215 p.
- Barry R.G. & Chorley R.J. 2003. *Atmosphere, weather and climate*. London, Routledge, 421 p.
- Bergametti G., Dutot A.L., Buat-Menard P., Losno R., Remoudaki E. 1989. Seasonal variability of the elemental composition of atmospheric aerosol particles over the northwestern Mediterranean. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, **41(3)**:353-361.
- Berner E.K & Berner R.A. 1996. *Global environment: water, air and geochemical cycles*. New Jersey, Prentice Hall, 376 p.
- Bezerra M.E.D.P.A., Macedo N.L.F. 2017. Análise do processo de trabalho na lapidação de cristais e rochas ornamentais do Município de Corinto/MG. *Tópicos em Gestão de Produção*, **1**:25-33.
- Bloss F.D. & Gibbs G.V. 1963. Cleavage in quartz. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, **48(7-8)**:821-838.

- Boggs J.S. 2001. *Principles of sedimentology and stratigraphy*. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 726 p.
- Borba R.P., Figueiredo B.R., Cavalcanti J.A. 2004. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). *Rem: Revista Escola de Minas*, **57(1)**:45-51.
- Bourotte C.L.M. 2002. *Caracterização de poluentes atmosféricos (metais traço e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) na interface atmosfera-solo em áreas urbana e natural do estado de São Paulo*. DS dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 251 p.
- Bradley J. 1993. Methodological issues and practices in qualitative research. *The Library Quarterly*, **63(4)**:431-449.
- Branco P. M. 2008. *Dicionário de mineralogia e gemologia*. São Paulo, Oficina de Textos, 608 p.
- Braz N.F.T. 2014. *Avaliação de indicadores inflamatórios e funcionais associados à fisiopatologia da silicose de moradores da região de Corinto-MG*. MS dissertation, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 75 p.
- Buchanan D., Miller B.G., Soutar C.A. 2003. Quantitative relations between exposure to respirable quartz and risk of silicosis. *Occupational and Environmental Medicine*, **60(3)**:159-164.
- Campos-Ramos A., Piña A.A., Querol X., Alastuey A. 2010. Methodology for the characterization and identification by sem-eds of atmospheric particles from different pollutions emission. *Microscopy: Science, Technology, Applications and Education*, **1**: 329-333.
- Carneiro A.P.S., Braz N.F., Algranti E., Bezerra O.M.P.A., Araujo N.P.S., Amaral Eng Hyg L.S., Edmé J.L., Sobaszek A., Chérot-Kornobis N. 2017. Silica exposure and disease in semi-precious stone craftsmen, Minas Gerais, Brazil. *American journal of industrial medicine*, **60(3)**:239-247.
- Cavalcanti J.A.D. & Shrank A. 1999. Controles litoestratigráficos dos turmalinitos auríferos na região de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero-MG. *Revista da Escola de Minas*, **52(2)**:100-108.
- Chaves M.L.D.S.C. 1997. *Geologia e mineralogia do diamante da Serra do Espinhaço em Minas Gerais*. DS dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 289 p.
- Chaves M.L.D.S.C., Favacho-Silva M., Nicácio M. 1999. Tipologia dos depósitos de quartzo gemológico de Minas Gerais. *Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, **10**:42 p.
- Chaves M.L.D.S.C., Karfunkel J., Tupinambá M. 2003. Estruturação" em rosário" dos depósitos de quartzo hidrotermal do Morro do Juá (Gouveia, MG). *Revista Escola de Minas*, **56(1)**:15-20.
- Claquin T., Schulz M., Balkanski Y.J. 1999. Modeling the mineralogy of atmospheric dust sources. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **104(D18)**:22243-22256.
- Clarke F.W. & Washington H.S. 1924. The composition of the earth's crust. Washington, US Government Printing Office, 117 p.
- Correa M.2010. *Variedades gemológicas de quartzo na Bahia, geologia, mineralogia, causas de cor e técnicas de tratamento*. DS dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 170 p.
- Correns C.W. 1969. Introduction to mineralogy: crystallography and petrology. New York, Springer-Verlag, 484 p.
- Costa R.D.D., Knauer L. G., Prezotti F. P. S., Duarte F. T., & Fonseca H. A. M. D. 2012. *Geologia e recursos minerais da folha Curvelo. SE-23-Z-A-V: estado de Minas Gerais, escala 1:100.000*. Belo Horizonte, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 50 p.
- Cox P.A. 1989. *The elements. Their origin, abundance, and distribution*. Oxford, Oxford University Press, 207 p.
- Davies B.E., Bowman C., Davies T.C., Selinus O. 2013. Medical geology: perspectives and prospects. In: Silinus O. (ed.). *Essentials of medical geology*. Dordrecht, Springer, p. 1-13.

- Dedavid B.A., Gomes C. I., Machado G. 2007. *Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores*. Porto Alegre, EdiPUCRS, 60 p.
- Demange M.A. 2012. *Mineralogy for Petrologists: optics, chemistry and occurrences of rock-forming minerals*. London, CRC Press/Balkema, 218 p.
- Derbyshire E. 2013. Natural aerosolic mineral dusts and human health. In: Silinus O. (ed.). *Essentials of medical geology*. Dordrecht, Springer, p. 455-475.
- de Souza G.D., Rodrigues M.A., Silva P.P., Guerra W. 2013. Prata: breve histórico, propriedades e aplicações. *Educación química*, **24(1)**:14-16.
- dos Santos Macedo A., de Freitas A.F., Oliveira M.D.L.S. 2019. De usurpadores do bem público a ‘mineradores’ legalizados: uma análise da formalização de cooperativas minerais. *Revista de Gestão e Organizações Cooperativas*, **6(11)**:239-256.
- dos Santos Macedo A., Oliveira M.D.L.S., de Freitas A.F., de Freitas A.F. 2016. Nem tudo que reluz é ouro: os desafios de cooperativas minerais em Minas Gerais. *Desenvolvimento em questão*, **14(36)**: 220-248
- Drummond N.F. 2009. *Ambientes geológicos e mudanças de cor no quartzo hialino*. MS dissertation, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 195 p.
- Duarte L.D.C., Juchem P.L., Pulz G.M., Brum T.M.M., Liccardo N.C.A., Fischer A.C., Acauan R.B. 2003. Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e sistema de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros. *Pesquisas em Geociências*, **30**:3-15.
- Engelhardt W.V. & Bertsch, W. 1969. Shock induced planar deformation structures in quartz from the Ries crater, Germany. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **20(3)**: 203-234.
- Enokihara C.T. 2013. *Estudo do quartzo verde de origem hidrotermal tratado com radiação gama*. DS dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 166 p.
- Fairbairn H. W. 1939. Correlation of quartz deformation with its crystal structure. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, **24(6)**:351-368.
- Falkovich A.H., Ganor E., Levin Z., Formenti P., Rudich Y. 2001. Chemical and mineralogical analysis of individual mineral dust particles. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **106(D16)**:18029-18036.
- Fandrich R., Gu Y., Burrows D., Moeller K. 2007. Modern SEM-based mineral liberation analysis. *International Journal of Mineral Processing*, **84(1-4)**:310-320.
- Favacho-Silva M.D. 2000. *Varietades gemológicas de quartzo em Minas Gerais: geologia, mineralogia, causas de cor, técnicas de tratamento e aspectos mercadológicos*. MS Dissertation, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 155 p.
- Fedotov I.A. 1997. Global elimination of silicosis: the ILO/WHO international programme. *Asian-Pacific Newsletter on Occupational Health and Safety*, **4(2)**:1-3.
- Ferreira Â.S., Moreira V.B., Ricardo H.M.V., Coutinho R., Gabetto J.M., Marchiori E. 2006. Fibrose maciça progressiva em trabalhadores expostos à sílica: achados na tomografia computadorizada de alta resolução. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, **32(6)**:523-528.
- Ferreira L.R., Pinheiro T.M., Siqueira A.L., Carneiro A.P. 2008. A silicose e o perfil dos lapidários de pedras semipreciosas em Joaquim Felício, Minas Gerais, Brasil. *Cadernos de saúde pública*, **24(7)**:1517-1526.
- Filipe V., Hawe A., Jiskoot W. 2010. Critical evaluation of nanoparticle tracking analysis (NTA) by NanoSight for the measurement of nanoparticles and protein aggregates. *Pharmaceutical research*, **27(5)**:796-810.
- Finkelman R.B., Centeno J.A., Selinus, O. 2005. Medical geology: the emergence of a new discipline. *Terrae*, **2(1-2)**:3-8.
- Fleischer M. 1953. *Recent estimates of the abundances of the elements in the earth's crust*. Washington D.C., United States Department of the Interior, Geological Survey, **285**:1-3.

- Fogaça A.C.C. 1997. *Geologia da Folha Diamantina*. SE-23-Z-A-III: estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. In: Grossi-Sad J.H., Lobato L.M., Pedrosa-Soares A.C., Soares-Filho B.S. (eds). Belo Horizonte, Projeto Espinhaço (Companhia Mineradora de Minas Gerais), 98 p.
- Formenti P., Schuetz L., Balkanski Y., Desboeufs K., Ebert M., Kandler K., Petzold A., Scheuven D., Weinbruch S., Zhang D. 2010. Recent progress in understanding physical and chemical properties of mineral dust. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*, **10(12)**:31187-31251.
- Freitas A.D.M. & Solci M.C. 2009. Caracterização do MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. *Química Nova*, **32(7)**:1750-1754.
- Garrels R.M. & Berner R.A. 1983. The global carbonate-silicate sedimentary system: some feedback relations. In: Westbroek P. & De Jong E.W. (Eds.). *Biom mineralization and biological metal accumulation*. Dordrecht, Springer, p. 73-87.
- Garrels R.M., Mackenzie F.T., Hunt C. 1975. *Chemical cycles and the global environment: assessing human influences*. Los Altos, William Kaufman, 206 p.
- Garrett R.G. 2013. Natural distribution and abundance of elements. In: Selinus O. (ed). *Essentials of medical geology*. Dordrecht, Springer, p. 35-57
- Gilson J.C. 1977. *Medicine and mineralogy*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. *Series A, Mathematical and Physical Sciences*, **286(1336)**:585-592.
- Goldstein J.I., Echlin P., Joy D.C., Lifshin E., Lyman C.E., Newbury D.E., Sawyer L., Michael J. 2003. *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. New York, Springer, 690 p.
- Gomes L.S., Furtado A.C.R., Souza, M.C. 2018. A Sílica e suas particularidades. *Revista virtual de química*, **10(4)**:1018-1038.
- Gornitz V. (Ed.). 2008. *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments*. New York, Springer, 1048 p.
- Götze, J. & Möckel R. (eds.). 2012. *Quartz: Deposits, mineralogy and analytics*. Berlin/Heidelberg, Springer Science & Business Media, p. 2-6.
- Götze J. 2012. Classification, mineralogy and industrial potential of SiO<sub>2</sub> minerals and rocks. In: *Quartz: Deposits, Mineralogy and Analytics*. Berlin/Heidelberg, Springer, p. 1-27.
- Greenberg M.I., Waksman J., Curtis, J. 2007. Silicosis: a review. *Disease-a-Month*, **53(8)**:394-416.
- Gruenzner G. 2003. Avaliação da poeira de sílica: um estudo de caso em uma pedreira na Região Metropolitana de São Paulo. DS dissertation, Universidade de São Paulo, 110 p.
- Guzzo P.L. 1992. Caracterização de impurezas estruturais e de centros de defeitos relacionados ao Al e OH no quartzo natural. MS dissertation, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 131 p.
- Guzzo P.L. 2008. Quartzo. In: *Rochas e minerais industriais: usos e especificações*. Luz A.B & Lins F.A.F. (eds.). Rio de Janeiro, CETEM/MCT (Centro de Tecnologia Mineral), 2ed, p. 681-721.
- Haldar S.K. & Tisljar J. 2014. *Introduction to mineralogy and petrology*. New York, Elsevier, 354 p.
- Hasui Y. 2010. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. *Geociências*, **29**:141-169.
- Hoinaski L. 2013. Avaliação de métodos de identificação de fontes emissoras de material particulado inalável (MP<sub>10</sub>). MS dissertation, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 184 p.
- Horváth I., Hunt J., Barnes P.J. 2005. Exhaled breath condensate: methodological recommendations and unresolved questions. *European Respiratory Journal*, **26(3)**:523-548.
- Jeong G.Y. & Nousiainen T. 2014. TEM analysis of the internal structures and mineralogy of Asian dust particles and the implications for optical modeling. *Atmospheric Chemistry & Physics*, **14(5)**:6619-6661.

- Katsnelson B.A., Polzik E.V., Privalova L.I. 1986. Some aspects of the problem of individual predisposition to silicosis. *Environmental health perspectives*, **68**:175-185.
- Klein C. & Philpotts A. R. 2013. Earth materials: introduction to mineralogy and petrology. New York, Cambridge University Press, 1182 p.
- Komatina M.M. 2004. *Medical geology: effects of geological environments on human health*. Amsterdam, Elsevier, 488 p.
- Labrada-Delgado G., Aragon-Pina A., Campos-Ramos A., Castro-Romero T., Amador-Munoz O., Villalobos-Pietrini R. 2012. Chemical and morphological characterization of PM<sub>2.5</sub> collected during MILAGRO campaign using scanning electron microscopy. *Atmospheric Pollution Research*, **3**(3):289-300.
- Lafon S., Sokolik I.N., Rajot J.L., Caquineau S., Gaudichet A. 2006. Characterization of iron oxides in mineral dust aerosols: implications for light absorption. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **111**(D21): n/a.
- Laskina O. 2015. Physicochemical properties of mineral dust and sea spray aerosols. PhD dissertation, University of Iowa, Iowa City, 321 p.
- Lichtman D. & Mroczkowski S. 1985. Scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy analysis of submicrometer coal fly ash particles. *Environmental science & technology*, **19**(3):274-277.
- Lima O.N.B., Uhlein A., de Britto W. 2016. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**(4 suppl):204-215.
- Lin M., Pei Z., Lei, S. 2017. Mineralogy and processing of hydrothermal vein quartz from Hengche, Hubei Province (China). *Minerals*, **7**(9):161.
- Liu H., Yan B., Han B., Sun J., Yang Y., Chen J. 2012. Assessment of respiration-related quality of life of Chinese patients with silicosis and its influencing factors using the St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ). *Journal of clinical nursing*, **21**(11-12):1515-1523.
- Liu K., Mu M., Fang K., Qian Y., Xue S., Hu W., Ye M. 2020. Occupational exposure to silica and risk of heart disease: a systematic review with meta-analysis. *BMJ open*, **10**(1):1-9.
- Li W., Shao L., Wang Z., Shen R., Yang S., Tang U. 2010. Size, composition, and mixing state of individual aerosol particles in a South China coastal city. *Journal of Environmental Sciences*, **22**(4):561-569.
- Lobato L.M. & Pedrosa-Soares A.C. 1993. Síntese dos recursos minerais do Craton do São Francisco e faixas marginais em Minas Gerais. *Geonomos*, **1**(1):51-64.
- Lopes T.C. 2012. *O Supergrupo Espinhaço na Serra do Cabral, Minas Gerais: contribuição ao estudo de proveniência sedimentar*. MS dissertation, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 136 p.
- Lopes T.C., Leite M.M., Martins M.D.S., Uhlein A., Karfunkel J., Fonseca A., Uhlein G.J., Freire G.R. 2014. *Geologia e recursos minerais da folha Serra do Cabral. SE-23-X-C-V: estado de Minas Gerais, escala 1:100.000*. Belo Horizonte, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 72 p.
- Lujan M. & Ary T. S. 1992. *Crystalline silica primer*. Bureau of Mines, Branch of Industrial Minerals US Department of the Interior, Special Publication, 53 p.
- Lutgens F.K., Tarbuck E.J., Tasa D.G. 2017. *Essentials of geology*. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 39 p.
- Luz A.B., Braz E. 2000. Quartzo. In: Rochas e minerais industriais. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 20 p.
- Magalhães L.C. 2005. *Estudo do material particulado atmosférico e metais associados às partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto, MG*. MS dissertation, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 81 p.
- Mamane Y., Dzuby T.G., Ward R. 1992. Sulfur enrichment of atmospheric minerals and spores. *Atmospheric Environment*, **26**(6):1113-1120.
- Mamane Y., Miller J.L., Dzuby T.G. 1986. Characterization of individual fly ash particles emitted from coal- and oil-fired power plants. *Atmospheric Environment*, **20**(11):2125-2135.

- Marshak S., & Van Der Pluijm B.A. 2004. *Earth structure: An introduction to structural geology and tectonics*. New York, WW Norton, 22 p.
- Melo R.S.S. & Zago M.M.F. 2012. Os sentidos da silicose atribuídos por trabalhadores de pedreiras adoecidos. *Texto & Contexto-Enfermagem*, **21(4)**:845-853.
- Mendes, R. 1979. Estudo epidemiológico sobre a silicose pulmonar na região sudeste do Brasil, através de inquérito em pacientes internos em hospitais de tisiologia. *Revista de Saúde Pública*, **13**:7-19.
- Moseley H.G.J. & Darwin C.G. 1913. XIV. The reflexion of the X-rays. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, **26(151)**:210-232.
- Moura I.F.S. 2016. Avaliação de MP10 na região metropolitana de Belo Horizonte. MS dissertation, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 144 p.
- Nadur A.V. 2009. *A lapidação de gemas no panorama brasileiro*. DS dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 158 p.
- Nesse W.D. 1991. Introduction to optical mineralogy. New York, Oxford University Press, 335 p.
- Nesse W.D. 2000. Introduction to mineralogy. New York, Oxford University Press, 466 p.
- Newbury D.E. & Ritchie N.W. 2013. Is scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray spectrometry (SEM/EDS) quantitative? *Scanning*, **35(3)**:141-168.
- Nichols G. 2009 (ed). *Sedimentology and stratigraphy*. Malden, John Wiley & Sons, 355 p.
- Norboo T, Angchuk P.T, Yahya M, Kamat S.R, Pooley F.D, Corrin B, Kerr I.H, Bruce N, Ball K.P. 1991. Silicosis in a Himalayan village population: role of environmental dust. *Thorax*, **46**:341-343.
- Pachauri R.K. & Reisinger A. 2007. Contribution of working groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, IPCC, 104 p.
- Pachauri T., Singla V., Satsangi A., Lakhani A., & Kumari K.M. 2013. SEM-EDX characterization of individual coarse particles in Agra, India. *Aerosol and Air Quality Research*, **13(2)**:523-536.
- Pedrosa-Soares A.C., Dardenne M.A., Hasui Y., Castro, F.D., Carvalho M.D. 1994. Nota explicativa dos mapas geológico, metalogenético e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais, escala, 1:1.000.000. Belo Horizonte, COMIG, 97 p.
- Perkins D. 1998. *Mineralogy*. New Jersey, Prentice Hall, 484 p.
- Piña, A.A., Villaseñor, G.T., Fernández, M.M., Kudra, A.L., Ramos, R.L. 2000. Scanning electron microscope and statistical analysis of suspended heavy metal particles in San Luis Potosi, Mexico. *Atmospheric environment*, **34(24)**:4103-4112.
- PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento 2010. IDHM. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>. Acessado em 07 de maio de 2020.
- Polyakova I. G. 2014. The main silica phases and some of their properties. In: Schmelzer J. W (ed.). *Glass: selected properties and crystallization*. Berlin, de Gruyter, p. 197-268.
- Pozo M. & Carretero M.I. 2008. Recursos minerales y salud. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, **16(3)**:262-275.
- Pye K. 1987. *Aeolian Dust and Dust Deposits*. London, Academic Press, 334 p.
- Queiroz P.G.M., Jacomino V.M.F., Menezes M.Â.D.B.C. 2007. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. *Química Nova*, **30(5)**: 1233-1239.
- Ramirez-Leal R., Valle-Martinez M., Cruz-Campas M. 2014. Chemical and morphological study of PM10 analysed by SEM-EDS. *Open Journal of Air Pollution*, **3(04)**:121.

- Reboita M.S., Rodrigues M., Silva L.F., Alves M.A. 2015. Aspectos climáticos do estado de minas gerais (climate aspects in minas gerais state). *Revista Brasileira de Climatologia*, **17**:n/a.
- Reed S.J.B. 2005. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*. New York, Cambridge University Press, 201 p.
- Reis H.L.S., Costa R.D.D., Prezotti F.P.S., Tedeschi M., Fonseca H.A.M.D., Kuchenbecker, M. 2014. *Geologia e recursos minerais da folha Andrequicé*. SE. 23-Z-A-I: estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. Belo Horizonte, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 73 p.
- Ribeiro F.S.N. 2004. *Exposição ocupacional à sílica no Brasil: tendência temporal, 1985 a 2001*. DS dissertation, Universidade de Sao Paulo, São Paulo, 158 p.
- Rojas C.M., & Van Grieken R. 1992. Electron microprobe characterization of individual aerosol particles collected by aircraft above the southern bight of the North Sea. *Atmospheric Environment*, **26**(7):1231-1237.
- Romano A.W., Friedmann M., Ferreira M.P., Knauer L.G. 2014. *Geologia e recursos minerais da folha Corinto*. SE-23-Z-A-22: estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. Belo Horizonte, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 68 p.
- Ronov A.B. & Yaroshevsky A.A. 1969. Chemical composition of the Earth's crust. *GMS*, **13**:37-57.
- Sampaio N. P. 2016. *Construção de banco de dados de minerais brasileiros para analisador mineral integrado, acoplado à sistema MEV-EDS automatizado*. MS dissertation, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 289 p.
- Santos M.F.M.D. 2014. *Avaliação de jazidas brasileiras de quartzo mais adequadas para uso em sílica vítrea*. MS dissertation, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 146 p.
- Sauvain J.J., Suarez G., Edmé J.L., Bezerra O.M.D.P.A., Silveira K.G., Amaral L.S., Carneiro A.P.S., Chérot-Kornobis N., Sobaszek A., Hulo S. 2017. Method validation of nanoparticle tracking analysis to measure pulmonary nanoparticle content: the size distribution in exhaled breath condensate depends on occupational exposure. *Journal of breath research*, **11**(1):16010.
- Savoie D.L. & Prospero J. 1982. Particle size distribution of nitrate and sulfate in the marine atmosphere. *Geophysical Research Letters*, **9**(10):1207-1210.
- Scholz R., Chaves M.L., Krambrock K., Pinheiro M.V., Barreto S.B., de Menezes M.G. 2012. Brazilian quartz deposits with special emphasis on gemstone quartz and its color treatment. In: Götze, J. & Möckel R. (eds.). *Quartz: Deposits, Mineralogy and Analytics*. Berlin, Springer, p. 139-159.
- Selinus O. 2004. Medical geology: an emerging speciality. *Terrae*, **1**(1): A1-A8.
- Shao Y. 2001. A model for mineral dust emission. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **106**(D17):20239-20254.
- Shikazono N. 2015. *Environmental and Resources Geochemistry of Earth System: Mass Transfer Mechanism, Geochemical Cycle and the Influence of Human Activity*. Tokyo, Springer, 244 p.
- Spurny K.R. 1996. Atmospheric Particulate Pollutants and Environmental Health. In: Aerosol Inhalation: Recent Research Frontiers. Dordrecht, Springer, p. 175-185.
- Steenland K., Attfield M., Boffetta P., Checkoway H., DeKlerk N., Koskela R. S. 2002. Exposure-response analysis and risk assessment for silica and silicosis mortality in a pooled analysis of six cohorts. *Occupational and environmental medicine*, **59**(11):723-728.
- Suppe J. 1985. *Principles of structural geology*. New Jersey, Prentice Hall, 537 p.
- Swap R., Garstang M., Greco S., Talbot R., Kållberg P. 1992. Saharan dust in the Amazon Basin. *Tellus B*, **44**(2):133-149.
- Tegen I. & Fung, I. 1994. Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **99**(D11):22897-22914.

van der Does M., Knippertz P., Zschenderlein P., Harrison R.G., Stuut J.B.W. 2018. The mysterious long-range transport of giant mineral dust particles. *Science advances*, **4(12)**:eaau2768.

Vlach S.R.F. 2002. A classe dos tectossilicatos: guia geral da teoria e exercício. *Geologia USP, Série Didática*, **1**: 1-49.

Wagner G.R. 1997. Asbestosis and silicosis. *The Lancet*, **349(9061)**:1311-1315.

Walther J. 2005. *Essentials of geochemistry*. Sudbury, Jones & Bartlett Learning, 704 p.

Wang C. 2005. *Inhaled particles*. New York, Elsevier Academic Press, 187 p.

Whiteside P. J., Chininis J. A., Hunt H. K. 2016. Techniques and challenges for characterizing metal thin films with applications in photonics. *Coatings*, **6(3)**, 35p.

Yang W., Marshak A., Kostinski A.B., Várnai T. 2013. Shape-induced gravitational sorting of Saharan dust during transatlantic voyage: Evidence from CALIOP lidar depolarization measurements. *Geophysical Research Letters*, **40(12)**:3281-3286.

Zaksas N. P., Soboleva S. E., Nevinsky G. A. 2019. Twenty Element Concentrations in Human Organs Determined by Two-Jet Plasma Atomic Emission Spectrometry. *The Scientific World Journal*, **2019**, 9p.

Zender C.S., Miller, R.L.R.L., Tegen, I. 2004. Quantifying mineral dust mass budgets: terminology, constraints, and current estimates. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, **85(48)**:509-512.







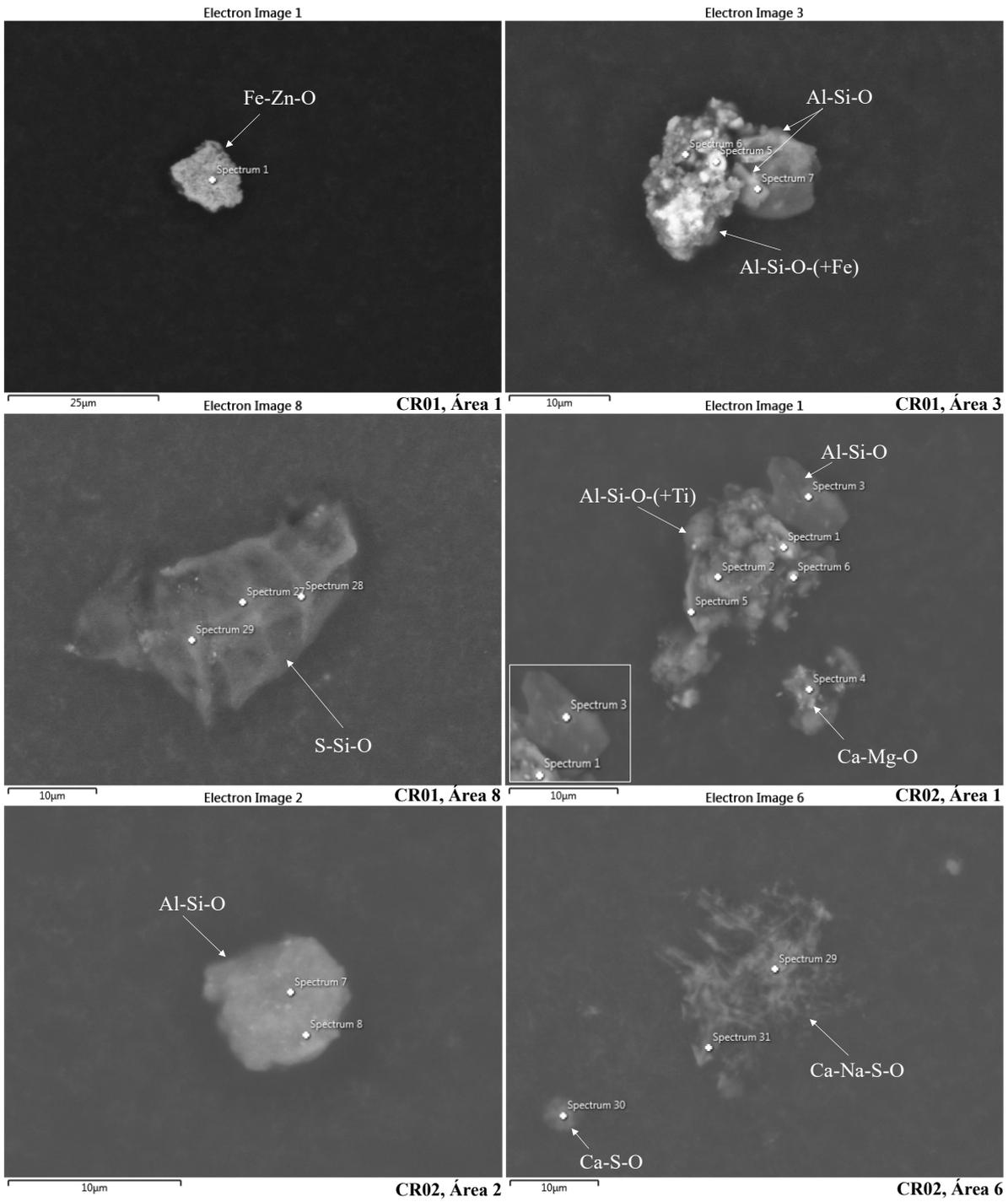




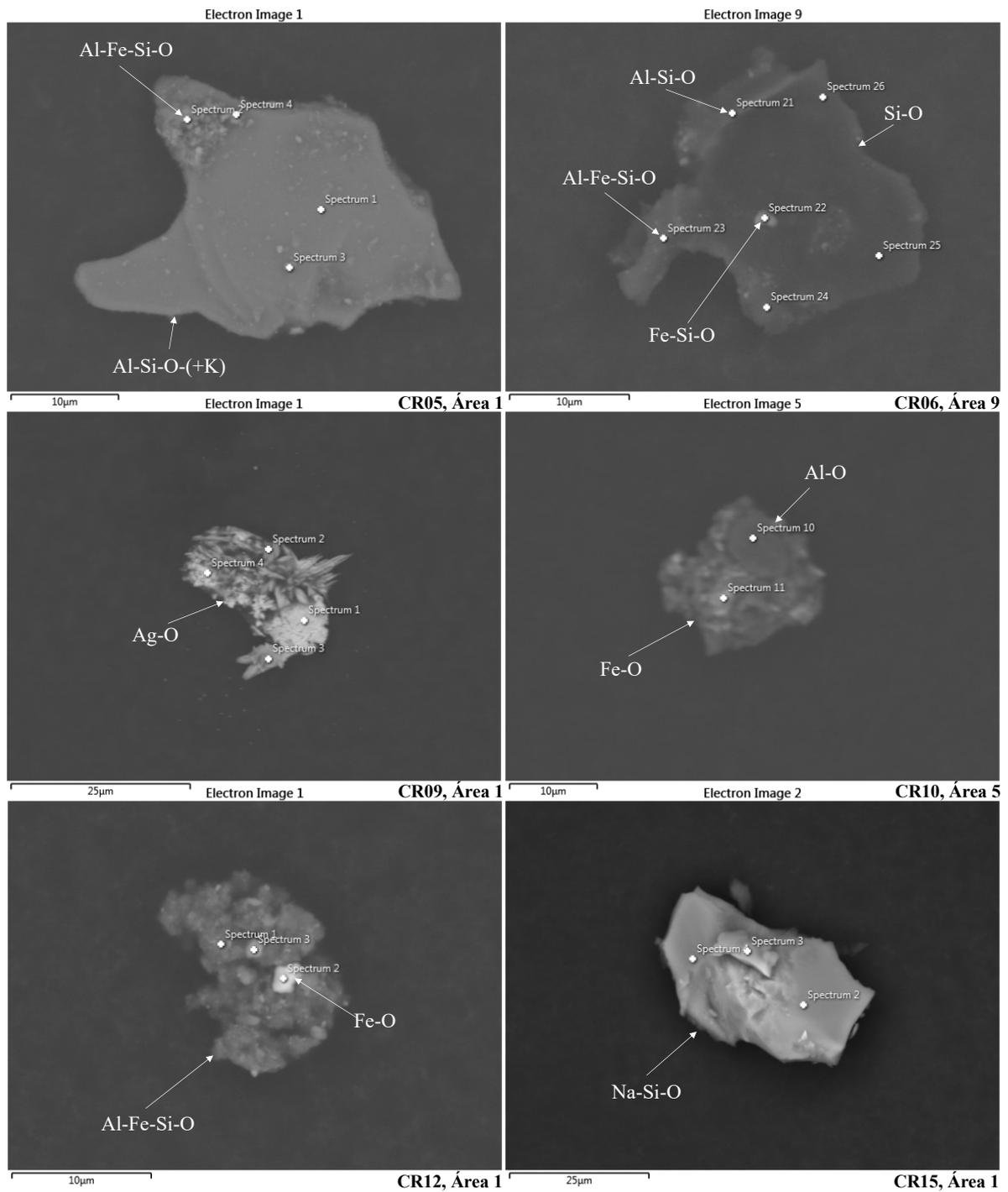




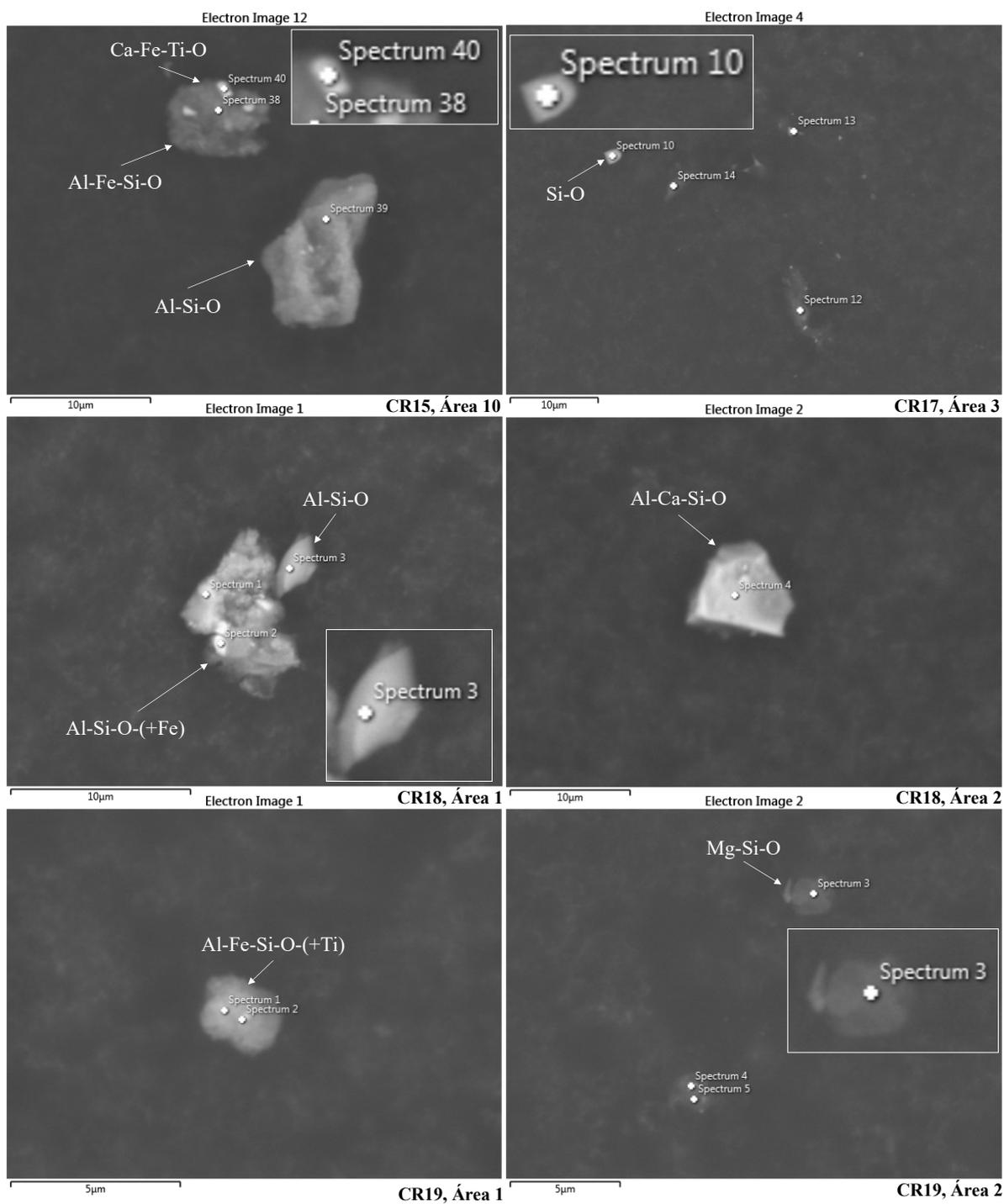
**Apêndice 3 – Fotomicrografias de partículas encontradas nos EBCs dos lapidários.**



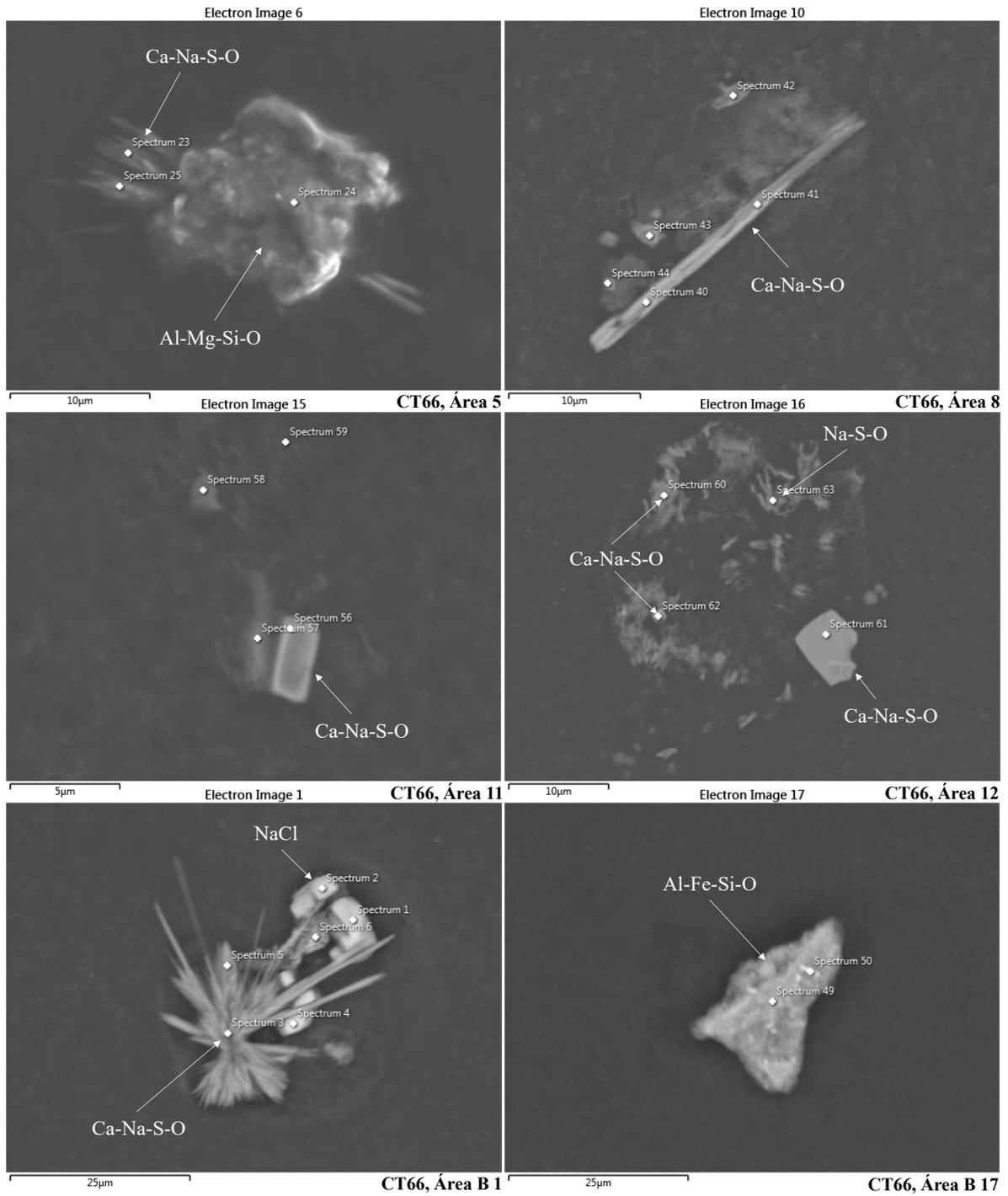
**Apêndice 3 – Fotomicrografias de partículas encontradas nos EBCs dos lapidários (continuação).**



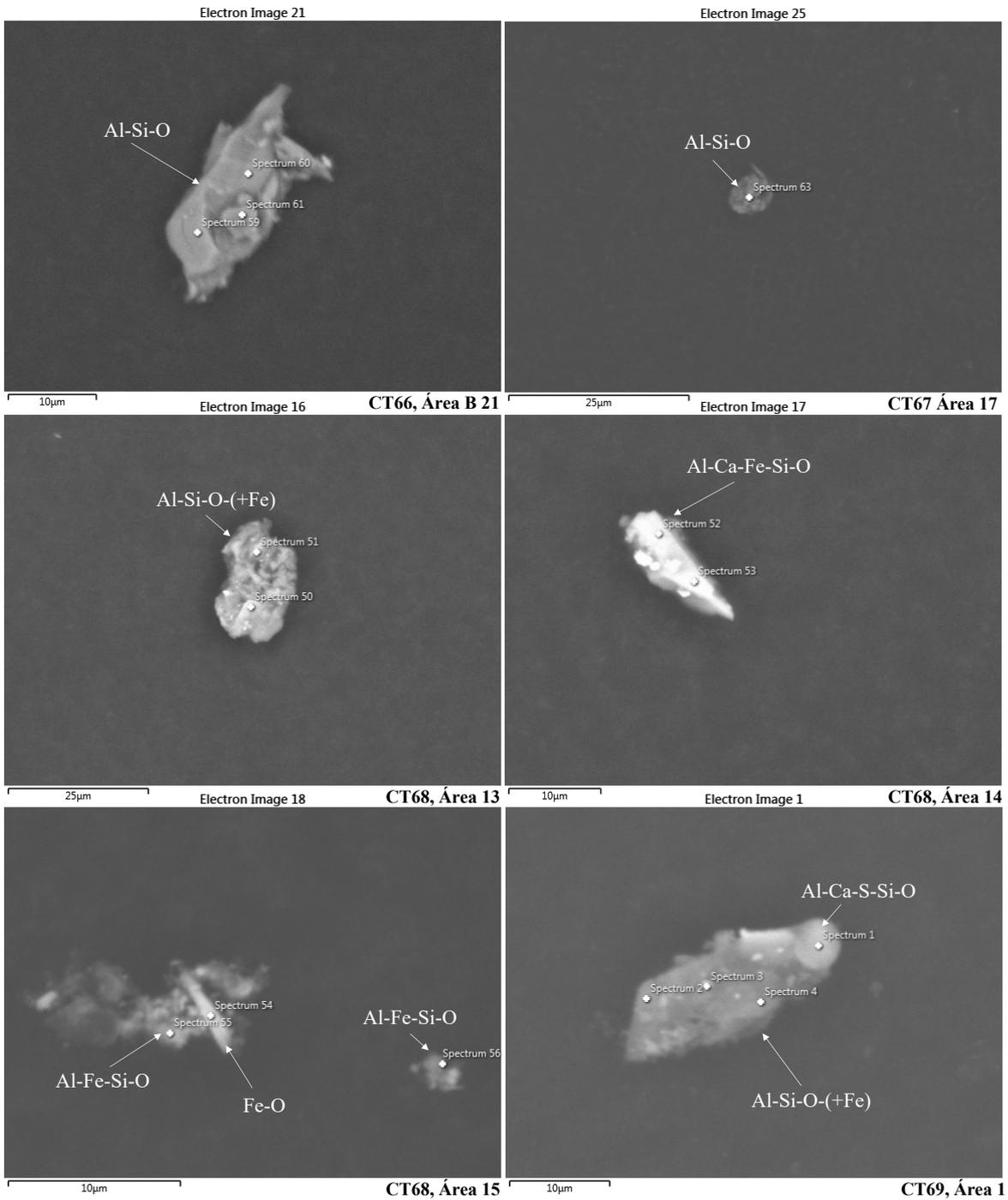
**Apêndice 3 – Fotomicrografias de partículas encontradas nos EBCs dos lapidários (continuação).**



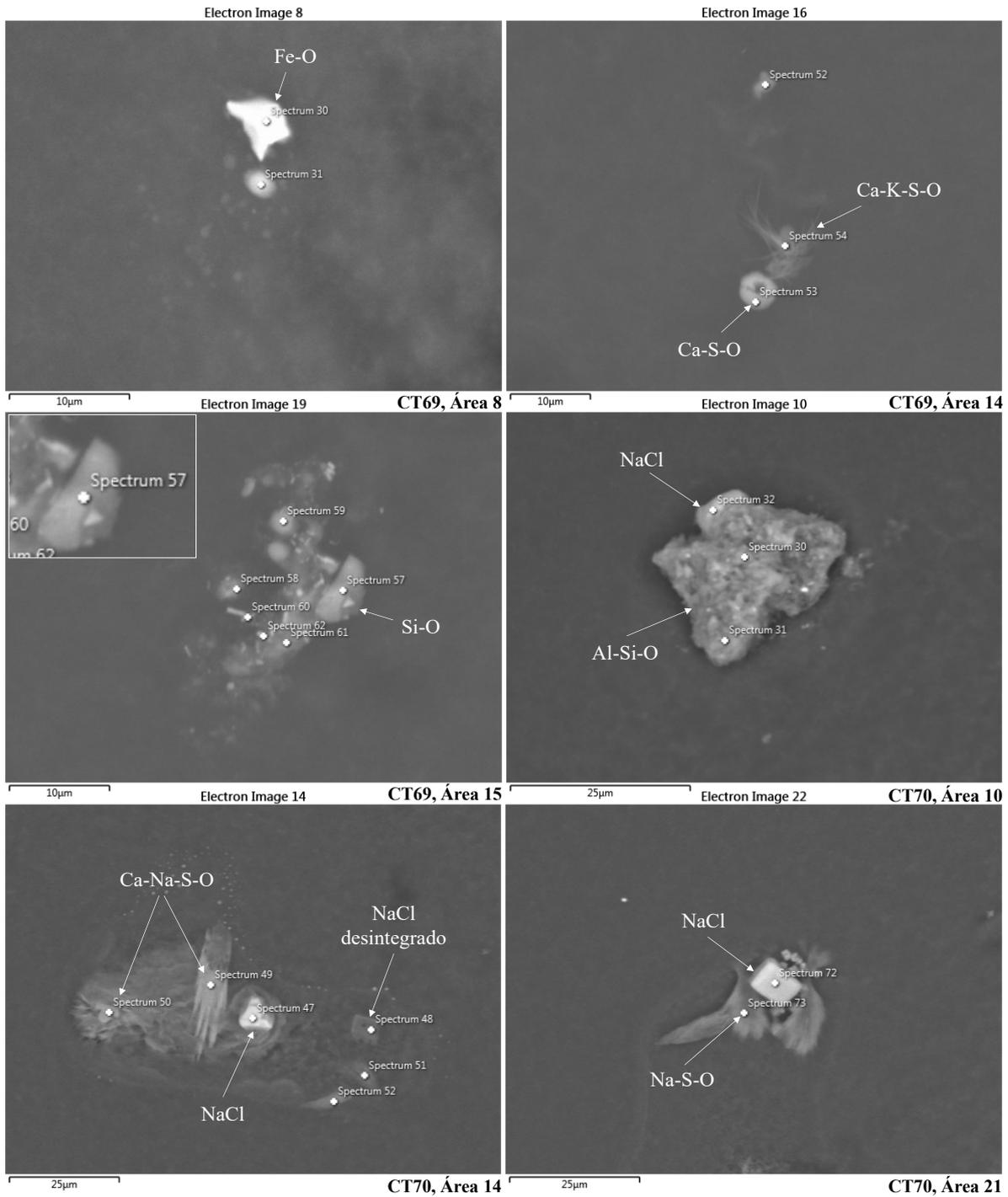
**Apêndice 4** – Fotomicrografias de partículas encontradas nos EBCs dos voluntários do grupo controle.



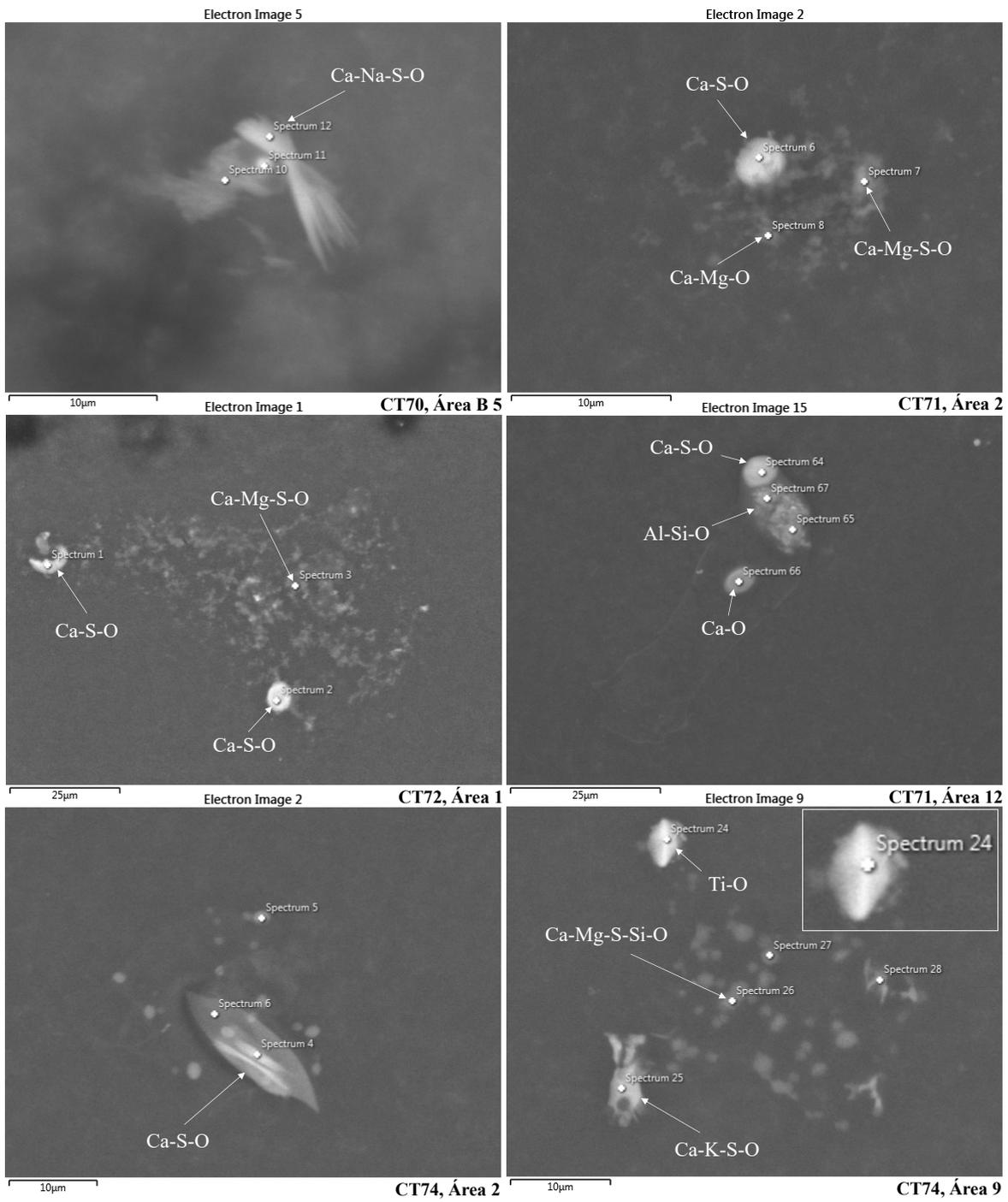
**Apêndice 4** – Fotomicrografias de partículas encontradas nos EBCs dos voluntários do grupo controle (continuação).



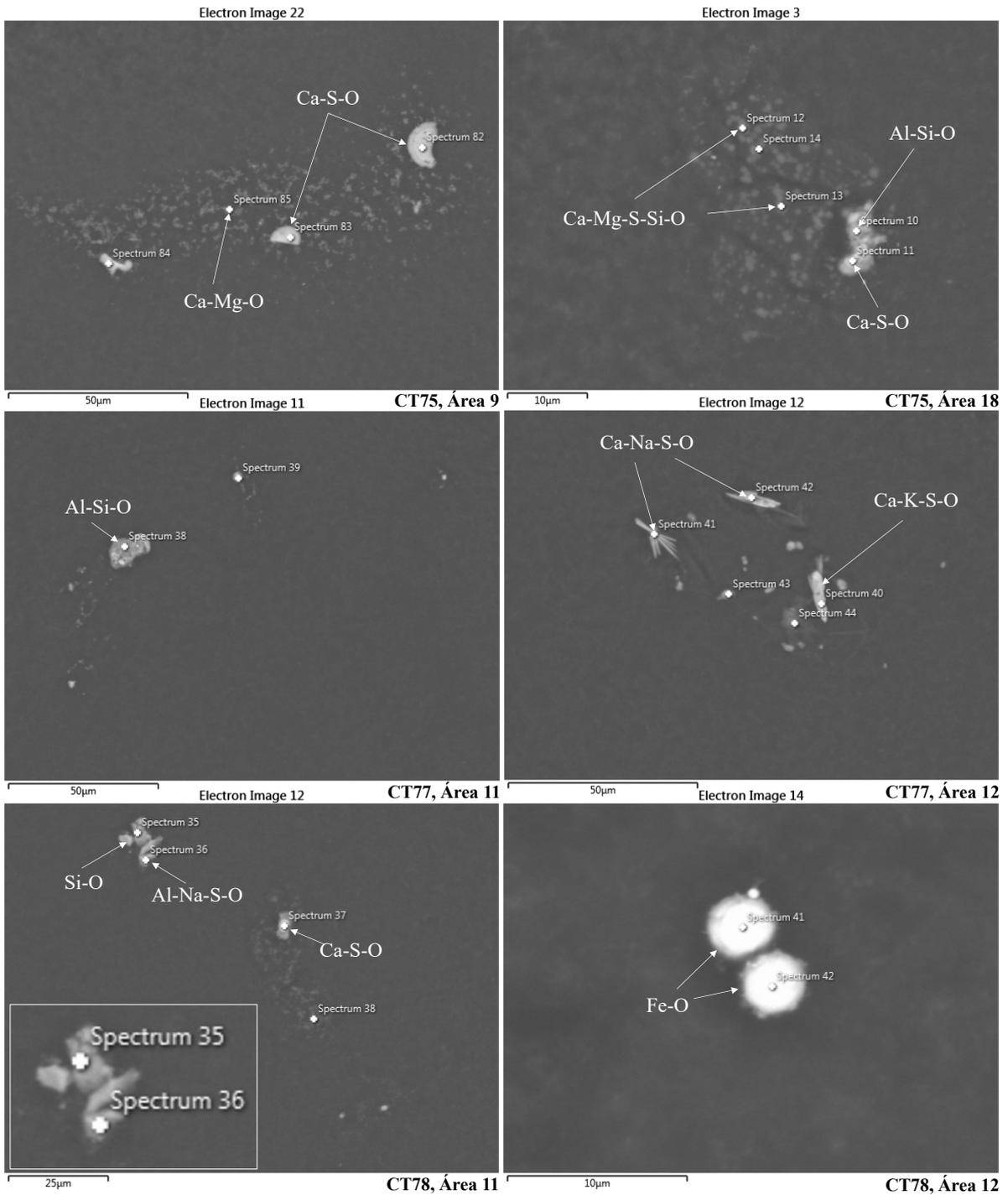
**Apêndice 4** – Fotomicrografias de partículas encontradas nos EBCs dos voluntários do grupo controle (continuação).



**Apêndice 4** – Fotomicrografias de partículas encontradas nos EBCs dos voluntários do grupo controle (continuação).



**Apêndice 4** – Fotomicrografias de partículas encontradas nos EBCs dos voluntários do grupo controle (continuação).



Apêndice 5 – Processo descritivo lapidários.

		Partícula ou Agregado	Processo Descritivo	
Código	Área	Elementos das Principais Fases Composicionais	Aspecto Morfológico	Aspecto Textural
CR01	1	Fe-Zn-O	Partícula irregular	Homogêneo
CR01	3	Al-Si-O-(+Fe)	Agregado	Heterogêneo
CR01	3	Al-Si-O	Pertencente ao agregado	Homogêneo
CR01	8	S-Si-O	Estrutura biológica	-
CR02	1	Al-Si-O-(+Ti)	Agregado	Heterogêneo
CR02	1	Al-Si-O	Pertencente ao agregado	Homogêneo
CR02	1	Ca-Mg-O	Agregado	Heterogêneo
CR02	2	Al-Si-O	Partícula irregular	Homogêneo
CR02	6	Ca-Na-S-O	Massa disforme	-
CR02	6	Ca-S-O	Circular	Homogêneo
CR05	1	Al-Si-O-(+K)	Agregado	Heterogêneo
CR05	1	Al-Fe-Si-O	Pertencente ao agregado	Heterogêneo
CR06	2	Ba-S-O	Partícula irregular	Homogêneo
CR06	9	Si-O	Agregado	Heterogêneo
CR06	9	Fe-Si-O	Pertencente ao agregado	Homogêneo
CR06	9	Al-Fe-Si-O	Pertencente ao agregado	Heterogêneo
CR06	9	Al-Si-O	Pertencente ao agregado	Homogêneo

Apêndice 5 – Processo descritivo lapidários (continuação).

		Partícula ou Agregado	Processo Descritivo	
Código	Área	Elementos das Principais Fases Composicionais	Aspecto Morfológico	Aspecto Textural
CR08	5	Al-Fe-Si-O-(+Ti)	Agregado	Heterogêneo
CR09	1	Ag-O	Acicular	Homogêneo
CR10	5	Fe-O	Agregado	Heterogêneo
CR10	5	Al-O	Pertencente ao agregado	Homogêneo
CR12	1	Al-Fe-Si-O	Agregado	Heterogêneo
CR12	1	Fe-O	Pertencente ao agregado	Homogêneo
CR15	1	Na-Si-O	Partícula irregular	Homogêneo
CR15	10	Al-Fe-Si-O	Agregado	Heterogêneo
CR15	10	Ca-Fe-Ti-O	Pertencente ao agregado	Homogêneo
CR15	10	Al-Si-O	Irregular	Homogêneo
CR17	3	Si-O	Aresta(s)	Homogênea
CR18	1	Al-Si-O	Aresta(s)	Homogênea
CR18	1	Al-Si-O-(+Fe)	Agregado	Heterogêneo
CR18	2	Al-Ca-Si-O	Aresta(s)	Homogêneo
CR19	1	Al-Fe-Si-O-(+Ti)	Partícula irregular	Heterogêneo
CR19	2	Mg-Si-O	Aresta(s)	Homogêneo
CR19	5	Fe-O	Circular	Homogêneo

Apêndice 6 – Processo descritivo grupo controle.

		Partícula ou Agregado	Processo Descritivo	
Código	Área	Elementos das Principais Fases Composicionais	Aspecto Morfológico	Aspecto Textural
CT66	5	Ca-Na-S-O	Acicular	Homogêneo
CT66	5	Al-Mg-Si-O	Agregado	Heterogêneo
CT66	8	Ca-Na-S-O	Tabular	Homogêneo
CT66	11	Ca-Na-S-O	Retangular	Homogêneo
CT66	12	Ca-Na-S-O	Retangular	Homogêneo
CT66	12	Ca-Na-S-O	Massa disforme	-
CT66	12	Na-S-O	Massa disforme	-
CT66	B 1	Ca-Na-S-O	Acicular	Homogêneo
CT66	B 1	NaCl	Cúbico	Homogêneo
CT66	B 17	Al-Fe-Si-O	Agregado	Heterogêneo
CT66	B 21	Al-Si-O	Partícula irregular	Homogêneo
CT67	17	Al-Si-O	Partícula irregular	Homogêneo
CT68	13	Al-Si-O-(+Fe)	Agregado	Heterogêneo
CT68	14	Al-Ca-Fe-Si-O	Triangular	Homogêneo
CT68	15	Fe-O	Triangular	Homogêneo
CT68	15	Al-Fe-Si-O	Massa disforme	-

Apêndice 6 – Processo descritivo grupo controle (continuação).

		Partícula ou Agregado	Processo Descritivo	
Código	Área	Elementos das Principais Fases Composicionais	Aspecto Morfológico	Aspecto Textural
CT69	1	Al-Si-O-(+Fe)	Agregado c/ arestas	Heterogêneo
CT69	1	Al-Ca-S-Si-O	Pertencente ao agregado	Homogêneo
CT69	8	Fe-O	Partícula irregular	Homogêneo
CT69	14	Ca-S-O	Circular	Homogêneo
CT69	14	Ca-K-S-O	Acicular	Homogêneo
CT69	15	Si-O	Aresta(s)	Homogêneo
CT70	10	Al-Si-O	Agregado	Heterogêneo
CT70	10	NaCl	Pertencente ao agregado	Homogêneo
CT70	14	Ca-Na-S-O	Acicular	Homogêneo
CT70	14	NaCl	Paralelepípedo	Homogêneo
CT70	21	NaCl	Paralelepípedo	Homogêneo
CT70	21	Na-S-O	Partícula irregular	Homogêneo
CT70	B 5	Ca-Na-S-O	Acicular	Homogêneo
CT71	2	Ca-S-O	Circular	Homogêneo
CT71	12	Al-Si-O	Partícula irregular	Heterogêneo
CT71	12	Ca-O	Circular	Homogêneo

**Apêndice 6** – Processo descritivo grupo controle (*continuação*).

		Partícula ou Agregado	Processo Descritivo	
Código	Área	Elementos das Principais Fases Composicionais	Aspecto Morfológico	Aspecto Textural
CT72	1	Ca-S-O	Circular	Homogêneo
CT74	2	Ca-S-O	Folha	Homogêneo
CT74	9	Ti-O	Losangular	Homogêneo
CT75	18	Al-Si-O	Partícula irregular	Heterogêneo
CT77	11	Al-Si-O	Partícula irregular	Heterogêneo
CT77	12	Ca-Na-S-O	Acicular	Homogêneo
CT78	11	Si-O	Partícula irregular	Homogêneo
CT78	12	Fe-O	Circular	Homogêneo