



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



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**NOVAS OCORRÊNCIAS DE ROCHAS VULCÂNICAS NO SUPERGRUPO MINAS:  
CARACTERIZAÇÃO, IDADES E SIGNIFICADO**

**Tatiany de Meira Alves**

**MONOGRAFIA nº 355**

Ouro Preto, Dezembro de 2019



**NOVAS OCORRÊNCIAS DE ROCHAS VULCÂNICAS NO  
SUPERGRUPO MINAS: CARACTERIZAÇÃO, IDADE E  
SIGNIFICADO**

---





## **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 355**

## **NOVAS OCORRÊNCIAS DE ROCHAS VULCÂNICAS NO SUPERGRUPO MINAS: CARACTERIZAÇÃO, IDADE E SIGNIFICADO**

**Tatiany de Meira Alves**

*Orientador*

**Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca**

*Co-Orientador*

**Prof. Dr. Cristiano de Carvalho Lana**

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 2019/2

**OURO PRETO**

**2019**

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: Tatiany de Meira Alves

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

A474n Alves, Tatiany de Meira .  
Novas ocorrências de rochas vulcânicas no Supergrupo Minas [manuscrito]:  
caracterização, idade e significado. / Tatiany de Meira Alves. - 2019.  
60 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca.  
Coorientador: Prof. Dr. Cristiano de Carvalho Lana.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de  
Minas.

1. Quadrilátero Ferrífero (MG). 2. Geocronologia. 3. Rochas ígneas. I. Fonseca,  
Marco Antônio. II. Lana, Cristiano de Carvalho. III. Universidade Federal de Ouro  
Preto. IV. Título.

CDU 550.93

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

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

## Ficha de Aprovação

---

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO:** A presença de rochas de presumível origem vulcânica no Supergrupo Minas: caracterização, idades e seu significado.

**AUTORA:** TATIANY DE MEIRA ALVES

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca

**Aprovada em:** 18 de dezembro de 2019

#### BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca



DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Marcos T. Freitas Saita



DEGEO/UFOP

Géol. Msc Márcio Antônio da Silva



CPRM

Ouro Preto, 18/12/2019



## Agradecimentos

---

Ouro Preto é meu ponto de chegada e de partida. Despeço-me convicta de que o tempo foi autor de inesquecíveis histórias. Gratidão a Deus, sobretudo, por ter me proporcionado caminhos tão grandiosos. À Vó Esmeraldina, Vó João e Vó Olavo por me guiarem em outro plano.

À minha mãe, pelo otimismo mesmo quando tudo parece desabar e por acreditar em mim mais do que eu mesma. Ao meu pai, pelo incentivo na profissão e por todo amor de tantos anos. À minha irmã, Thaís, agradeço pela amizade, pelo aprendizado que você proporcionou durante todo o meu crescimento e por ser infinitamente luz na minha vida. Você é minha maior inspiração! À Vó Merice, pelo exemplo de força, garra e superação. Grande exemplo de mulher! Ao Anderson, pelo carinho, amor, companheirismo em todos os momentos compartilhados e por cada palavra de conforto que tanto me acalenta.

Aos padrinhos Zaca, Eunice, Dionízia, Neire, tios e primos pelo apoio. Aos amigos de Caeté: Bárbara, Bu e Carlin, pelos laços verdadeiros. À toda Geologia e amigos de OP, especialmente: Normal, Cris, Zoom, Alê, Meros, Indiana, Tite, Nabad, Tchovis, Paulinha, Guido, Prymatha, Fala, Delux, Hakuna, Wilker e Cachu por terem proporcionado uma caminhada mais prazerosa e feliz.

Ao Marco Antônio, agradeço pela orientação e por cada suporte. Sempre solícito com muita paciência e determinação. Foi um verdadeiro presente estar sob sua orientação! Ao Laboratório de Geoquímica Isotópica UFOP, pelo suporte, em especial a Ana Alckmim pela disposição e carinho ao nos atender. Agradeço também os dados gerados no Laboratório de Microscopia e Microanálises do DEGEO-EM- Laboratório integrante da RMic, Rede de Microscopia e Microanálise de Minas Gerais-FAPEMIG, em especial à técnica Débora, pela boa vontade e pelos grandiosos conhecimentos.

Ao HAART, por me permitir levar acolhimento, sorrisos e trazer de volta muito de mim que havia se perdido com o tempo. À Jaguar Mining Inc., pela oportunidade de estagiar ao lado de profissionais tão competentes e por me permitir uma experiência tão engrandecedora. Ao Degeo e à Escola de Minas, pela educação de qualidade. À República Bem q se Kiss pela irmandade de sempre. Finalmente, à minha amada República Vesúvio, pelo acolhimento e pela família que construímos ao longo dos anos.



# SUMÁRIO

---

AGRADECIMENTOS.....	viii
SUMÁRIO .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO .....	xix
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUÇÃO .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	3
1.3 OBJETIVOS .....	5
1.4 JUSTIFICATIVA .....	5
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
1.5.1 Revisão bibliográfica .....	6
1.5.2 Trabalhos de campo.....	6
1.5.3 Preparação de Amostras .....	6
1.5.4 Confecção de lâminas delgadas.....	6
1.5.5 Análise petrográfica .....	6
1.5.6 Datação.....	7
CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	9
2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	9
2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO.....	10
2.2.1 Unidades do embasamento .....	11
2.2.2 Supergrupo Rio das Velhas.....	11
2.2.3 Supergrupo Minas.....	11
2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL E SÍNTESE DA EVOLUÇÃO TECTÔNICA.....	12

<b>GEOLOGIA LOCAL E CARTOGRAFIA DOS MATERIAIS .....</b>	<b>15</b>
<b>PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 PETROGRAFIA .....</b>	<b>29</b>
4.1.1. Ocorrência 1.....	39
4.1.2. Ocorrência 2.....	39
4.1.3. Ocorrência 3.....	39
<b>4.2 GEOCRONOLOGIA .....</b>	<b>43</b>
4.2.1 Ocorrência 1.....	43
4.2.2 Ocorrência 2.....	46
<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
5.1 DA ORIGEM DOS MATERIAIS .....	50
5.2 IMPLICAÇÕES GEOLÓGICAS.....	52
5.3 ANÁLISE INTEGRATIVA .....	52
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> 1–Imagem de satélite exibindo a localização da área de estudo em Minas Gerais. Fonte: Google Earth adaptado.....	4
<b>Figura 2.1-</b> Mapa de localização do Quadrilátero Ferrífero na borda meridional do Cráton do São Francisco (Alckmin & Marshak, 1998).....	9
<b>Figura 2.2.</b> Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero modificada (Farina et al., 2016).....	10
<b>Figura 2.3-</b> Mapa simplificado do Quadrilátero Ferrífero, baseado em Dorr (1969). Fonte: Alckmin & Noce (2006).....	12
<b>Figura 3.1-</b> Localização e mapa geológico para a Ocorrência 1.....	16
<b>Figura 3.2-</b> Detalhe da estrutura e granulometria da rocha da ocorrência 1, com resquícios ainda preservados de foliação aparente.....	17
<b>Figura 3.3-</b> Rocha encaixante pertencente à Formação Cauê identificada como itabirito alterado.....	17
<b>Figura 3.4-</b> Rocha encaixante pertencente à Formação Batatal identificada como filito sericítico.....	18
<b>Figura 3.5-</b> Localização e mapa geológico para a Ocorrência 2.....	19
<b>Figura 3.6-</b> Detalhe para o corpo de rocha vulcânica intrusiva encaixada de forma subconcordante à estruturação da Formação Moeda.....	20
<b>Figura 3.7-</b> Detalhe para o aspecto textural e estrutural da rocha encaixante do Grupo Nova Lima no local da ocorrência 2 .....	20
<b>Figura 3.8-</b> Detalhe para o corpo da ocorrência 2 truncando o Quartzito Moeda.....	21
<b>Figura 3.9-</b> Localização e mapa geológico para a Ocorrência 3.....	23
<b>Figura 3.10-</b> Corpo da ocorrência 3 em detalhe.....	24
<b>Figura 3.11-</b> Rocha encaixante (formação ferrífera) da ocorrência 3.....	24
<b>Figura 3.12-</b> Depósito do tipo Mudstone (lamito).....	25
<b>Figura 4.1-</b> Fotomicrografia da amostra 3A à luz transmitida com nicóis paralelos e foto da lâmina onde é possível ver a foliação presente e o grau alto de alteração.....	27
<b>Figura 4.2-</b> Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 1-Amostra 3A).....	29
<b>Figura 4.3-</b> Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 2- Amostra 3A).....	30
<b>Figura 4.4.</b> Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 3- Amostra 3A).....	31
<b>Figura 4.5-</b> Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 4-Amostra 3A).....	32
<b>Figura 4.6</b> – Fotomicrografia da amostra 4A à luz transmitida com nicóis paralelos e foto da lâmina que mostram as cores macroscópicas da rocha.....	33
<b>Figura 4.7-</b> Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 1-Amostra 4A).....	34
<b>Figura 4.8-</b> Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 2-Amostra 4A).....	35

<b>Figura 4.9</b> – Fotomicrografia da amostra 5A à luz transmitida com nicóis paralelos e foto da lâmina que representa macroscopicamente a rocha.....	36
<b>Figura 4.10</b> - Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (campo 1-Amostra 5A).....	37
<b>Figura 4.11</b> Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (campo 1- Amostra 5A).....	38
<b>Figura 4.12</b> Cristais de zircões representativos para a amostra 3 A (imagem 1).....	39
<b>Figura 4.13</b> Cristais de zircões representativos para a amostra 3 A (imagem 2).....	40
<b>Figura 4.14</b> - Diagrama de discórdia para a ocorrência 1 (idade de cristalização).....	40
<b>Figura 4.15</b> - Histograma de frequência de idades Pb/Pb para a ocorrência 1.....	41
<b>Figura 4.16</b> - Cristais de zircões representativos para a ocorrência 2 (imagem 1).....	42
<b>Figura 4.17</b> - Cristais de zircões representativos para a ocorrência 2 (imagem 2).....	42
<b>Figura 4.18</b> - Diagrama discórdia para a ocorrência 2 ( idade de cristalização).....	43
<b>Figura 4.19</b> - Histograma de frequência de idades Pb/Pb para a ocorrência 2.....	43



## Resumo

---

A presença de rochas de origem vulcânica em meio aos metassedimentos do Supergrupo Minas já é descrita em longa data. No entanto, face às relativamente poucas ocorrências já conhecidas e descritas e também diante do elevado estágio de alteração em que se apresentam, os resultados de estudos que visam sua caracterização mineralógica e petrográfica e, sobretudo a determinação de suas idades são ainda tímidos. Esse último aspecto, ou seja, a falta de unidades “datáveis” e idades mais precisas, faz com que o modelo de evolução da bacia Minas ainda guarde lacunas, seja do ponto de vista de sua tectônica formadora bem como de sua tectônica deformadora. Neste projeto foram investigadas três ocorrências (1,2 e 3) de rochas de presumível origem vulcânica. Todas se encontram alojadas em metassedimentos atribuídos aos Grupos Caraça e Itabira e estão presentes na área de transição entre os Sinclinais Moeda abas norte e leste, respectivamente, para as ocorrências 1 e 2 e no Sinclinal de Dom Bosco (aba norte) para a ocorrência 3. A ocorrência 1 consiste num corpo de 10 m de espessura, hoje inteiramente alterado em uma massa argilosa, posicionado na interface das formações Batatal/Cauê. Microscopicamente, a rocha consiste em ilmenita, rutilo, zircão, FeO e massa de composição Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>. Mostra uma foliação muito incipiente (em comparação com as encaixantes). A geocronologia U/Pb zircão mostrou idades de 2.199 +- 120 M.a. A ocorrência 2 consiste também num corpo subconcordante, alojado na Formação Moeda. Trata-se também de uma massa argilosa que, ao microscópio, mostrou rutilo, quartzo e massa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub> e também exhibe tênue foliação. Sua idade U/Pb foi 2.095 +- 24 M.a. A ocorrência 3 ocorre internamente à formação ferrífera. Trata-se de uma rocha também muito alterada, com “blastos” de caulinita imersos numa matriz e com foliação proeminente. Ao microscópio, revelou bandas de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e bandas de FeO. Apesar dos esforços em concentrar os minerais pesados, não foi possível a extração de zircão que propiciasse estudos geocronológicos. Em todas as ocorrências estudadas, a despeito da alteração profunda, a significativa diferença composicional entre os corpos estudados e suas encaixantes, já muito conhecidas em termos composicionais, indica sua presumível origem ígnea. As idades obtidas, dentro de suas margens de erro, indicam que esses corpos podem se relacionar ao mesmo processo magmático associado às rochas vulcânicas do Grupo Sabará. Com base nestes mesmos dados e naqueles obtidos na literatura, é sugerido aqui que a inversão da bacia Minas no Paleoproterozóico possa ter ocorrido entre 2.095 M.a e 2.059 M.a.

**Palavras chave:** Quadrilátero Ferrífero, Supergrupo Minas, Rochas ígneas



## Abstract

---

The presence of rocks of volcanic origin amid metasediments of the Minas Supergroup has been known for a long time. However, due to relatively few occurrences and also to deep weathering, their petrographic characterization and also reliable ages still lacks. Also, the absence of interlayered volcanic beds and “datable” crosscutting dykes is a real problem when constraining the time of opening and closure of the Minas Basin and its mineral deposits as well. In this study, three occurrences (1, 2 and 3) of presumed volcanic origin were investigated. All of them are hosted by metasediments of the Caraça and Itabira Groups located in the transition zone of the Moeda and Dom Bosco Synclines (occurrence 1 and 2) and in the northern limb of the Dom Bosco Syncline (occurrence 3) in the western QF. Occurrence 1 consists of 10 m thick weathered layered bed clayey at the Batatal/Cauê Formations contact. This rock is composed of ilmenite, rutile, zircon and composition mass Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> and depicts an incipient cleavage (compared to host rocks). The U/Pb zircon geochronology yielded age of 2.166 ± 120 M.a. Occurrence 2 consists of a clayey flat body truncating the Moeda Formation. Under the microscope, it is showed rutile, quartz and mass of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> and also displays an incipient cleavage. U/Pb geochronology yielded age of 2095 ± 24 M.a. Occurrence 3 is a weathered laminated body within the BIFs of the Cauê Formation. It is composed of SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bands and FeO bands. It was not possible to extract zircon for geochronological studies. Despite deep weathering, a significant difference between the studied bodies and their host rocks do exist, thus indicating their presumed probable origin. The U/Pb ages, within their margins of error suggest these bodies can correlate to the same magmatic process associated with the Sabará Group volcanic rocks. Based on these U/Pb data and those in the literature, closure of the Minas Basin can be constrained in the time interval between 2,095 M.a and 2,059 M.a.

**Key words:** Quadrilátero Ferrífero, Minas Supergroup, volcanic rocks.





### 1.1 APRESENTAÇÃO

O substrato siálico do Quadrilátero Ferrífero apresenta, além do embasamento cristalino, constituído por gnaisses tonalíticos-graníticos tipo TTG, sequências Vulcano-Sedimentares tipo *Greenstone belts*, de idade Arqueana, atribuídas ao Supergrupo Rio das Velhas. Estratigraficamente acima se encontram rochas metassedimentares do Supergrupo Minas.

Do ponto de vista de evolução arqueana, os processos tectônicos e metalogenéticos (estes últimos para o caso das unidades supracrustais) estão de certa forma bem balizados temporalmente (Noce 1995; Lana *et al.* 2013; Farina *et al.* 2015). Em contraposição, para o Supergrupo Minas, unidade imediatamente acima sobreposta, e cuja deposição teve início na transição Neoarqueano-Paleoproterozóico, ainda há lacunas no balizamento temporal existente de sua evolução. Tais lacunas comprometem de um lado, uma melhor compreensão no aspecto de sua evolução, desde a fase rift da Formação Moeda, unidade basal, bem como da tectônica responsável por sua inversão (a orogenia Minas) e de outro, uma melhor definição das épocas metalogenéticas associadas, cujos produtos são encerrados nas unidades litoestratigráficas que compõem o Supergrupo Minas. O problema decorre justamente pela ausência de unidades "datáveis".

Há certo consenso na literatura, isso com base nos dados disponíveis, que o Supergrupo Minas represente uma bacia que evoluiu entre 2.6 e 2.0 G.a (Renger *et al.* 1994), o que vem a corresponder ao Éon Fanerozóico na íntegra.

Estudos recentes interessando à Formação Moeda mostram que, a partir de zircões detríticos, a idade máxima de sedimentação da unidade da formação gira em torno de 2.6 G.a (Farina *et al.*, 2015; Dopico *et al.*, 2017). De outro lado, para a unidade sobrejacente, a Formação Gandarela, os dados Pb/Pb fornecem um idade de  $2.419 \pm 19$  M.a segundo Babinski *et al.* (1995). Para o Grupo Piracicaba o problema persiste, com carência absoluta de dados. Uma única idade mínima Pb/Pb de dolomitos da Formação Fecho do Funil foi de 2.1 G.a de acordo com Babinski *et al.* (1993), isócrona esta considerada como de metamorfismo, portanto como idade mínima de sedimentação.

Este empilhamento, balizado pela cronologia temporalmente decrescente, foi, no entanto questionado, uma vez que Cabral *et al.* (2012), obtiveram uma idade U/Pb de zircão de 2.650 M.a, em uma rocha metavulcânica intercalada nas formações ferríferas da Formação Cauê.

Posicionadas entre as Formações do Grupo Itabira e Grupo Caraça, pertencentes ao Supergrupo Minas, já foram descritas na literatura rochas de origem vulcânica. Costa (1961) cita a ocorrência de tufos vulcânicos intercalados em meio aos metapelitos do Grupo Sabará. O autor menciona ainda a ocorrência de diques de anfíbolitos que truncam esta unidade apresentando metamorfismo e deformação juntamente com a encaixante.

Simmons (1968) indicou a presença de rochas intrusivas máficas a qual considerou pertencer ao Supergrupo Rio das Velhas, sugerindo que as mesmas pudessem truncar o Supergrupo Minas. Johnson (1962) descreveu uma sequência de xistos verdes no Sinclinal Dom Bosco, meio a rochas atribuídas ao Grupo Piracicaba, que teriam possível origem vulcânica; Guild (1957) registrou material vulcânico no Supergrupo Minas, em Congonhas.

Pires (1983) descreveu rochas de possível origem vulcânica na interface Caraça / Itabira, especialmente nos flancos leste do Sinclinal Moeda bem como no Sinclinal Dom Bosco. Junto à Formação Batatal, ele descreveu uma sucessão de rochas máficas, metabásicas, máficas com caolim e talco xistos. Segundo o autor, estas rochas, de um modo geral, muito alteradas, afloram nos flancos leste do Sinclinal Moeda, nas minas de Mutuca, Tamanduá e Gama, além de locais no flanco oeste do mesmo Sinclinal, próximo ao condomínio Retiro das Pedras e nas minas de Casa de Pedra e Pau Branco.

Em associação com a Formação Gandarela, Pires (1983) descreveu um clorita xisto magnetítico com possível origem a partir de rochas metaultramáficas. Estas rochas foram descritas próximas à junção da Serra da Moeda e do Anticlinal do Curral. No flanco norte do Sinclinal de Dom Bosco, próximo ao Alto do Monumento, junto ao topo da Formação Cauê, o autor descreveu *Greenstones* constituídos por clorita magnetita xistos e rochas metabásicas.

Suckau *et al.* (2005) identificaram corpos aflorantes e em furos de sonda de rochas metavulcânicas transicionais às formações ferríferas nas minas de Tamanduá e Capitão do Mato. Embora muito alteradas, os autores conseguiram, a despeito da profunda alteração supergênica, identificar texturas que comprovariam o caráter vulcânico a vulcanoclástico e composicional (de termos máficos a félsicos - balsaltos a dacitos) destas rochas. Os autores concluíram ainda que toda a sequência foi deformada conjuntamente com a Formação Cauê, pois possuía o mesmo acervo estrutural desta unidade.

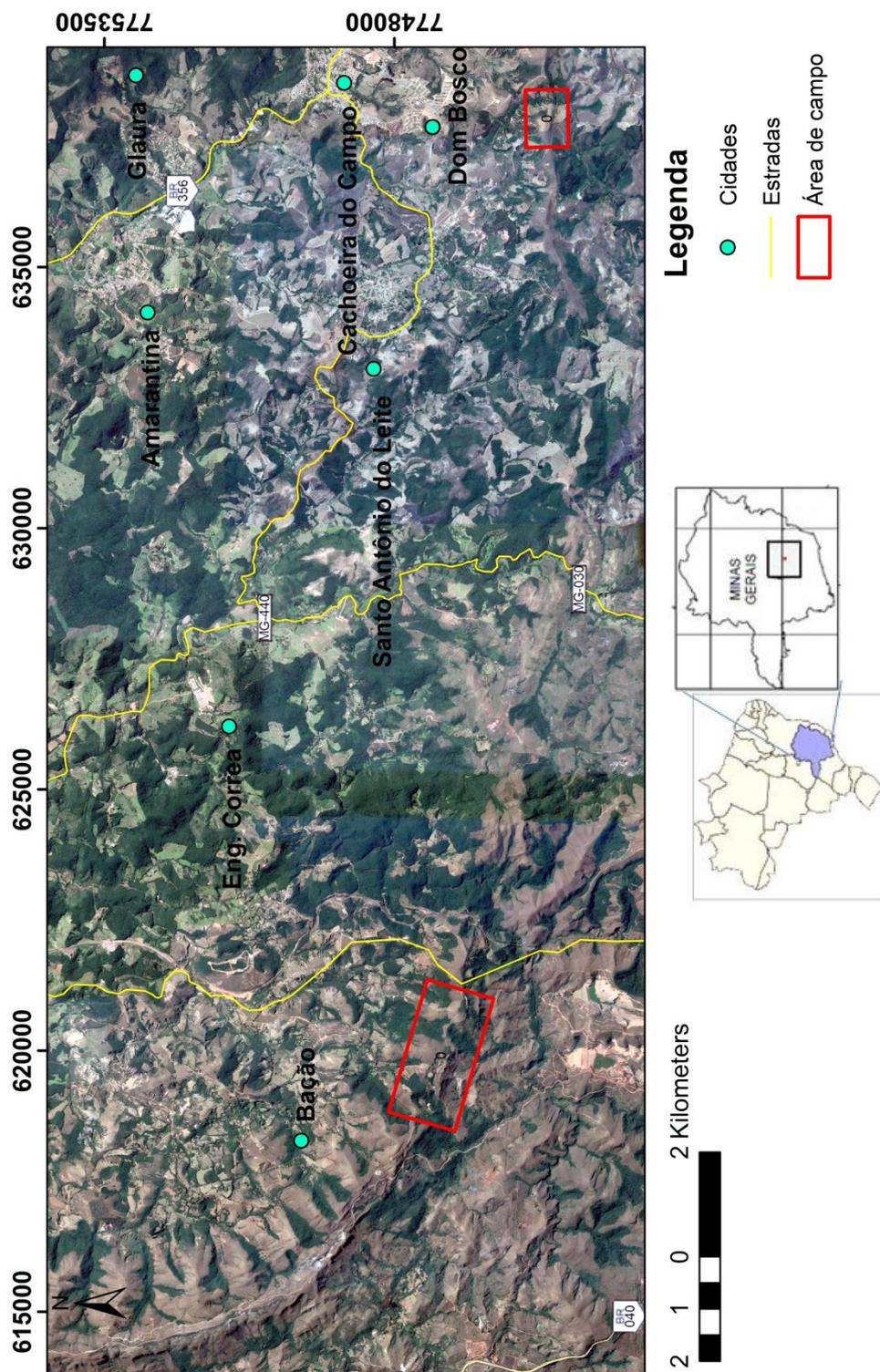
Neste trabalho foram identificadas ocorrências de possíveis rochas de origem vulcanogênica nos Sinclinais Dom Bosco e Moeda. Essas rochas foram mapeadas, em detalhe, o que permitiu estabelecer seu correto posicionamento estratigráfico. Em seguida foram amostradas, embora estivessem em profunda alteração em virtude do intemperismo, e estudadas sob seus aspectos petrográficos e geocronológicos. Os dados obtidos nesta investigação trazem resultados que tem

algumas implicações importantes sobre os processos tectônicos envolvendo a bacia Minas, ao longo do período de tempo do Paleoproterozóico.

## **1.2 LOCALIZAÇÃO**

A área de estudo encontra-se na região central do estado de Minas Gerais (Figura 1.1), englobando os municípios de Itabirito e Ouro Preto. Três áreas foram cartografadas e nelas ocorrem as rochas objeto do presente estudo. As áreas 1 e 2 localizam-se no município de Itabirito. Podem ser acessadas partindo-se desta cidade para sul, até o distrito de São Gonçalo do Bação. Para acesso à área 1, toma-se uma estrada partindo-se deste distrito para sul, por aproximadamente 4 km. Para acesso à área 2, o acesso é feito por rodovia municipal que liga São Gonçalo ao distrito de Ribeirão do Eixo, já junto à BR 040. Partindo-se de Belo Horizonte, ambas as áreas podem ser acessadas a partir deste distrito, tomando o sentido contrário de direção.

Para acesso à área 3, deve-se alcançar o distrito de Cachoeira do Campo (Ouro Preto). De lá segue-se para sul, por aproximadamente 10 km até a localidade de Dom Bosco, antiga estação ferroviária da Estrada de Ferro desativada (Central do Brasil). A partir de Dom Bosco, toma-se a estrada (antigo leito da ferrovia), por 4 km no sentido oeste.



**Figura 1. 1**—Imagem de satélite exibindo a localização da área de estudo em Minas Gerais. Fonte: Google Earth adaptado.

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho consistiu em investigar a ocorrência de rochas de presumível origem vulcânica, que ocorrem intercaladas às unidades litoestratigráficas do Supergrupo Minas, caracterizando-as do ponto de vista estratigráfico, petrográfico e geocronológico, a fim de que se obtenham dados geocronológicos mais seguros acerca da evolução temporal da bacia Minas, desde os primórdios da sua instalação (fase rift), até sua inversão.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

A presença de rochas de origem ígnea, junto às rochas metassedimentares do Supergrupo Minas sempre foi debatida. As razões são variadas: exposições ruins, com materiais muito alterados e que prejudicam a melhor caracterização petrográfica é uma delas. Mesmo em sondagens mais profundas realizadas em minas em operação, estes materiais são geralmente muito decompostos. A sequência temporal obtida até o presente momento, realizada com base principalmente em dados de zircões detríticos em idade U/Pb, revela um largo período de evolução sedimentar de quase 600 M.a, o que pode vir a revelar processos interessantes de evolução bacinal ao alvorecer do Proterozóico. No entanto, toda a história evolutiva apresentada, baseada nesses dados geocronológicos tem sido colocada em cheque quando confrontada aos dados geocronológicos obtidos por Cabral *et al.*(2012).

Este fato, ou seja, a ausência de mais trabalhos com rochas favoráveis à geração de estudos geocronológicos que não deixem dúvidas (ex. vulcânicas sin-sedimentares ou posteriores que cortem as sucessões sedimentares da bacia é em boa parte responsável por estas pendências que resultam numa compreensão ainda incompleta dos processos atuantes na geração dessa importante unidade litoestratigráfica. Neste sentido, qualquer investigação que se proponha trazer luz aos novos elementos e que contribua para desembaraçar estes gargalos passa a ser ansiada.

Os novos dados obtidos, além de apontarem com maior precisão a história de evolução bacinal (especialmente a temporalidade da implantação da fase rift e de transição para margem passiva), podem contribuir para o melhor balizamento das idades metalogenéticas, interessando mineralizações associadas ao Supergrupo Minas, em especial U e Au na Formação Moeda e BIF's no Grupo Itabira. A depender dos dados obtidos, a presente investigação poderá trazer luz até mesmo para os processos tectônicos de inversão da própria bacia, já ao término do Paleoproterozóico.

## **1.5 MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente trabalho de conclusão de curso foi executado de acordo com os métodos que serão descritos na sequência abaixo:

### **1.5.1 Revisão bibliográfica**

Inicialmente, foi efetuada uma extensa pesquisa bibliográfica com compilação dos principais trabalhos sobre o tema abordado a qual será apresentada nos capítulos iniciais desse trabalho.

### **1.5.2 Trabalhos de campo**

Nesta etapa foram realizados perfis regionais de campo para reconhecimento das rochas. Identificadas algumas ocorrências potenciais, as mesmas foram investigadas em detalhe, com realização de mapas base na escala de 1:1.000. Foram reconhecidas três ocorrências: duas próximas à junção do Sinclinal Moeda com o Sinclinal de Dom Bosco (em sua aba norte) e uma próxima ao traço axial cartográfico do Sinclinal de Dom Bosco. Realizada a cartografia, foi feita a coleta de amostras para estudos petrográficos e geocronológicos.

### **1.5.3 Preparação de Amostras**

As amostras sempre muito alteradas foram pulverizadas e britadas. Seguiu-se ao bateamento e separação dos pesados, para a catação do mineral zircão, visando à datação.

### **1.5.4 Confeção de lâminas delgadas**

Três lâminas de três diferentes amostras foram preparadas para exame ao microscópio ótico com a finalidade de descrição e caracterização petrográfica dos litotipos a serem estudados. Após a realização da petrografia, ocorreu a preparação dessas três amostras para estudos geocronológicos e foi efetuada catação de cristais de zircão, para confecção de pastilhas de resina que após secarem, foram levadas ao imageamento e datação pelo método U/Pb, com uso do LA-ICP-MS do laboratório da UFOP.

### **1.5.5 Análise petrográfica**

Foram feitas análises petrográficas para a caracterização ótica da mineralogia, texturas e estruturas das rochas analisadas e também análises químicas para algumas amostras. Inicialmente realizou-se ao Microscópico Ótico e posteriormente ao Microscópico Eletrônico de Varredura (MEV), com o intuito de caracterizar do ponto de vista químico-estrutural em virtude do estado de alteração das amostras.

### **1.5.6 Datação**

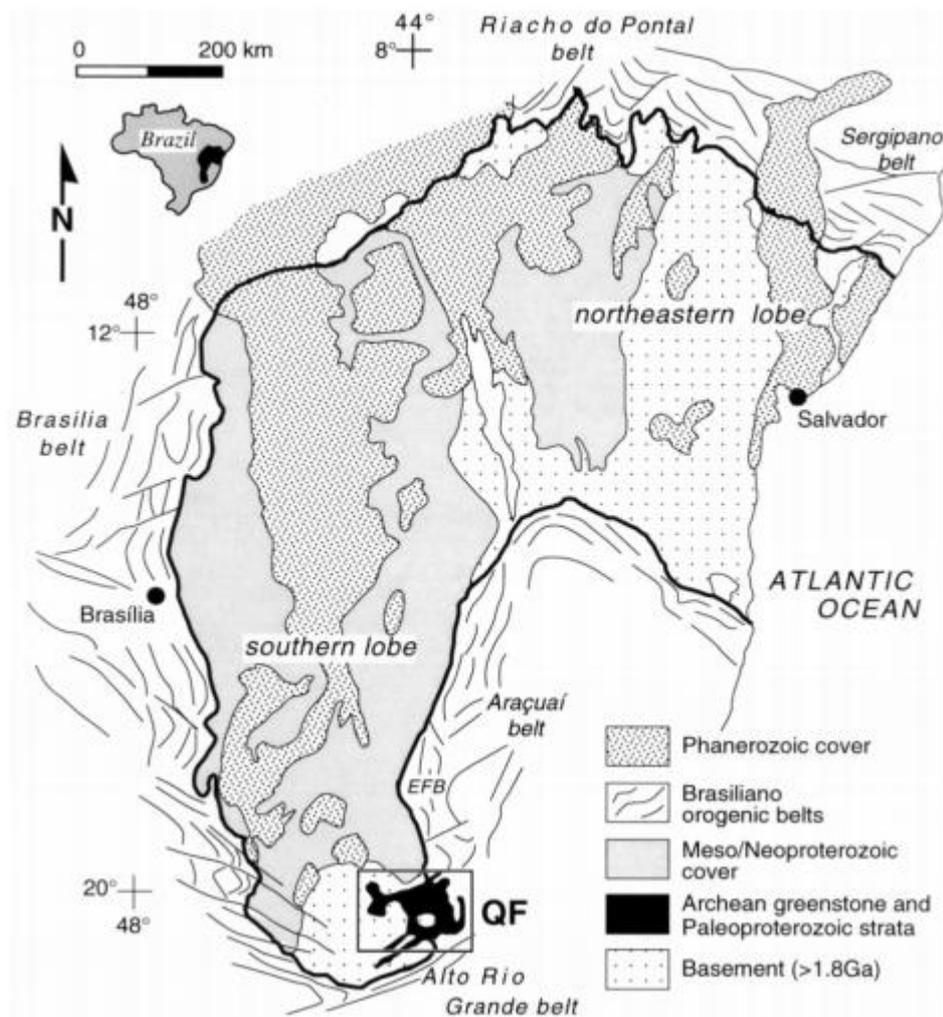
Neste trabalho, foram realizadas análises de U/Th/Pb utilizando-se do método LA-ICPMS em cristais de zircão no Laboratório de Geocronologia do Departamento de Geologia da UFOP, visando à datação das rochas coletadas nos afloramentos das regiões citadas anteriormente. Esse método é utilizado na geocronologia, devido à existência demasiada de minerais com alta concentração U.



## CAPÍTULO 2

### CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

#### 2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO



**Figura 2.1-** Mapa de localização do Quadrilátero Ferrífero na borda meridional do Cráton do São Francisco (Alckmim & Marshak, 1998)

## 2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO

Segundo Dorr (1969) e Alckmin & Marshak (1998), a coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero composta por três unidades (Figura 2.1): i) Embasamento arqueano; ii) supracrustais de mesma idade, encerradas no Supergrupo Rio das Velhas; iii) supracrustais de idade Paleoproterozoica dos Supergrupos Minas e no Grupo Itacolomi (Figura 2.1).

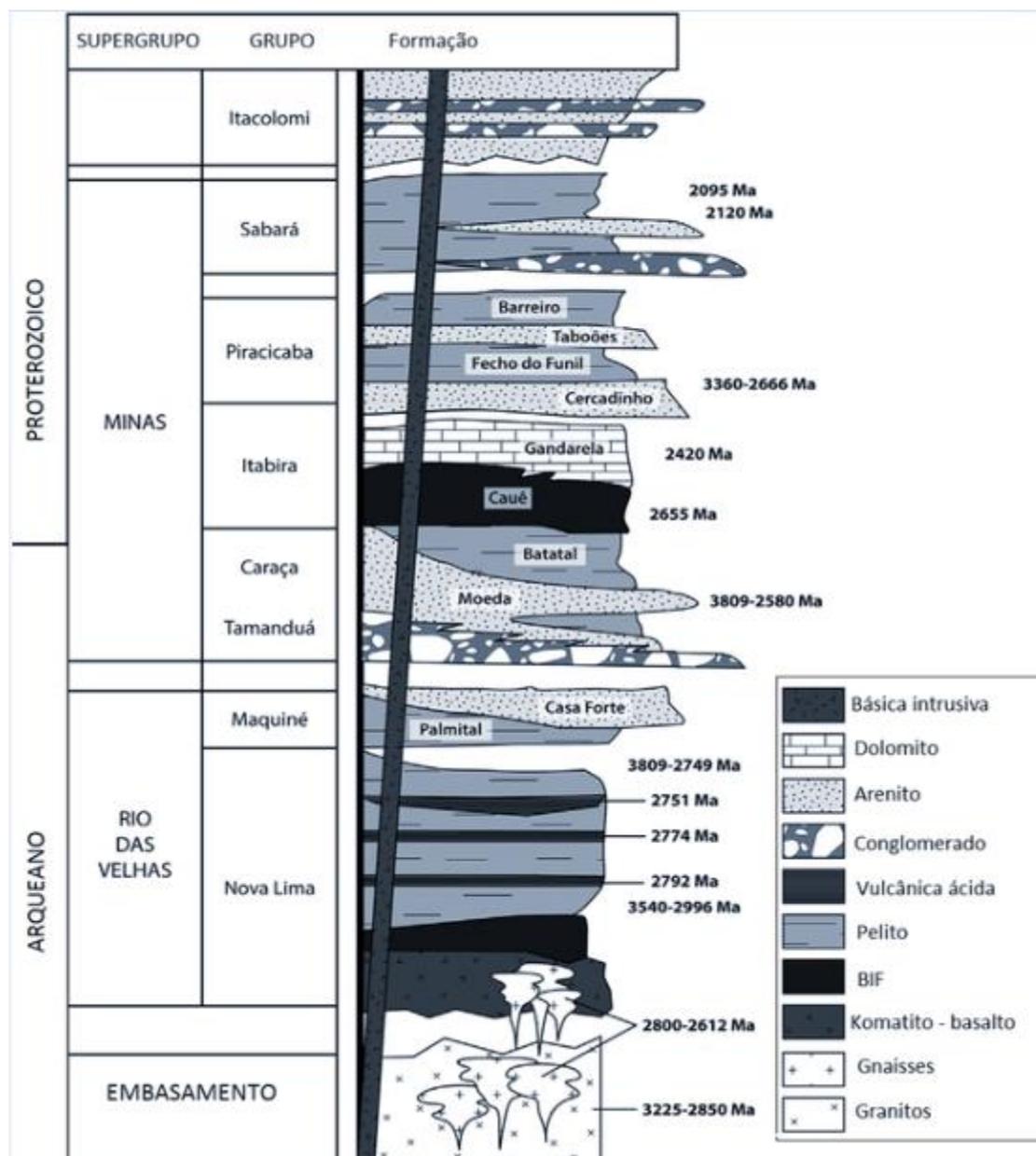


Figura 2.2- Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero, modificada (Farina *et al.*, 2016)

### **2.2.1 Unidades do embasamento**

O embasamento ocorre na forma de núcleos de domos em estruturas anticlinoriais. Esses terrenos de composição TTG, localmente migmatizados tem sua distribuição principalmente nos Complexos do Bação (central), Caeté e Belo Horizonte (ao norte), Florestal e Bonfim (a oeste) e Santa Bárbara (a leste). O embasamento se consolidou através de sucessivos ciclos temporais de acreção crustal, a saber: Santa Bárbara (3.220 M.a), Rio das Velhas I (2920 e 2850 M.a), Rio das Velhas II (2.800-2850 M.a), (Lana *et al.*, 2013; Farina *et al.* 2015). Esses três episódios são seguidos por um período de intensa migmatização e fusão parcial com geração de granitóides potássicos, em torno de 2750-2700 M.a, durante o denominado evento Mamona (Farina *et al.*, 2015).

### **2.2.2 Supergrupo Rio das Velhas**

O Supergrupo Rio das Velhas consiste em sequências de rochas metavulcano-sedimentares de idade Arqueana. Da base para o topo, o Supergrupo Rio das Velhas foi dividido por Dorr (1969) e Ladeira (1980), em dois grupos: Nova Lima e Maquiné. Schorscher (1979) individualizou, além desses, mais um grupo, basal, constituído de metakomatiitos e peridotitos, e que foi denominado Quebra Osso.

O Grupo Nova Lima possui uma unidade basal de natureza vulcano-sedimentar que é formada por komatiitos, xistos, filitos, intercalações de formações ferríferas, quartzo dolomitos. No topo, o Grupo Maquiné, encerra metaconglomerados, quartzitos, e secundariamente filitos, como proposto por Dorr (1969).

### **2.2.3 Supergrupo Minas**

Derby (1906) que primeiramente cunhou o termo Série Minas, o qual foi posteriormente redefinido por Barbosa (1968) e Dorr (1969) como Supergrupo Minas e subdividido da base para o topo: Caraça, Itabira, Piracicaba e por último, o Grupo Sabará.

Na base se encontra o Grupo Caraça, logo depois, o Grupo Itabira, no intermédio há o Grupo Piracicaba e por último, no topo, ocorre o Grupo Sabará, conforme proposto por Barbosa (1968) e Renger *et al.* (1994).

O Grupo Caraça compartimenta-se em duas Formações: Moeda, na base e Batatal, no topo. A primeira corresponde a quartzitos, filitos e metaconglomerados. Já a segunda, tem em sua constituição filito sericítico e secundariamente filito grafitoso e formação ferrífera (Dorr 1969).

O Grupo Itabira pode ser dividido em duas formações da base para o topo: a Cauê (itabiritos, itabiritos dolomíticos e anfíbolíticos), além de lentes de filito, xisto e margas. Para o topo, em contato, geralmente gradacional, ocorre a Formação Gandarela.

O Grupo Piracicaba foi dividido nas formações: Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro. A primeira é constituída de filitos, filitos prateados e dolomíticos, quartzitos e quartzitos ferruginosos. A segunda é constituída por dolomitos impuros, filitos e filitos dolomíticos. A terceira é constituída essencialmente por ortoquartzitos finos e a última constituída de filitos grafitosos e filitos (Dorr 1969).

Por fim, segue-se o Grupo Sabará, que anteriormente era tratado como formação, tendo sido elevado à categoria de Grupo por Barbosa (1968), constituído por clorita-xisto, metagrauvas, formações ferríferas, quartzitos, metaconglomerados, itabiritos (Dorr 1969).

### 2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL E SÍNTESE DA EVOLUÇÃO TECTÔNICA

A feição marcante no arcabouço geológico do Quadrilátero Ferrífero é a presença de domos do embasamento e calhas sinformais das supracrustais (Figura 2.2).

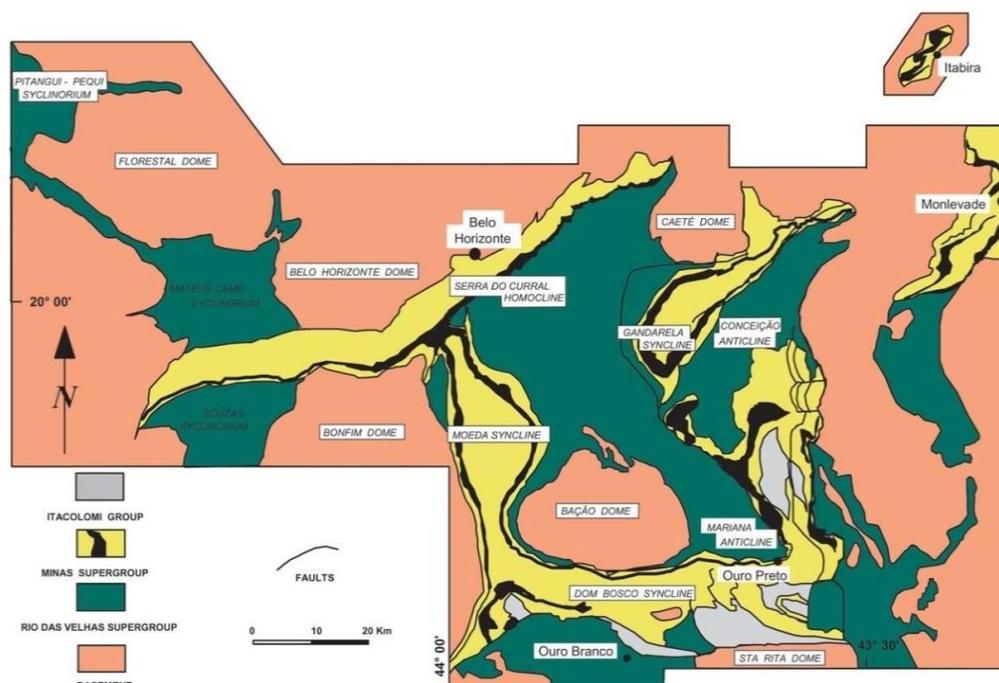


Figura 2.3– Mapa simplificado do Quadrilátero Ferrífero, baseado em Dorr (1969). Fonte: Alkmin & Noce (200

De acordo com Dorr (1969), três eventos deformacionais seriam responsáveis por estruturar o Quadrilátero Ferrífero. Estes seriam: o inicial, afetando o Supergrupo Rio das Velhas e de idade Arqueana. O segundo seria um evento relacionado a arqueamentos e soerguimentos no Supergrupo Minas, ocorrendo ao final do Paleoproterozóico. E o último evento, ocorreu pós sedimentação do Grupo Itacolomi. Este teria afetado todas as sequências do Quadrilátero e formado sinformes e antifformes de idade Neoproterozóicas.

Três ciclos de deformação são estruturados para o Quadrilátero Ferrífero segundo Endo (1997) e Endo & Machado (1998): i) O Ciclo Jequié datado de 2780-2560 M.a, que inicia sua evolução tectônica na orogênese Rio das Velhas e foi responsável por deformar os Grupos Quebra Osso e Nova Lima. Posteriormente, o ciclo impulsiona magmatismo de forte intensidade na região, bem como a alocação de plútons calcioalcalinos e encerra-se em um regime transpressional dextral, com a ascensão de corpos graníticos sintectônicos; ii) O Transamazônico possui alternância em fases compressionalis e extensionais, compreendendo quatro fases deformacionais. A primeira trata-se de um caráter compressional de NE para SW, no qual houve inversão da bacia Minas. A segunda tem caráter extensional com esforço NW para SE, cuja deformação originou os domos metamórficos. A terceira, assim como a primeira, tem caráter compressional, porém com esforço SE para NW. Já a quarta fase apresenta um regime extensional com esforço NW para SE com orientação do campo tectônico para SE, o que levou à intrusão de diques máficos e inversão da bacia Itacolomi; iii) O Ciclo Brasileiro possui um regime transpressivo e atuou com duas fases compressionalis. A primeira com estruturas vergendo para NW e cinemática dextral. A segunda é marcada pela cinemática transpressional sinistral com encurtamento SSE-NNW.

Na concepção de Alckmim & Marshak (1998), um modelo de domos e quilhas caracterizariam a tectônica do QF em que o embasamento se sobressai em relação às supracrustais. Além disso, foram apresentados três eventos de deformação para explicar a evolução do arcabouço estrutural do QF, a partir do Paleoproterozóico: i) D1 é o primeiro evento, afetou o Supergrupo Minas e relaciona-se à orogênese Transamazônica a 2.1 G.a; ii) D2 trata-se do segundo evento deformacional e se associa ao colapso da cadeia com a ascensão do embasamento, gerando a tectônica de domos e quilhas; iii) D3 durante o Neoproterozóico. Possui natureza contracional, deforma as estruturas pré-existentis com a formação de falhas de empurrão, dobras mesoscópicas e reativação de zonas de cisalhamento.



### GEOLOGIA LOCAL E CARTOGRAFIA DOS MATERIAIS

---

No decorrer da realização das atividades de campo, foram identificadas três ocorrências de rochas com características petrográficas muito distintas das rochas que as encaixam, as quais pertencem ao Supergrupo Minas (estas indubitavelmente pertencentes aos metassedimentos dos Grupos Caraça e Itabira). As exposições tinham em comum, em primeiro lugar o avançado estágio de alteração das rochas (muito embora às vezes exibindo alguma estrutura reliquiar) e em segundo sua posição estratigráfica, sempre na zona transição entre as Formações Batatal e Cauê ou internamente a esta última.

O trabalho de campo, com o objetivo de cartografar tais materiais foi realizado com GPS e os mapas gerados foram confeccionados na escala de 1:1.000. Alguns desses corpos, por conta de sua espessura pequena, foram representados com exagero nos mapas. Foi utilizado o software ArcGIS (versão 10.3) e a seguir os mesmos foram estilizados no programa Corel Draw. O trabalho de campo, além da cartografia propriamente, envolveu ainda a amostragem detalhada para estudos posteriores.

A primeira ocorrência estudada, aqui tratada como 1, foi identificada na zona de articulação entre o flanco leste do Sinclinal Moeda e o flanco norte do Sinclinal de Dom Bosco. Posiciona-se na interface Formação Batatal – Cauê (Figura 3.1). No local, a sequência estratigráfica está invertida, estando a Formação Cauê (Figura 3.3), posicionada sob os filitos sericíticos da Formação Batatal (Figura 3.4), que por sua vez, encontram-se sotopostos à Formação Moeda. Todo o conjunto tem direção NW, com mergulhos em torno de 30° para NE.

O corpo está profundamente intemperizado, contudo apresenta resquícios de uma foliação, que se diferencia, à análise macroscópica, da xistosidade apresentada pelos filitos da Formação Batatal. O corpo tem uma morfologia intrusiva e concordante com a rocha hospedeira. A espessura do corpo varia, mas pode ser inferida, com certa segurança, em torno de 6 a 10 m.

A rocha possui coloração em tons pastéis de marrom médio a bege e às vezes tons rosados (Figura 3.2). O nível de alteração não permite caracterizar os minerais e tampouco estimar suas porcentagens. É possível notar níveis sericíticos e uma possível laminação dada pela alternância de cores claras e escuras, com variações milimétricas. A granulação é consideravelmente fina.

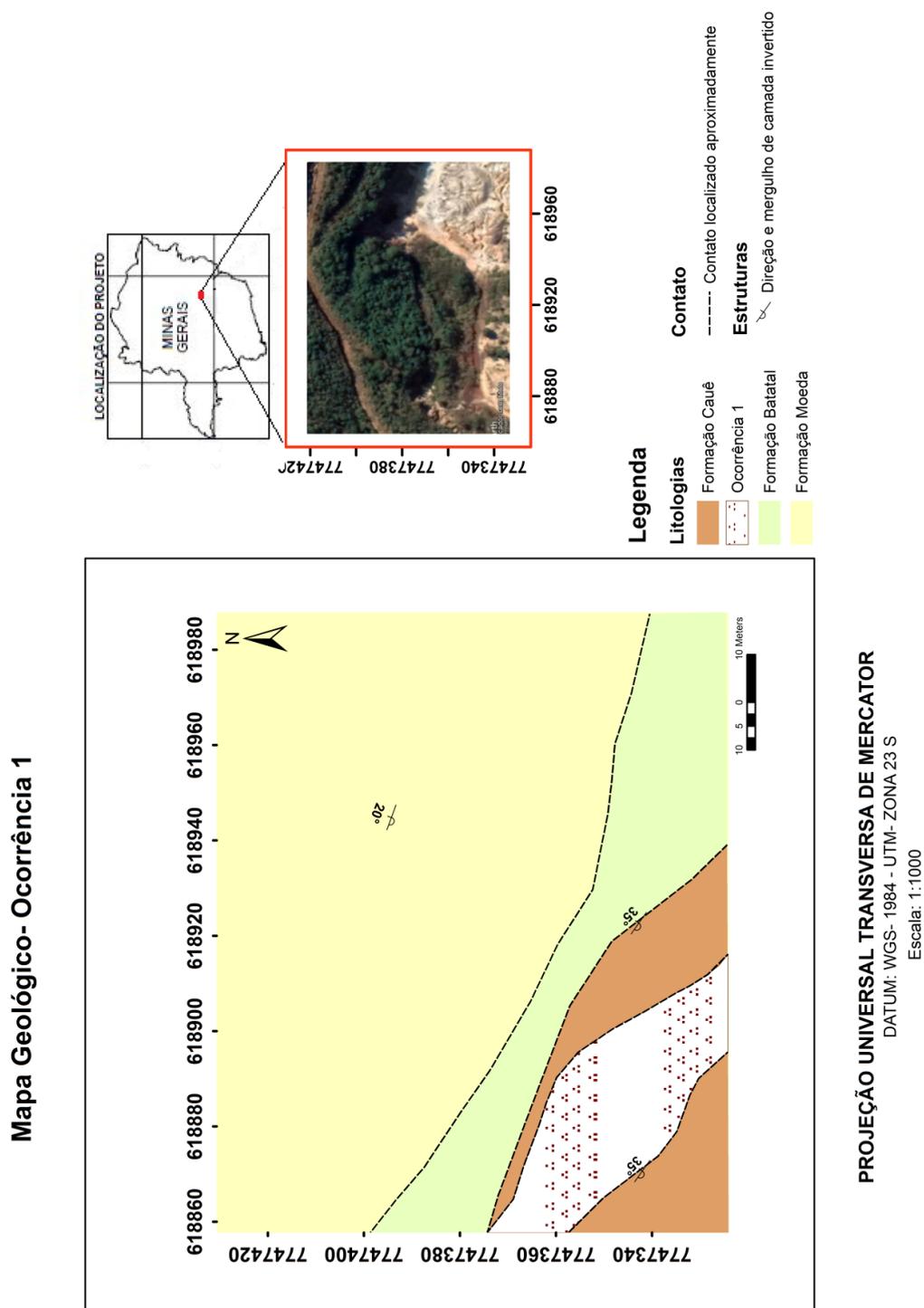


Figura 3.1– Localização e mapa geológico para a Ocorrência 1.



**Figura 3.2**– Detalhe da estrutura e granulometria da rocha da ocorrência 1, com resquícios ainda preservados de foliação aparente .



**Figura 3.3**– Rocha encaixante pertencente à Formação Cauê identificada como Itabirito alterado.



**Figura 3.4**– Rocha encaixante pertencente à Formação Batatal identificada como filito sericítico.

A segunda ocorrência, tratada adiante como 2, foi identificada a leste da ocorrência 1 e está posicionada no flanco norte do Sinclinal de Dom Bosco. Afloram no local rochas pertencentes à Formação Moeda e ao Grupo Nova Lima (Figura 3.5). A Formação Moeda é constituída de metarenitos de coloração branca, finos a médios e exibe foliação tipo xistosidade paralela ao acamamento. O Grupo Nova Lima é constituído por xistos avermelhados, decompostos, provavelmente decorrentes de alteração de clorita xistos. O conjunto se orienta na direção leste e está subvertical. A ocorrência se dá na forma de um corpo estratiforme (Figura 3.6), inteiramente alojado na Formação. Destaca-se de forma subconcordante à Formação Moeda, com espessura que varia de 15 cm a 30 cm. Em termos composicionais, trata-se de uma massa argilosa, que não exibe minerais a olho nu, e mostra uma discreta foliação.

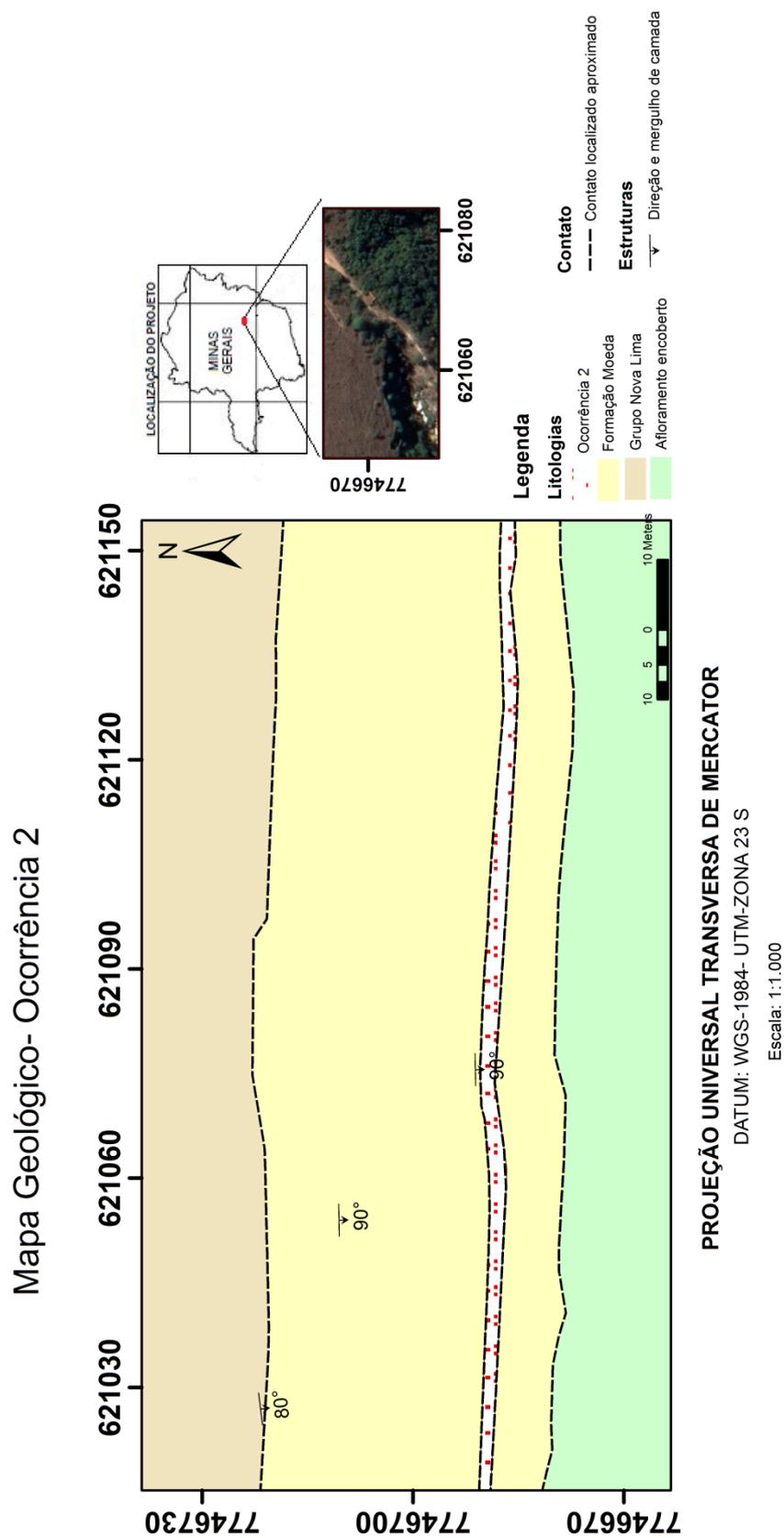


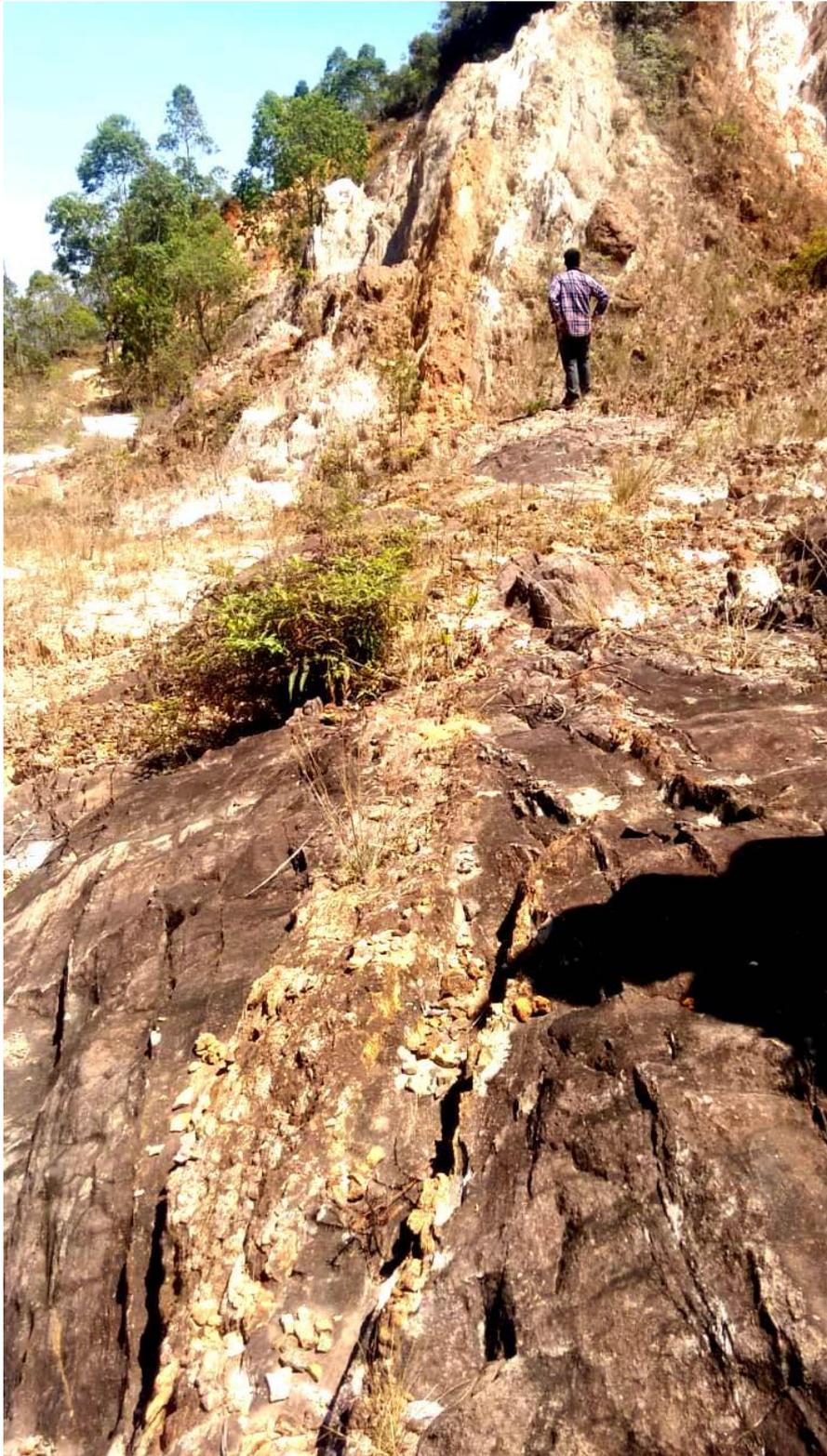
Figura 3.5– Localização e Mapa Geológico para a Ocorrência 2.



**Figura 3.6**– Detalhe para o corpo de rocha vulcânica intrusiva encaixada de forma subconcordante à estruturação da Formação Moeda.



**Figura 3.7**– Detalhe para o aspecto textural e estrutural da rocha encaixante do Grupo Nova Lima no local da ocorrência 2



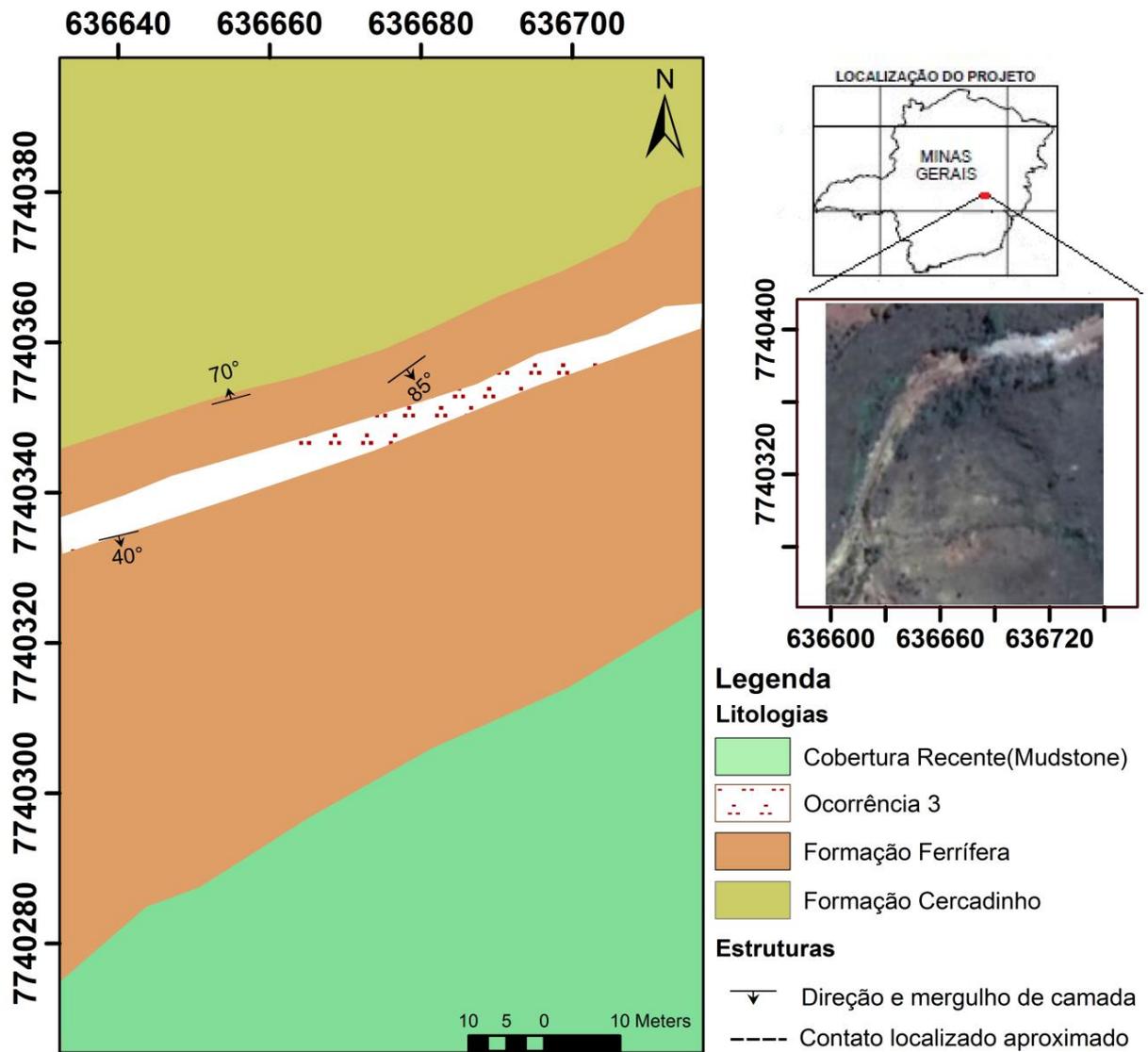
**Figura 3.8**– Detalhe para o corpo da ocorrência 2 truncando o Quartzito Moeda.

A terceira ocorrência dessas possíveis rochas vulcânicas aqui abordadas foi registrada a leste das ocorrências 1 e 2, e do ponto de vista geológico, está inserida no contexto da calha do Sinclinal de Dom Bosco. O levantamento geológico mostrou que as unidades presentes são: formação ferrífera e Formação Cercadinho, aqui constituída de quartzitos finos, brancos a prateados intercalados com lentes centimétricas de filito prateado. As camadas de todas as unidades presentes possuem direção geral NE e mergulham em alto ângulo para NW, com o acamamento às vezes verticalizado por conta de dobramentos em mesoescala (Figura 3.9). No local, o acamamento sedimentar (S0) e a xistosidade se encontram paralelos. A sequência do afloramento consiste na formação ferrífera sotoposta à Formação Cercadinho e em sua base, o contato se encontra encoberto devido à ocorrência de um depósito do tipo Mudstone (Dorr 1969).

Não há consenso na literatura sobre a correlação dos corpos de formação ferrífera, encontrados na Calha do Sinclinal Dom Bosco, à Formação Cauê. Por exemplo, a ocorrência de corpos de dolomito e de formação ferrífera internamente ao Grupo Piracicaba já foi descrita por outros autores como (Fraga 1992). Assim, neste estudo não foi possível correlacionar com segurança o corpo de formação ferrífera mapeado à Formação Cauê, pois, regionalmente, o mesmo se encontra inteiramente intercalado aos metassedimentos do Grupo Piracicaba.

O corpo identificado ocorre internamente à formação ferrífera, com espessura estimada de 1m a 1,5 m, no máximo. Aflora de forma concordante ao acamamento sedimentar do itabirito e se constitui numa rocha bandada, com xistosidade paralela à do itabirito onde se destacam “blastos” de caulinita imersos numa matriz argilosa (Figuras 3.10 3.11 3.12).

### Mapa Geológico- Ocorrência 3

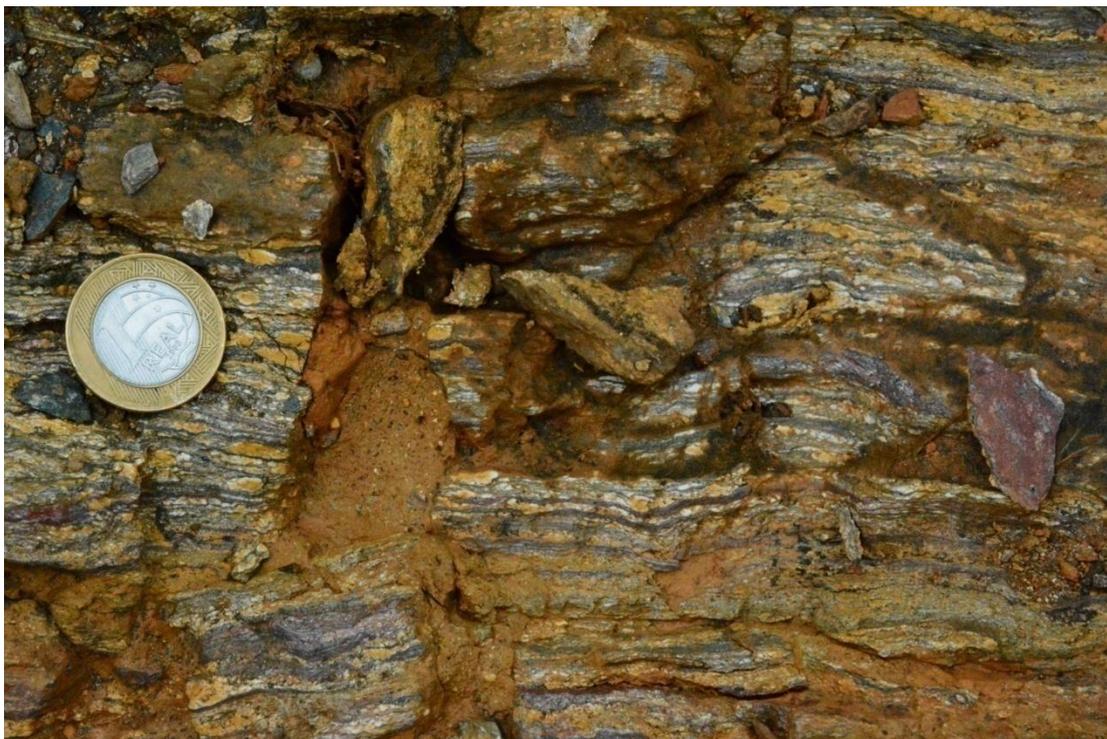


PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

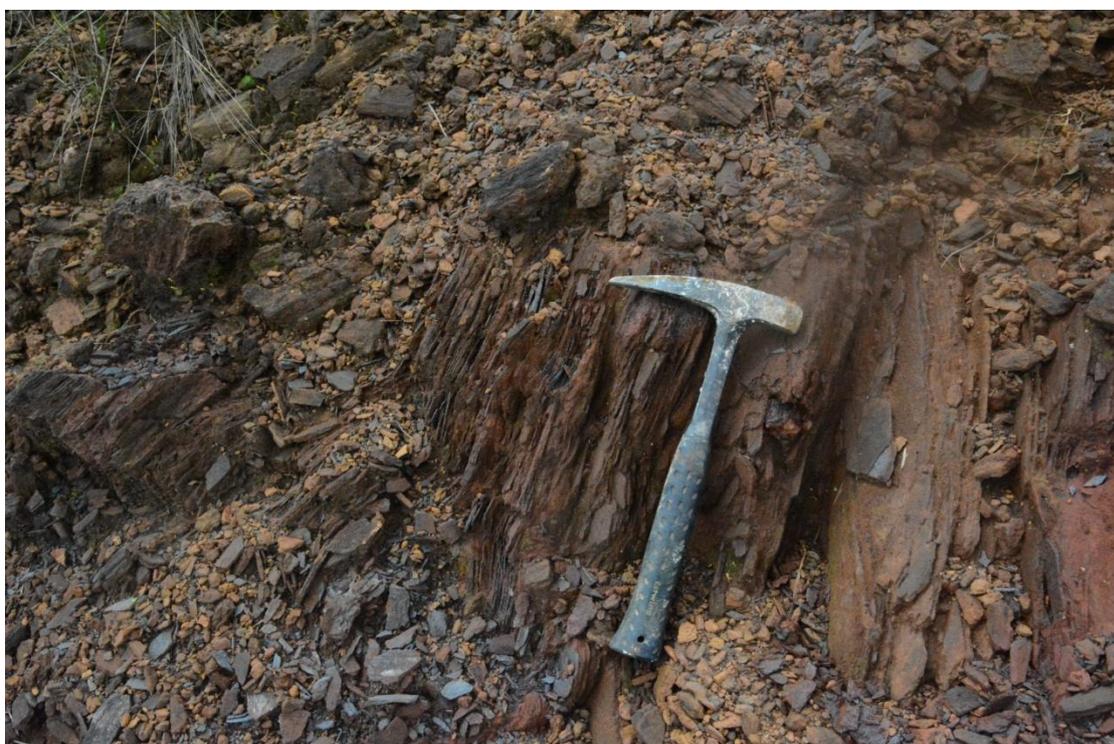
DATUM: WGS 84- UTM- ZONA 23 S

Escala: 1: 1.000

Figura 3.9– Localização e mapa geológico para a Ocorrência 3.



**Figura 3.10**– Corpo da ocorrência 3 em detalhe.



**Figura 3.11**– Rocha encaixante (formação ferrífera) da ocorrência 3.



**Figura 3.12**– Depósito do tipo Mudstone (lamito)

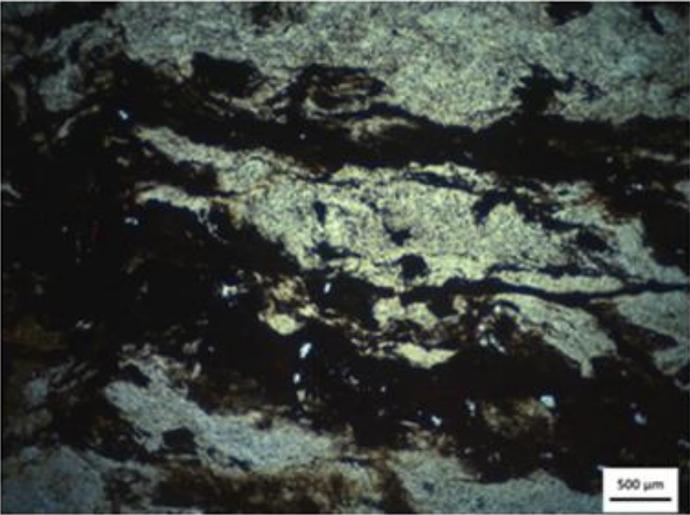
Alves, M.T. 2018, A presença de rochas de presumível origem vulcânica no Supergrupo Minas...

### 4.1 PETROGRAFIA

A primeira amostra coletada foi nominada como 3A. A rocha foi encontrada na interface da Formação Batatal, topo do Grupo Caraça, que se apresentava como um filito sericítico e da Formação Cauê, topo do Grupo Itabira, representado pela formação ferrífera bem característica.

#### 4.1.1. Ocorrência 1

Para a análise microscópica foi confeccionada uma lâmina delgada. Assim como observado em campo, também microscopicamente a amostra se apresentou vigorosamente alterada (Figura 4.1).

Descrição de Lâmina	Amostra : 3A
	Coordenadas: 0618868 / 7747340
Fotomicrografia	Foto da Lâmina
	

**Figura 4.1**– Fotomicrografia da amostra 3A à luz transmitida com nicóis paralelos e foto da lâmina onde é possível ver a foliação presente e o grau alto de alteração intempérica da rocha analisada.

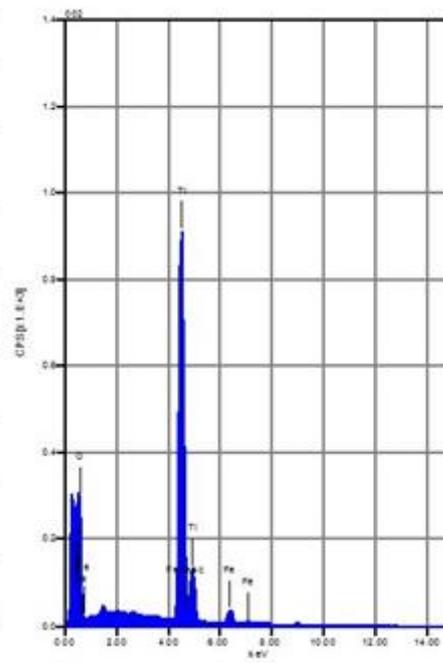
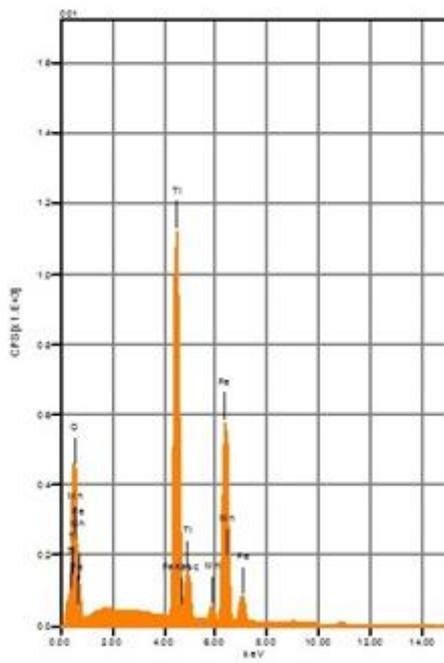
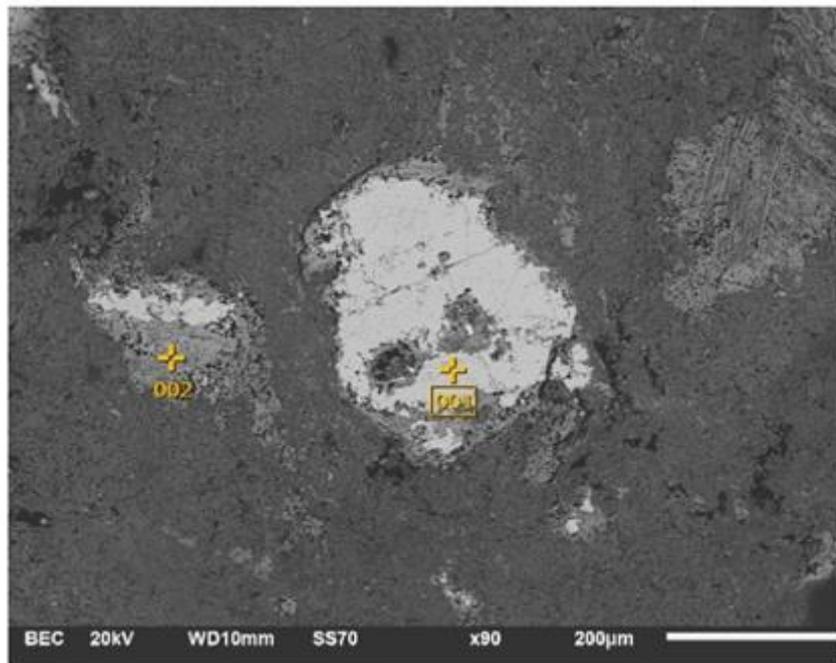
Texturalmente, tanto na visualização da lâmina quanto ao microscópio ótico, observou-se uma xistosidade, dada pela orientação planar a curvilinear, oriunda possivelmente de um mineral com clivagem basal 001, hoje inteiramente transformado. As espessuras das lâminas dos minerais com clivagem basal variam, mas é pervasiva em todo o material rochoso. É possível observar uma alternância de bandas de tonalidades diferentes, uma mais clara e outra mais acinzentada. Em termos composicionais, não foi possível a caracterização dos minerais nem sequer obter alguma propriedade ótica.

Ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), numa tentativa adicional de caracterização dos produtos de alteração, foi feito um sequenciamento de pontos na lâmina, a fim de se determinar as composições químicas. Na Figura 4.2, na fração mais clara, destacam-se dois materiais: o ponto 001 que apresentou porcentagens de 51,12%  $TiO_2$  e 45,21%  $FeO$  e o ponto 002, com porcentagem 94,77 %  $TiO_2$ . Pelos teores apresentados, a partir da estequiometria, essas composições se aproximam do minerais ilmenita e rutilo, respectivamente.

Na Figura 4.3, o ponto 001 mostrou composição de 94,64%  $FeO$ . Trata-se de um micro veio que trunca a xistosidade da rocha. No mesmo campo, foram analisados ainda dois outros pontos marcados na matriz cinzenta: ponto 2 com 96,47%  $TiO_2$  e o ponto 3, com composição 40,70%  $Al_2O_3$  e 59,30% de  $SiO_2$ .

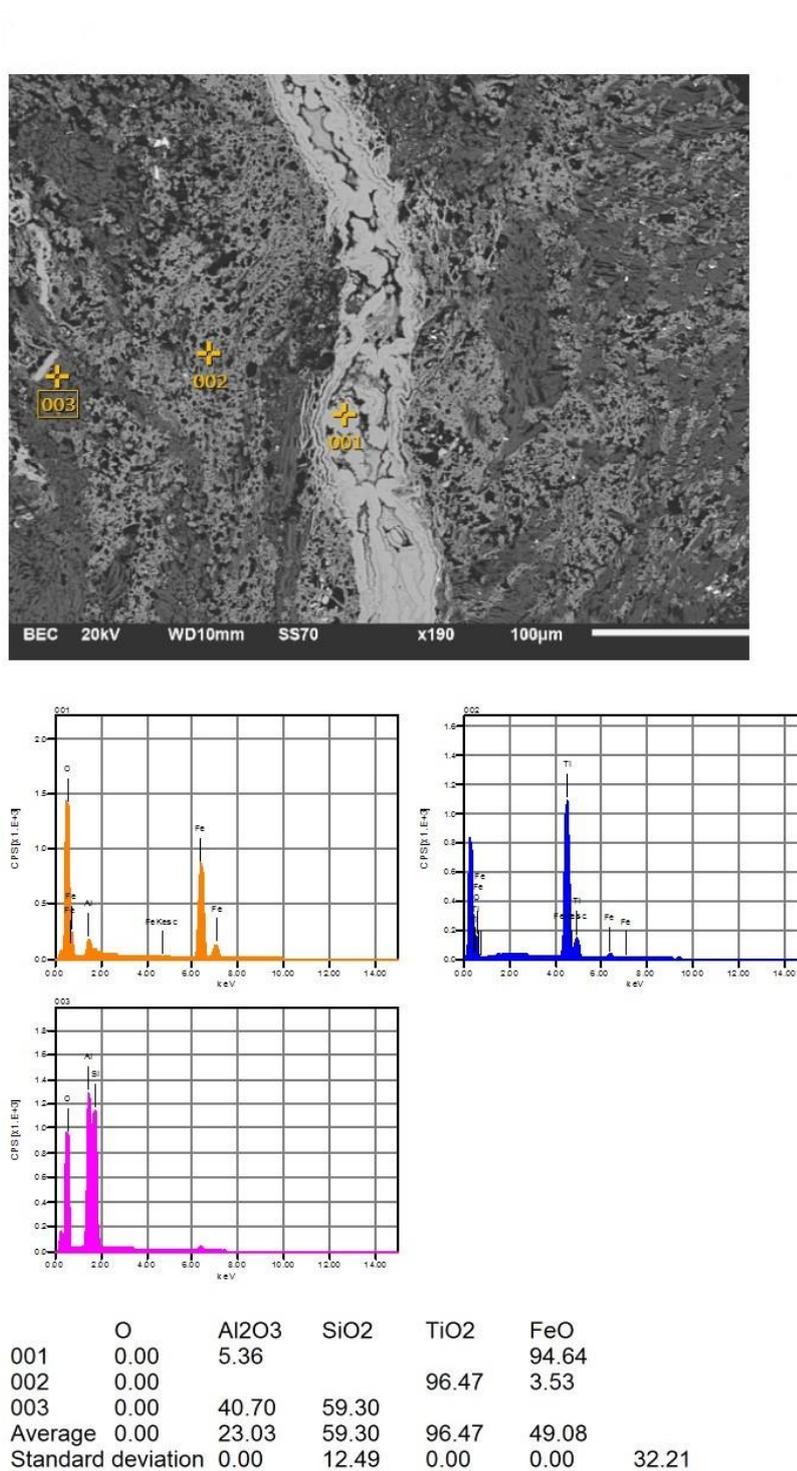
Adicionalmente, no campo da na Figura 4.4, destacam-se dois pontos (1 e 2) com teores elevados de alumínio e sílica e o ponto 3 com teor elevado de  $TiO_2$ .

Por fim, no campo da figura 4.5, foram identificados, também na matriz cinzenta, um ponto com teores elevados em sílica e alumínio (ponto 3), o ponto 1 com valor elevado de  $TiO_2$  e com teores 28,37 % de  $SiO_2$  e 71,63% de  $ZrO_2$ , o que é compatível com a composição química do zircão.

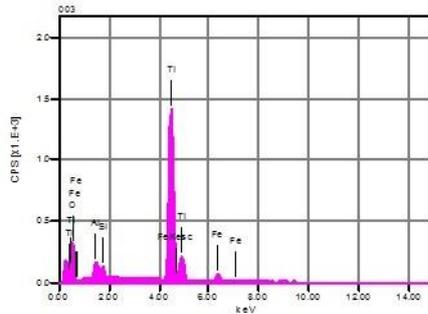
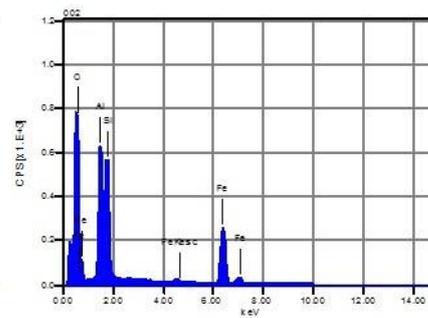
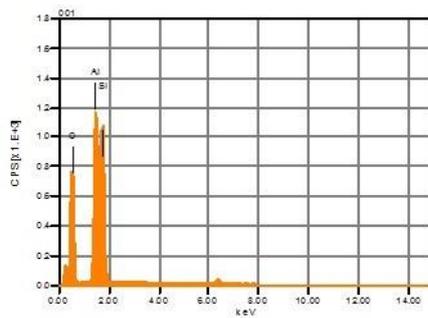
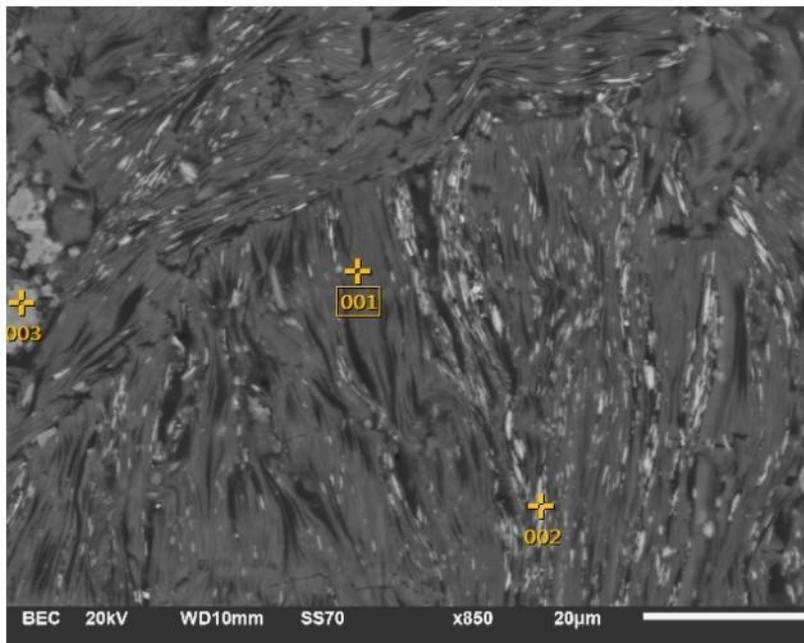


	O	TiO2	MnO	FeO	
001	0.00	52.12	2.68	45.21	
002	0.00	94.77		5.23	
Average	0.00	73.44	2.68	25.22	
Standard deviation	0.00	0.00	15.08	0.00	14.14

**Figura 4.2-** Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 1-Amostra 3A).

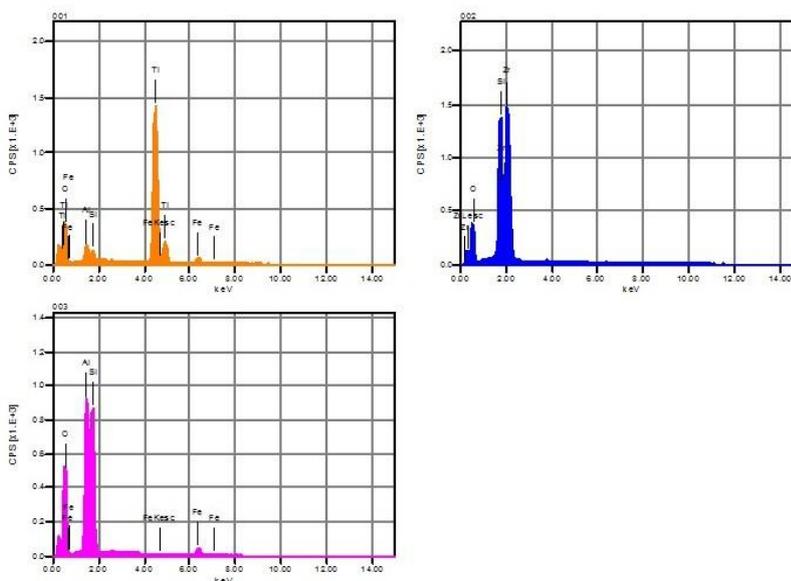
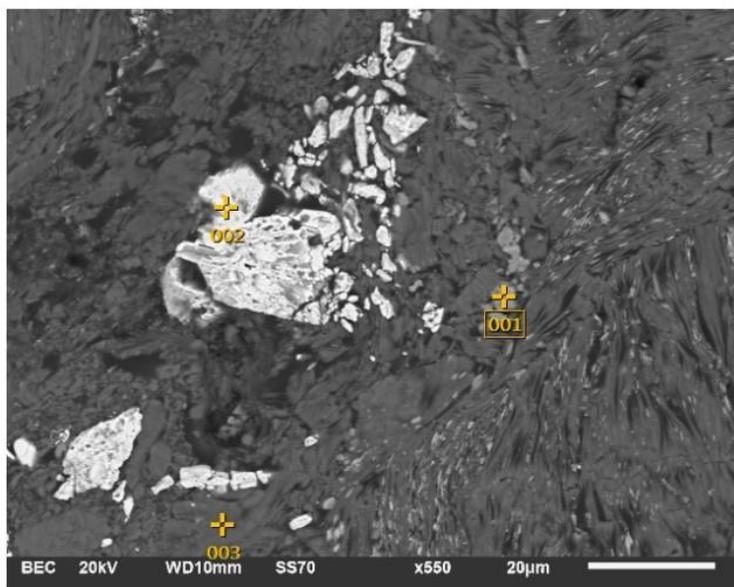


**Figura 4.3-** Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 2- Amostra 3A).



	O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	
001	0.00	39.85	60.15			
002	0.00	26.77	33.43		39.80	
003	0.00	3.41	2.61	88.97	5.01	
Average	0.00	23.35	32.06	88.97	22.41	
Standard deviation	0.00	0.00	11.51	17.01	0.00	12.30

**Figura 4.4.** Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 3- Amostra 3A).

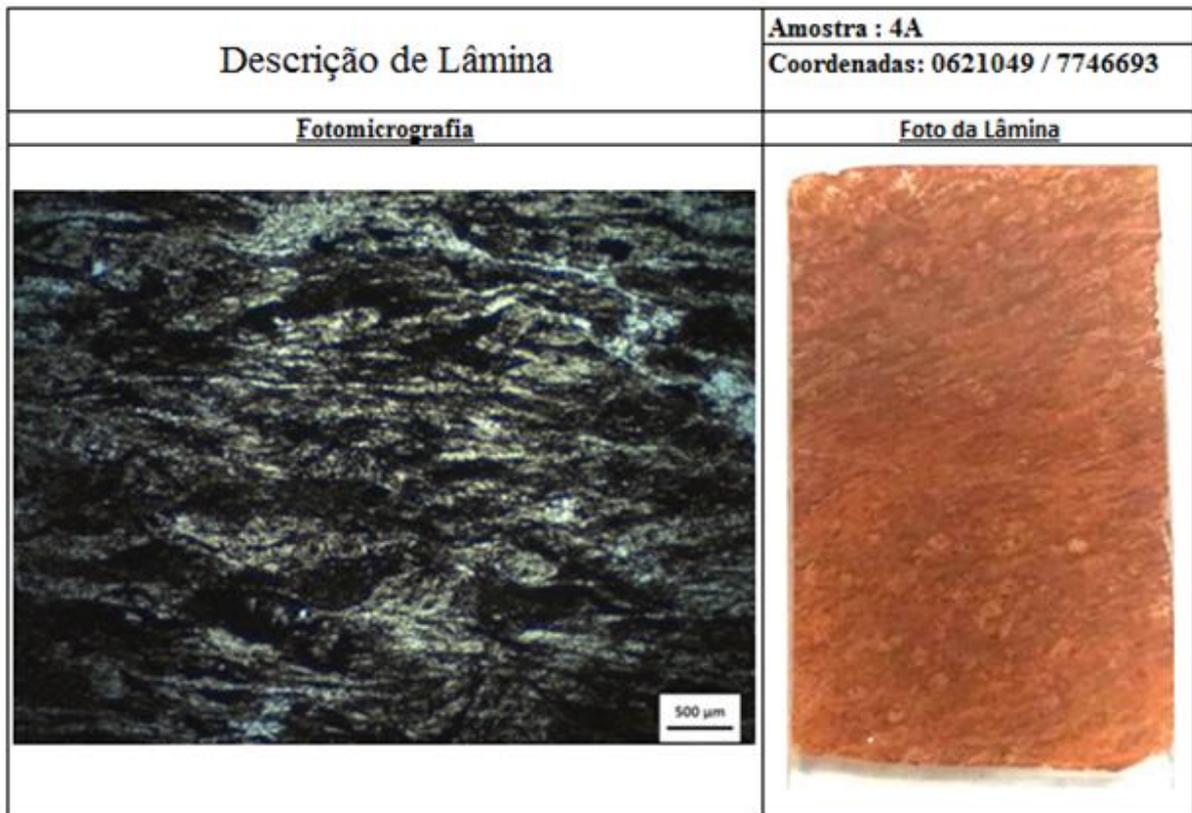


	O	Al2O3	SiO2	TiO2	FeO	ZrO2
001	0.00	3.49	2.55	88.74	5.22	
002	0.00		28.37			71.63
003	0.00	37.60	54.78		7.62	
Average	0.00	20.55	28.57	88.74	6.42	71.63
Standard deviation	0.00	0.00	12.06	15.13	0.00	0.85
						0.00

**Figura 4.5-** Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 4-Amostra 3A).

#### 4.1.2. Ocorrência 2

Ademais, com fins de estudo ao microscópio ótico, foi confeccionada uma lâmina delgada, cuja foto se encontra na Figura 4.6. De forma similar à ocorrência 1, esta também se apresentou vigorosamente alterada. Dessa forma, não foi possível a identificação dos minerais bem como de alguma de suas propriedades óticas (ver Figura 4.6).

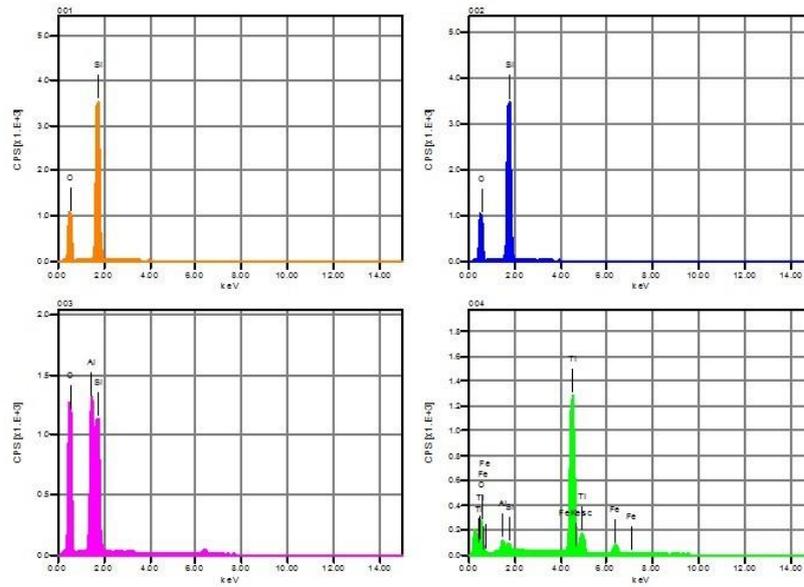
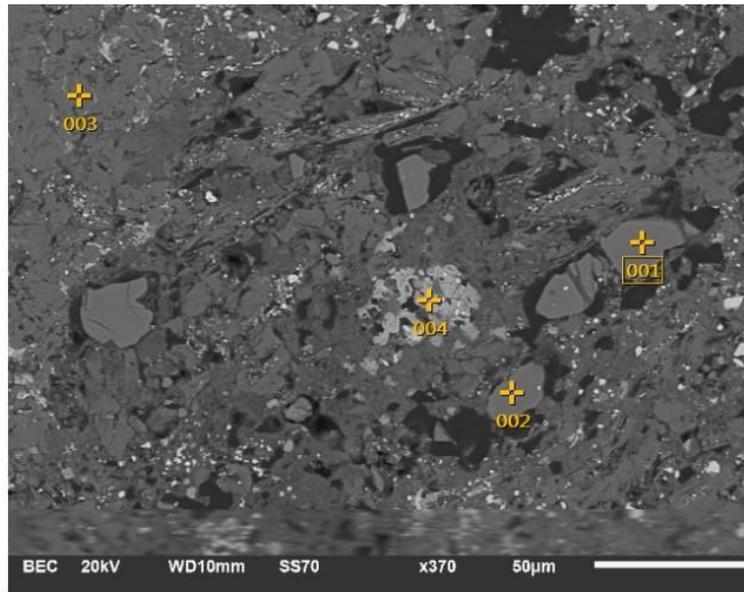


**Figura 4.6** – Fotomicrografia da amostra 4A à luz transmitida com nicóis paralelos e foto da lâmina que mostram as cores macroscópicas da rocha.

Diferentemente da amostra 3A da ocorrência 1, na amostra 4A da ocorrência 2, texturalmente há uma foliação porém muito mais sutil. Trata-se de uma foliação fina, que no máximo alcançaria o status de uma clivagem ardosiana (em termos granulométricos). Essa trama é observada apenas no microscópio ótico. Em alguns setores da lâmina, essa foliação fica às vezes até indistinta, ao microscópio eletrônico. Há uma massa de material de coloração cinza e aparecem grãos bem formados, subédricos, que serão identificados abaixo.

Na Figura 4.7, os pontos 1 e 2 mostram composição 100% em SiO<sub>2</sub>, o que indica o mineral quartzo. Já o ponto 3, encontrado na matriz cinza, forneceu composição de 41,40% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 58,60% SiO<sub>2</sub>. Para o ponto 4, os teores obtidos foram de 87,90 TiO<sub>2</sub>, o que se aproxima estequiometricamente da composição do mineral rutilo.

Adicionalmente, outro campo estudado (Figura 4.8), os pontos 3 e 4 mostraram teores acima de 90% em Ti O<sub>2</sub>, ao passo que 1 e 2 mostram composição química rica em TiO<sub>2</sub> e Fe) (teores médios em 53% e 41%, respectivamente.



	O	Al2O3	SiO2	TiO2	FeO	
001	0.00		100.00			
002	0.00		100.00			
003	0.00	41.40	58.60			
004	0.00	2.42	2.04	87.90	7.63	
Average	0.00	21.91	65.16	87.90	7.63	
Standard deviation	0.00	13.78	31.56	0.00	0.00	

**Figura 4.7-** Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 1-Amostra 4A).

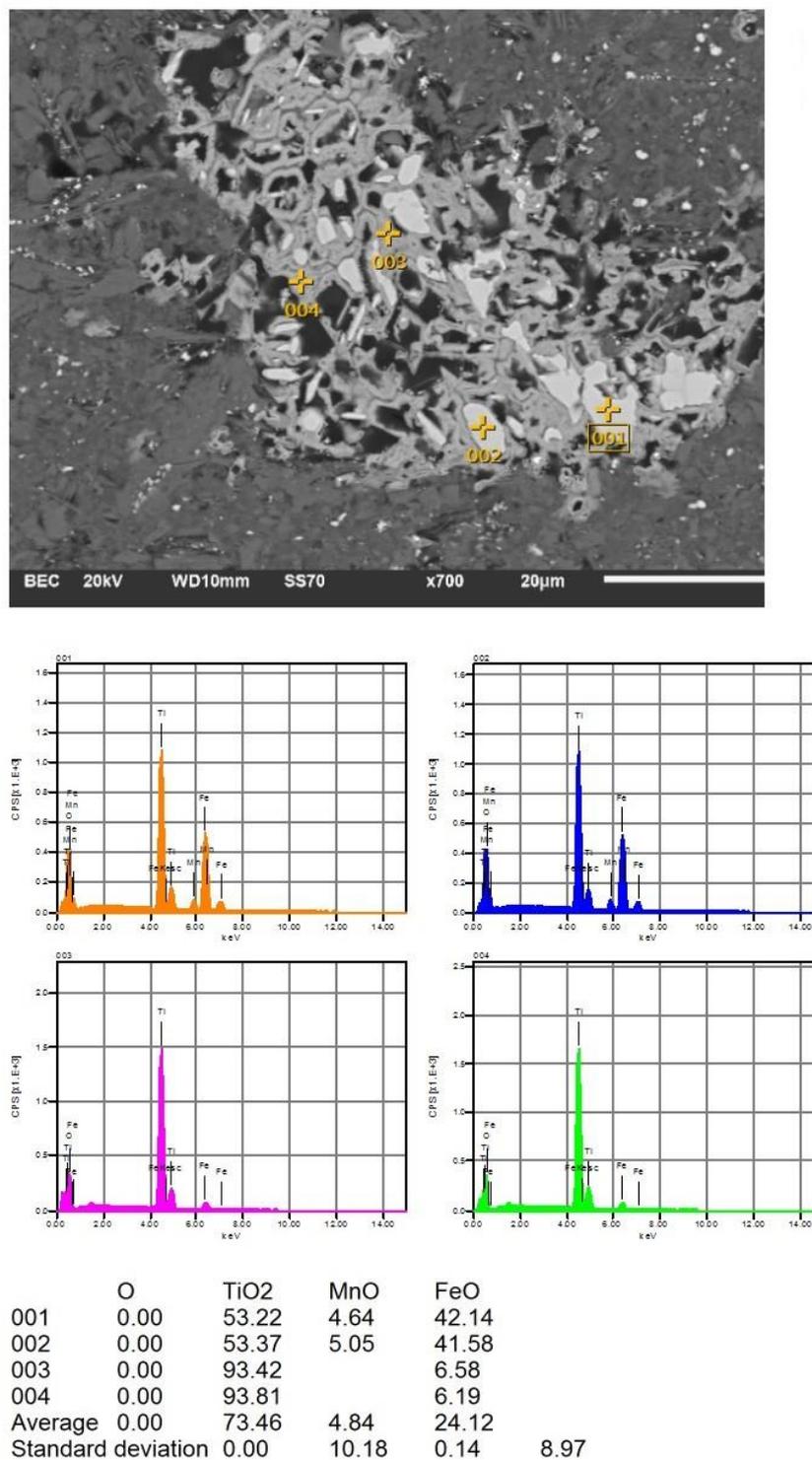
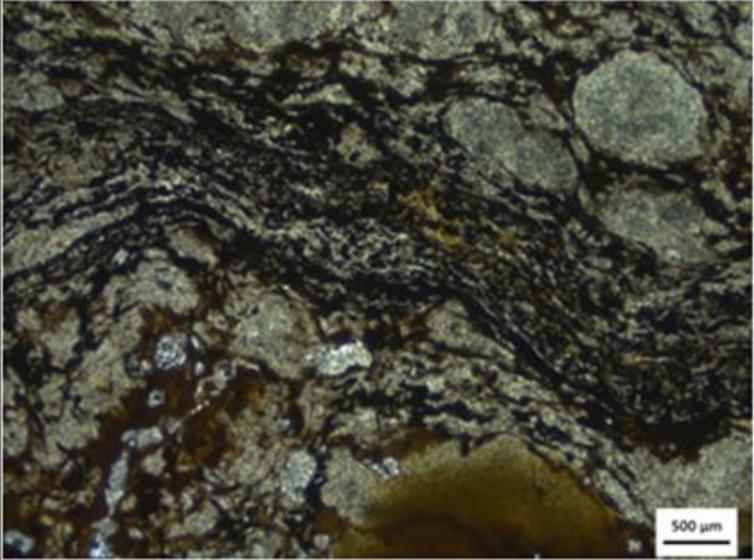


Figura 4.8- Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (Campo 2-Amostra 4A).

### 4.1.3. Ocorrência 3

A amostra 5A (Figura 4.9) apresenta textura marcada por bandamento definido por lâminas claras e lâminas avermelhadas. As bandas mais claras são constituídas por “blastos” de caulinita, às vezes “rompidos” e desconectados da banda mais clara. Aparentemente, trata-se de uma xistosidade mais grossa, comparada a trama das amostras anteriores e mesmo até com a xistosidade regional apresentada pelas encaixantes.

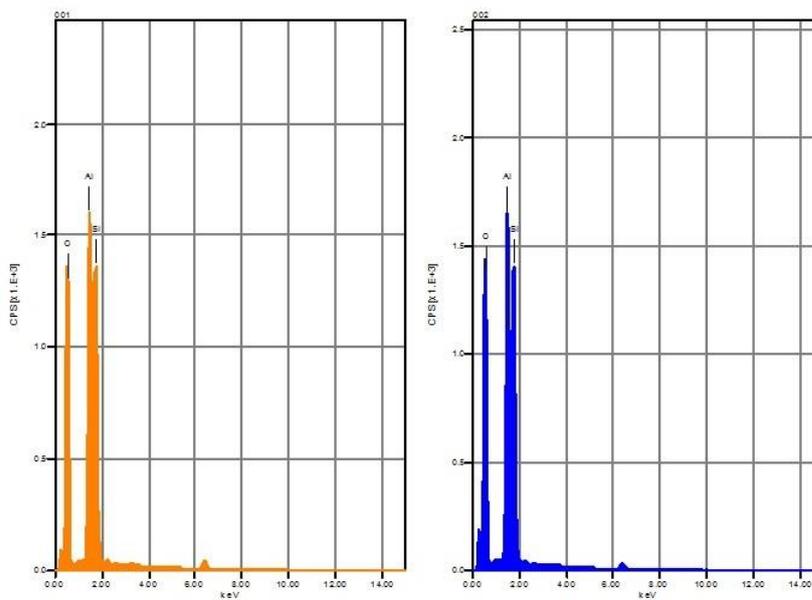
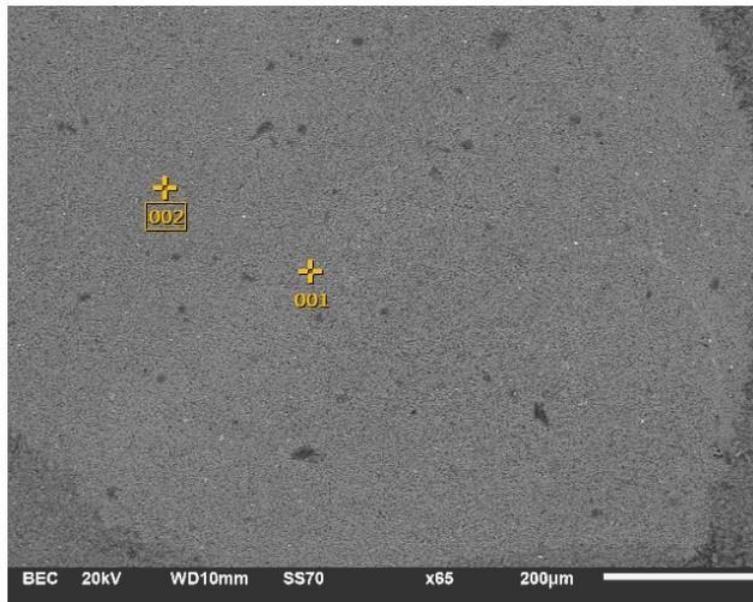
Assim como as amostras descritas anteriormente, esta também se encontra muito afetada pelo intemperismo, portanto, não é possível avaliar sua composição mineralógica original.

Descrição de Lâmina	Amostra : 5A
	Coordenadas: 0636640 / 7740335
<u>Fotomicrografia</u>	<u>Foto da Lâmina</u>
	

**Figura 4.9** – Fotomicrografia da amostra 5A à luz transmitida com nicóis paralelos e foto da lâmina que representa macroscopicamente a rocha.

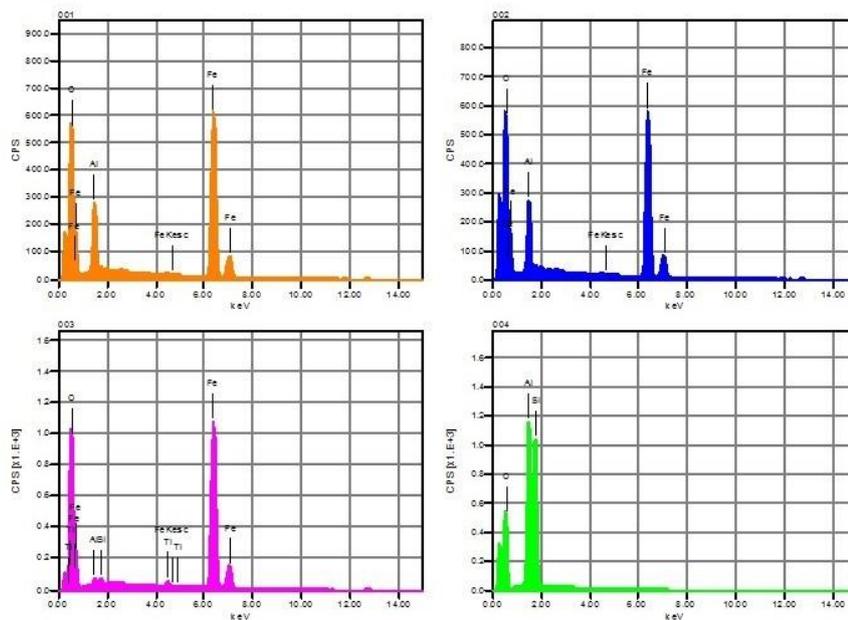
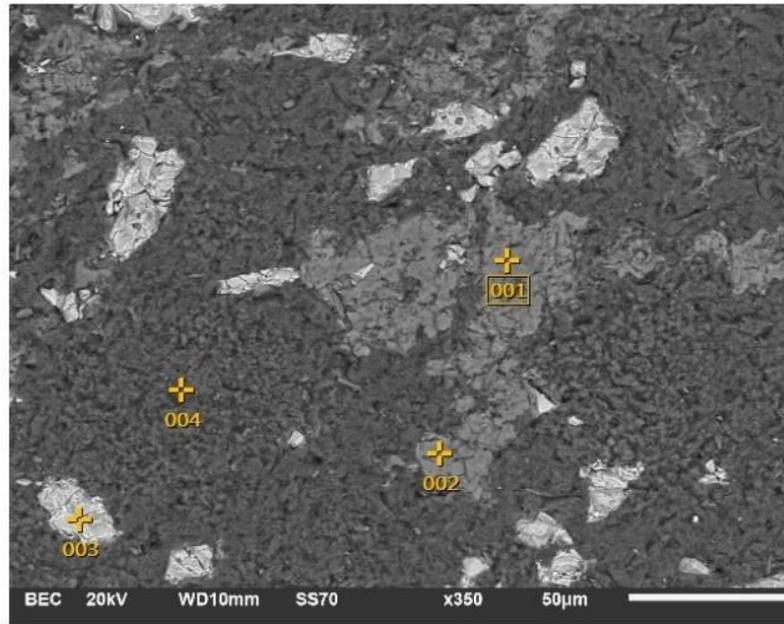
O estudo ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) mostrou os seguintes resultados: na Figura 4.10, foram analisados dois pontos (1 e 2) na banda avermelhada, que mostraram teores aproximados de 58% e 41% de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, respectivamente.

No campo mostrado na figura 4.11, os pontos 1, 2 e 3 mostram teores entre 85% e 95% de FeO, o que provavelmente advém de algum erro analítico em função dos teores elevados. No que diz respeito ao campo 4, nota-se uma composição intermediária (SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), com teores de 59,58% e 40,42% respectivamente.



	O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
001	0.00	41.56	58.44
002	0.00	41.63	58.37
Average	0.00	41.60	58.40
Standard deviation	0.00	0.02	0.02

**Figura 4.10-** Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (campo 1-Amostra 5A).



	O	Al2O3	SiO2	TiO2	FeO
001	0.00	13.03			86.97
002	0.00	13.47			86.53
003	0.00	1.31	1.33	1.72	95.64
004	0.00	40.42	59.58		
Average	0.00	17.06	30.45	1.72	89.72
Standard deviation	0.00	11.68	20.60	0.00	3.42

Figura 4.11 Análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (campo1- Amostra 5A).

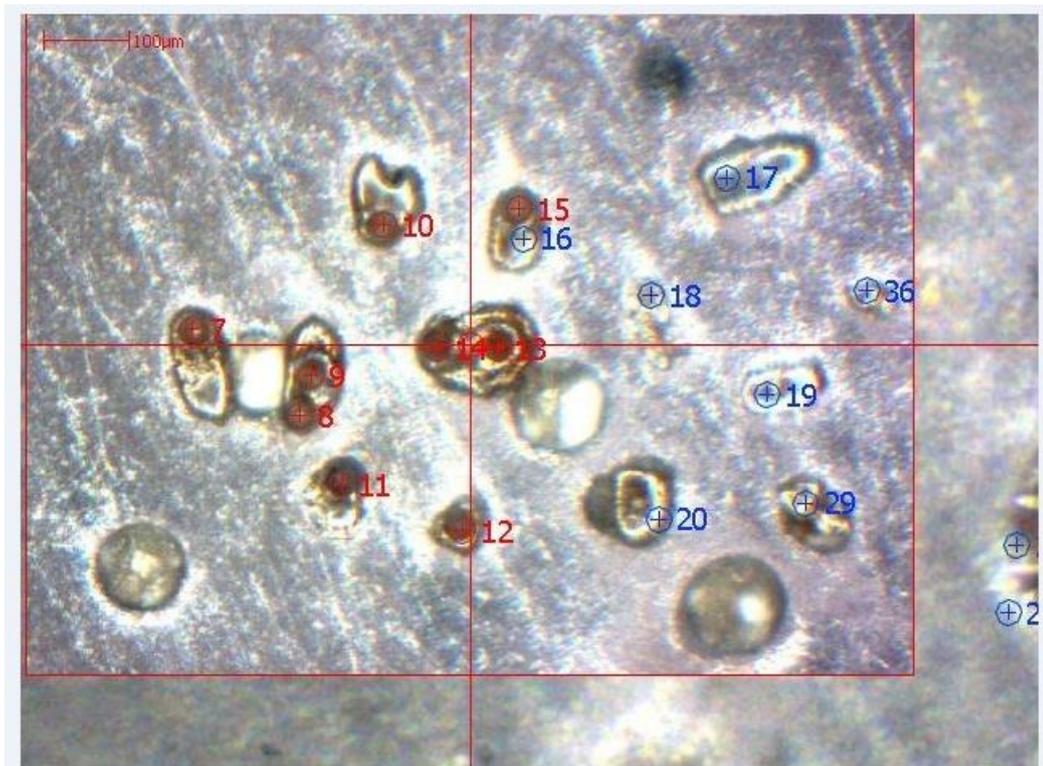
## **4.2 GEOCRONOLOGIA**

O estudo geocronológico foi realizado estritamente em amostras de duas ocorrências (1 e 2), uma vez que, exclusivamente, elas possuíam quantidades expressivas de zircão. Por se constituírem de corpos muito delgados, a assimilação de zircões oriundos das rochas encaixantes foi esperada.

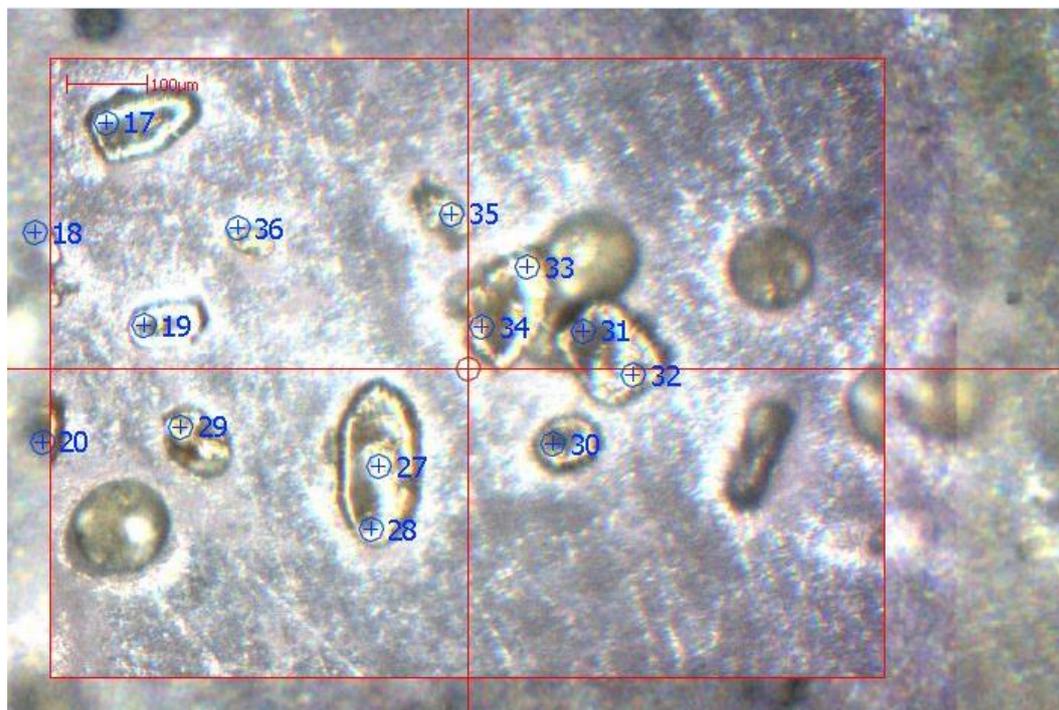
### **4.2.1 Ocorrência 1**

Foram analisados nessa amostra, 36 cristais de zircão (Figuras 4.12 4.13). Os cristais são heterogêneos e ocorrem morfologicamente euédricos a subédricos. Notam-se duas populações de zircões: a primeira com grãos curtos, que apresentam sub-arredondamento e em sua grande maioria, descontinuidades óticas não são visíveis. A segunda, os grãos se qualificam alongados, por vezes com terminações piramidais desenvolvidas, com discreto arredondamento. Em parte deles, visualiza-se a existência de zonamento. Em geral, o maior eixo encontrado nas duas populações foi de 100µm.

A ocorrência 1 não ostentava abundância em zircão, no entanto a análise ainda foi passível de ser realizada. Uma população de zircão encontrada foi datada Paleoproterozóica, com idade c.a 2199±120 M.a (Figura 4.14). Já os zircões herdados forneceram idades Arqueanas de c.a 2600 M.a a 2700 M.a (Figura 4.15).



**Figura 4.12** Cristais de zircões representativos para a amostra 3 A (imagem 1).



**Figura 4.13** Cristais de zircões representativos para a amostra 3 A (imagem 2).

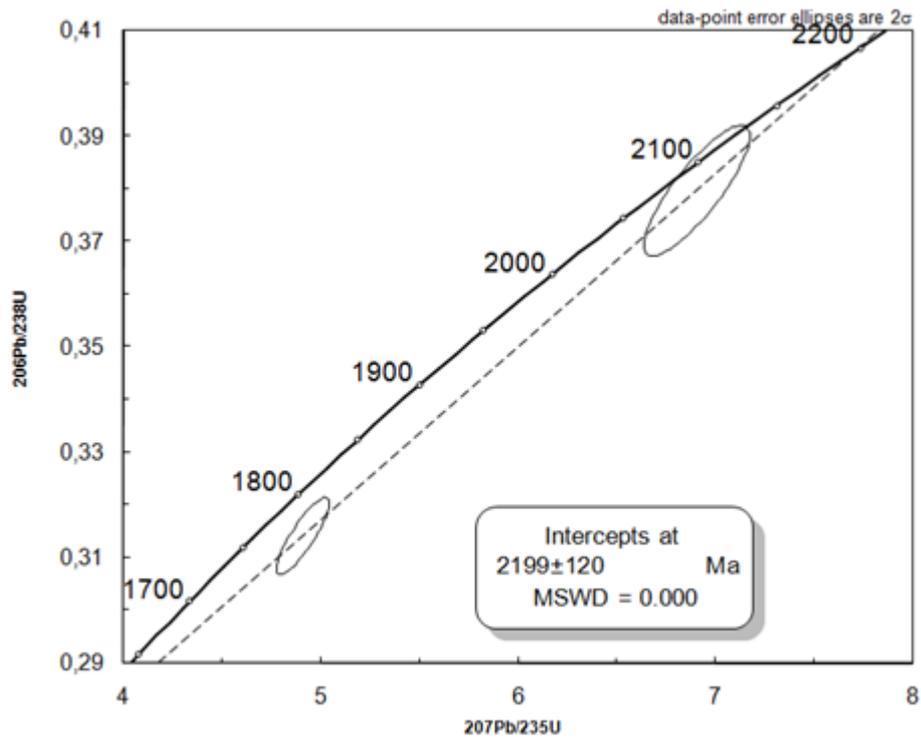
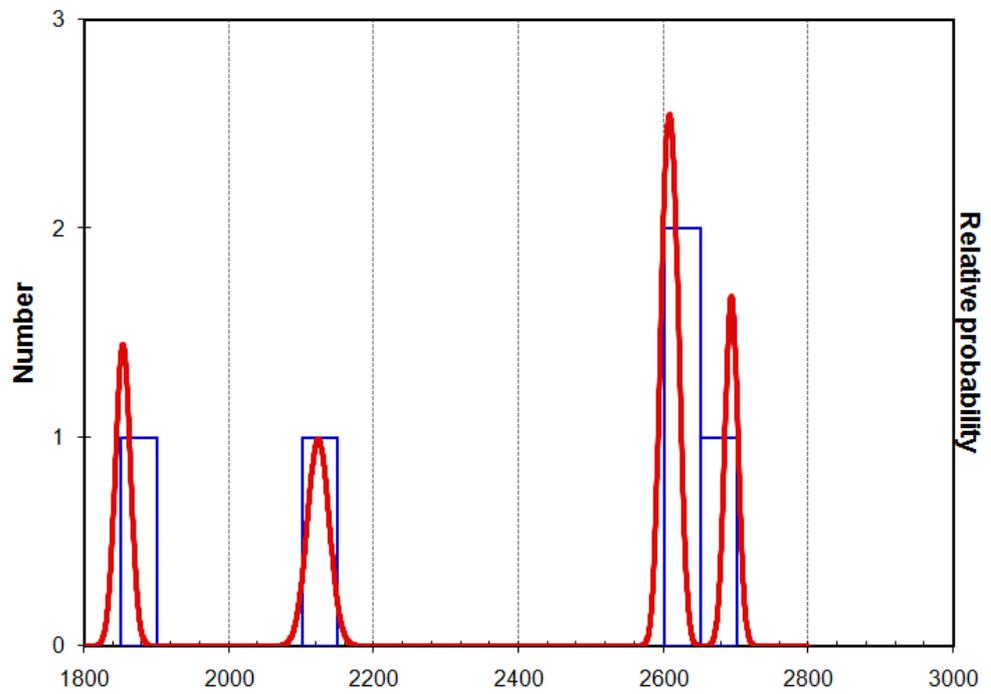


Figura 4.14- Diagrama de discórdia para a ocorrência 1 (idade de cristalização).

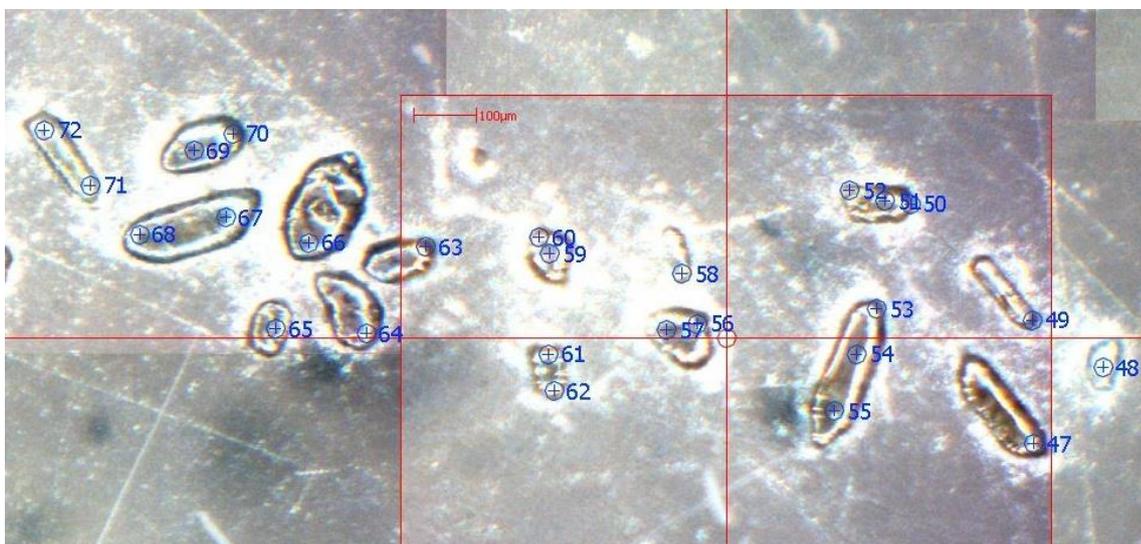


**Figura 4.15-** Histograma de frequência de idades Pb/Pb para a ocorrência 1.

#### 4.2.2 Ocorrência 2

Foram analisados, 44 cristais de zircão (Figuras 4.16 4.17). Os cristais tem ocorrência heterogênea, sendo morfológicamente euédricos a subédricos. Assim como a amostra da ocorrência 1 citada anteriormente, essa apresenta populações distintas de zircões. Notam-se grãos que apresentam certo arredondamento, porém não são majoritários. Outros grãos são expressamente alongados e com terminações piramidais bem desenvolvidas. Um leve zonamento também é evidente. Em geral, o maior eixo encontrado nas duas populações ultrapassa de 100  $\mu\text{m}$ .

A ocorrência 2 não possuía vasto acervo de cristais, fato que não impediu que a análise fosse passível de ser realizada. Uma população de zircão foi datada Paleoproterozóica com idade de c.a 2095 $\pm$  24 M.a e MSWD de 1.16 (Figura 4.18). Idades Arqueanas herdadas também foram verificadas em outra população com idades de c.a 2700 M.a a 2900 M.a (Figura 4.19).



**Figura 4.16-** Cristais de zircões representativos para a ocorrência 2 (imagem 1).

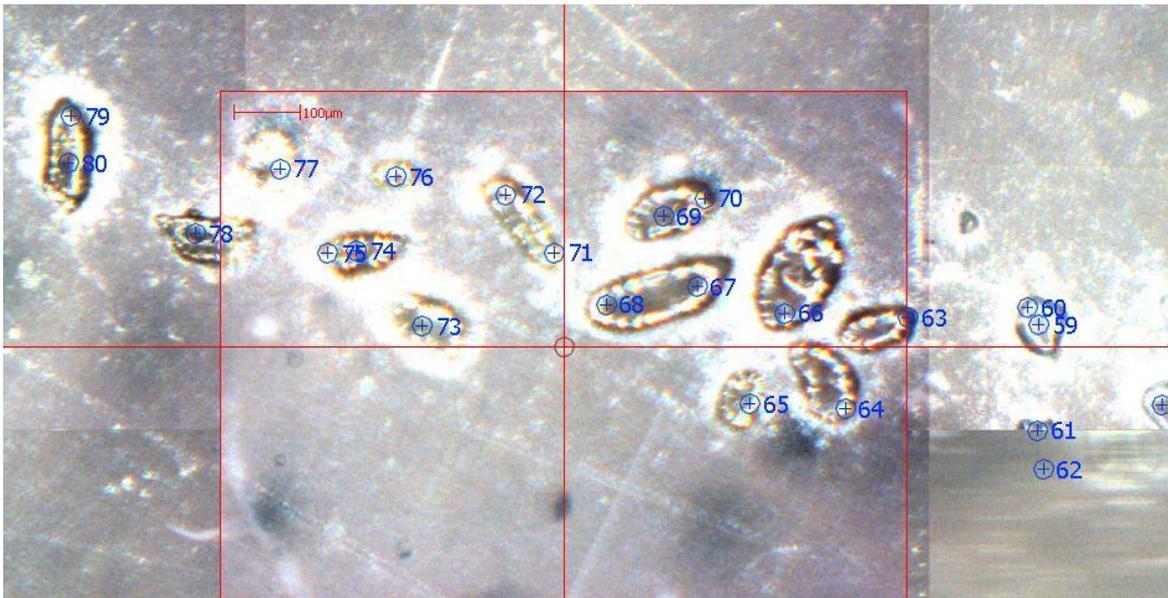


Figura 4.17- Cristais de zircões representativos para a ocorrência 2 (imagem 2).

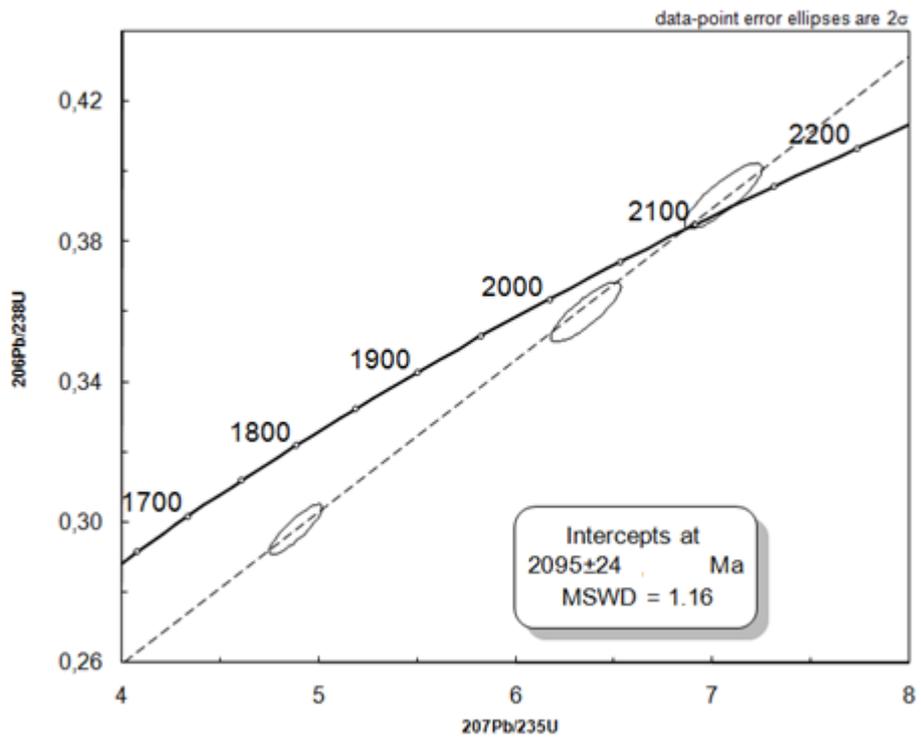


Figura 4.18- Diagrama discórdia para a ocorrência 2 ( idade de cristalização).

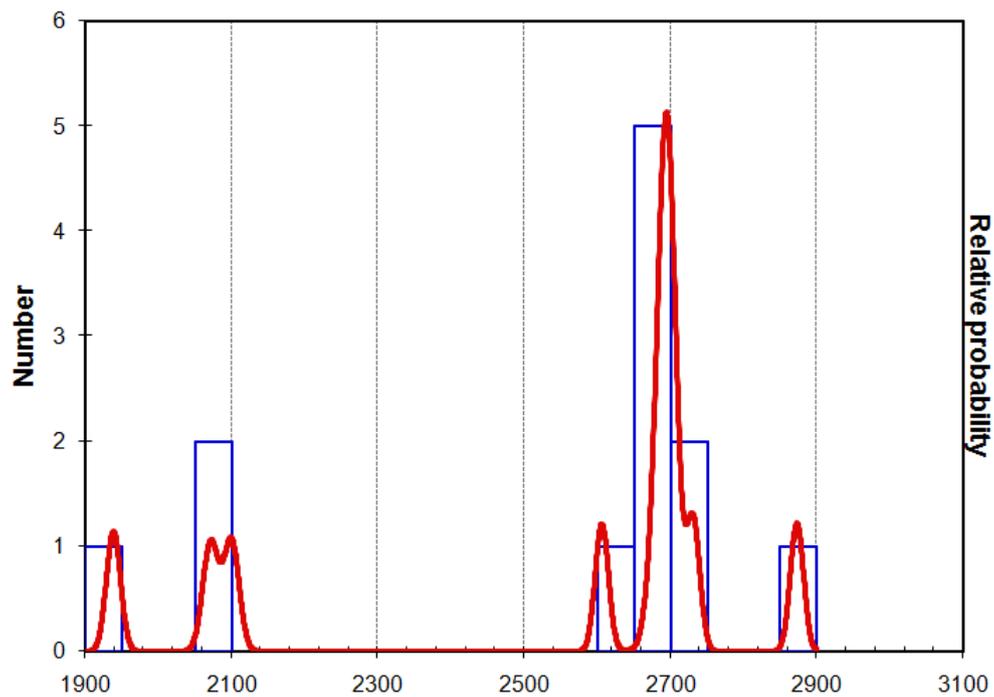


Figura 4.19- Histograma de frequência de idades Pb/Pb para a ocorrência 2.



## CAPÍTULO 5

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

---

#### 5.1 DA ORIGEM DOS MATERIAIS

Um dos maiores desafios, se não o maior, de se trabalhar com materiais muito decompostos é justamente a caracterização petrográfica dos mesmos, o que permitiria de forma assertiva, a definição precisa dos tipos litológicos em questão. Assim, se faz necessário recorrer a alguns elementos que, de forma indireta, auxiliaram na tomada de decisão.

No caso da rocha estudada da ocorrência 1, alguns fatores devem ser considerados. Por exemplo, as relações e observações de campo mostraram que o material de origem ígnea se diferencia significativamente de suas encaixantes. De um lado a formação ferrífera e de outro os filitos da Formação Batatal. Estes últimos são caracterizados, do ponto de vista petrográfico, por filitos sercíticos compostos essencialmente por quartzo e mica branca. Texturalmente, eles apresentam uma xistosidade que é caracterizada pela orientação planar ou curvilinear de mica branca. Esta xistosidade pode ser reconhecida inclusive em amostras desse filito que se encontram alteradas. Na rocha estudada e tida como ígnea intrusiva, a xistosidade apresentada é significativamente diferente, sendo mais fina e de observação mais sutil.

Composicionalmente cabe destacar que as análises de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) mostram, na matriz, vários pontos com elevados teores de  $TiO_2$ . Na literatura, há poucas análises químicas dos filitos da Formação Batatal. (Alkmim 2014) mostrou que amostras do filito Batatal se agrupavam em dois tipos: o primeiro com teores de Fe em torno de 7% e teores em  $TiO_2$  de 1,4%. Já no segundo tipo, os teores de Fe são em torno de 2,8% e teores de  $TiO_2$  são praticamente inexistentes. Mesmo sem dados quantitativos precisos, o que pode ser verificado foi que em todos os campos analisados aparecem, tanto na matriz quanto em minerais, teores elevados de  $TiO_2$ .

Por fim, vale destacar a questão do quartzo. A massa argilosa, composta predominantemente por  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$  não mostrou o mineral quartzo de forma livre, o que o diferencia da composição do filito Batatal.

Para o caso da rocha da ocorrência 2, a comprovação indireta de origem ígnea parece mais simples face aos seguintes aspectos: primeiro, as relações de contato em campo mostram uma passagem abrupta de um quartzito sercítico convencional para um corpo de rocha constituído de uma

massa argilosa alterada. Visualmente, o efeito deste contato é claro (Figura 3.6). No afloramento, a xistosidade observada (principalmente nos leitos mais ricos em filossilicatos) é evidente, ao passo que no corpo intrusivo, a olho nu, ela não pode ser observada. Texturalmente, vale destacar o observado nas lâminas observadas no MEV: cristais bem formados, com arestas preservadas, muito diferentes dos grãos arredondados a subarredondados envoltos pela xistosidade dada pela orientação de mica branca.

Em termos composicionais, o quartzito Moeda possui mineralogia simples, essencialmente quartzo e argilominerais. Quimicamente, Alkmim (2014), mostrou valores médios de 84,74% de SiO<sub>2</sub>, 21,09% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2,45% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,15% de FeO e 0,047% de TiO<sub>2</sub> (valores estes determinados para ocorrências no Sinclinal Gandarela.) Vale observar que teores de TiO<sub>2</sub> são irrelevantes. Já nas lâminas avaliadas para a amostra do corpo da ocorrência 2, TiO<sub>2</sub> foi sempre detectado, seja em grãos minerais seja na matriz, o que praticamente descarta qualquer relação deste material com sua encaixante.

No caso da rocha da ocorrência 3, o que cabe destacar é que, diferentemente das demais, o corpo se encontra encaixado no meio da Formação Ferrífera. Texturalmente é caracterizada por uma foliação grossa tipo xistosidade, marcada por alternância de bandas claras (composição predominantemente de caolim) e bandas escuras. Em termos composicionais, as bandas mais claras são ricas em SiO<sub>2</sub> (58%) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (41%). Fe aparece em alguns minerais e nas bandas mais avermelhadas com teores elevados, porém podem ter ocorrido erros analíticos nesse resultado.

Na literatura, a descrição mais completa e precisa de corpos vulcânicos entremeados à Formação Ferrífera coube a Suckau et al. (2005), que descreveu nas minas de Capitão do Mato e Tamanduá, vulcânicas piroclásticas e rochas extrusivas de composição máfica a félsica. Esses materiais têm composição totalmente distinta da ocorrência 3. Certo é que, com base no material descrito, na literatura, não foi possível identificar algo correlacionado ao material da ocorrência 3.

Uma possibilidade de correlação seria ao que Pires (1983) chamou de rochas máficas com caolim, cuja melhor expressão no Quadrilátero Ferrífero foi descrita por ele próximo à junção dos flancos leste do Sinclinal Moeda e norte do Sinclinal de Dom Bosco.

## 5.2 IMPLICAÇÕES GEOLÓGICAS

A análise geocronológica corresponde a um planejamento significativo do trabalho. Nesse sentido, foi utilizado o método U/Pb para a análise isotópica das amostras. Para tanto, realizou-se a catação do mineral acessório zircão. A princípio a idéia era datar as três diferentes rochas coletadas. Entretanto, a terceira amostra não apresentou zircão, nem nenhum outro mineral acessório como apatita e titanita, que pudesse trazer alguma contribuição à luz das investigações. Assim, foram coletados dados isotópicos apenas das amostras das ocorrências 1 e 2.

Primeiramente, os zircões expostos se subdividem em dois espaços temporais. Uma população se mostra morfologicamente euédrica a subédrica com esfericidade baixa, já que seu formato ainda remete ao seu hábito prismático, alongado. Entretanto, a maioria dos cristais apresentam discreto arredondamento das faces piramidais. Já o segundo grupo apresenta esfericidade mais elevada, bem como arredondamento expressivo.

Assim, os zircões aqui apresentados, representaram na datação, populações de idades distintas. À medida que os diagnósticos U/Pb como os zircões esféricos e arredondados não revelaram importância adequada a um gráfico de concórdia, utilizou-se os valores de idade para a produção de histogramas de frequência, onde a repetição das idades podem reproduzir as das áreas-fonte mais significativa para a formação das rochas .

Nesse sentido, a geocronologia permite distinguir entre populações idades Arqueanas e Paleoproterozóicas para as amostras estudadas. As primeiras remetem aos terrenos graníticos-gnáissicos do Quadrilátero Ferrífero. Já o segundo, pode marcar, com boa precisão, o *timing* da orogenia Paleoproterozóica. Levemente foliada, a rocha em questão poderia ter se alojado nos estágios finais do processo de edificação da cadeia Paleoproterozóica.

Dadas as ponderações geocronológicas, as idades apresentadas sugerem que as rochas examinadas mostram não só idades de cristalização, mas também idades provenientes de zircões herdados. A idade de 2.199 M.a pode apresentar erros que seriam em boa medida, decorrentes do baixo número de cristais de zircões obtidos e analisados (80 no total).

## 5.3 ANÁLISE INTEGRATIVA

As idades U/Pb obtidas de 2.199  $\pm$  160 M.a (ocorrência 1) e 2.095  $\pm$  25 (ocorrência 2) se equivalem, dentro da margem de erro e são interpretadas aqui como idades de cristalização dos corpos. É razoável supor, portanto, forte indicação de serem produtos do mesmo processo magmático atribuído ao Paleoproterozóico, uma vez que as idades são análogas, também dentro da margem de

erro, àquelas obtidas para rochas vulcanoclásticas do Grupo Sabará (2.036 +- 25 M.a – Dutra *et al.*, 2019).

Como ambos os corpos examinados se encontram deformados, duas questões emergem: qual seria a idade desta deformação e quais as causas da diferença textural entre eles e suas encaixantes?

Deve-se considerar que os locais dos corpos estudados se posicionam bem a oeste do Quadrilátero Ferrífero. Alguns trabalhos realizados na região mostraram que rochas do Supergrupo Minas, especialmente a Formação Moeda, mostram apenas uma foliação penetrativa do tipo xistosidade.

Por exemplo, bem a oeste, junto a serra das Gaivotas, na junção do Sinclinal Moeda com o Anticlinal Curral, Madeira (2018) mostrou a ocorrência de uma única foliação penetrativa associada à Formação Moeda que consiste numa xistosidade, dada pela orientação preferencial de sericita e quartzo. Junto à área das ocorrências 1 e 2, Oliveira *et al.* (2016), também reconheceu uma única foliação penetrativa, tipo xistosidade, nas rochas das Formações Moeda e Cercadinho, também dada orientação de finos leitos planares a curvilineares de sericita. Assim, parece não haver dúvidas de que a deformação responsável pela geração da trama foi aquela de idade Paleoproterozóica.

Por outro lado, o exame mais detalhado, tanto a olho nu quanto ao microscópio, mostrou que a xistosidade encontrada nas ocorrências estudadas é uma xistosidade mais fina que aquela presente nos metapelitos intercalados junto aos metarenitos da Formação Moeda, bem como aquela apresentada pelos filitos da Formação Batatal. Mesmo por conta da profunda alteração supergênica, esse fato parece correto. Assim, caberia uma explicação, que pode ser dada pela diferença reológica entre encaixantes (dotadas de muitos planos de anisotropia) e pelas rochas que as cortam, finas e sem anisotropia planar significativa.

Do ponto de vista da evolução geológica regional, as idades obtidas, em torno de 2.095 M.a são neste trabalho consideradas idades de cristalização dessa rocha, as quais seriam posteriormente deformadas. O aspecto mais relevante seria determinar a idade do processo deformacional, que seria a tectônica do Paleoproterozóico. Na literatura, a inversão da bacia Paleoproterozóica é estimada em 2.036 +- 25 M.a, que seria a idade máxima de deposição dos sedimentos orogênicos do Grupo Sabará (Dutra *et al.*, 2019).

Alves, M.T. 2018, A presença de rochas de presumível origem vulcânica no Supergrupo Minas...

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES

---

O presente estudo caracteriza três ocorrências de rochas que cortam e/ou truncam o Supergrupo Minas, na interface dos Grupos Caraça e Itabira. As mesmas foram identificadas na zona de articulação entre os flancos leste do Sinclinal Moeda e norte do Sinclinal Dom Bosco e ainda mais a leste, junto à calha deste sinclinal. A ocorrência 1 está situada no contato entre as Formações Batatal e Cauê, a ocorrência 2 se intercala junto aos metassedimentos da formação Moeda e a 3 ocorre junto à formação ferrífera.

Essas rochas se integram ao conjunto de rochas vulcânicas que truncam o supergrupo Minas, já descritas por diversos autores. Indubitavelmente, o fato das amostras se encontrarem em estados alterados de conservação, proporcionou obstáculos como a impossibilidade de se confirmar, do ponto de vista mineralógico e petrográfico, suas composições.

A assinatura isotópica U/Pb de 2.199  $\pm$  160 M.a (ocorrência 1) e 2.095  $\pm$  25 M.a (ocorrência 2) se equivalem, dentro da margem de erro e se constituem em idades de cristalização dos corpos. Entretanto, a ocorrência 3 não pode ser datada, pois não foram encontrados zircão, apatita e nem mesmo titanita nos concentrados. Esses corpos se correlacionam, provavelmente, com o mesmo processo magmático responsável pelos depósitos vulcânicos e vulcanoclásticos do Grupo Sabará.

Com base nas idades obtidas, mesmo considerando os erros analíticos e ainda os dados da literatura, pode-se estabelecer que a tectônica do Paleoproterozóico responsável pela inversão da bacia Minas se situou no intervalo de tempo entre 2.095 M.a e 2.059M.a. Esta última idade é dada pelos zircões mais jovens encontrados nas rochas do Grupo Itacolomi.

Alves, M.T. 2018, A presença de rochas de presumível origem vulcânica no Supergrupo Minas...

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Alkmim, A. R. Investigação geoquímica e estratigráfica da Formação Ferrífera Cauê a porção centro oriental do Quadrilátero Ferrífero, MG. 2014. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – UFOP, 178p.
- Alkmim F. F., Marshak S. 1998. The Transamazonian orogeny in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil: Paleoproterozoic collision and collapse in the Southern São Francisco Craton region. *Precambrian Res.*, 90: 29-58.
- Alkmim F.F. & Noce C.M. 2006. The Paleoproterozoic Record of the São Francisco Craton. *In: IGCP Field workshop, Bahia and Minas Gerais, 509, Field Guide & Abstracts*, p. 114.
- Babinski, M.; Chemale JR., F.; VanSchmus, W.R. 1993. A idade das formações ferríferas bandadas do Supergrupo Minas e sua correlação com aquelas da África do Sul e da Austrália. *In: SIMP. CRATON SÃO FRANCISCO, 2*. Salvador, 1993.
- Babinski, M., Chemale Jr., F., Van Schmus, W.R., 1995. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Precambrian Res.* 72, 235-245.
- Barbosa, A.L.M. 1968. Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero. SBG-MG, reimpressão (1985): UFMG, Inst Geoc., Depto Geol., 44 p
- Cabral, A.R., Zeh, A., Koglin, N., Gomes Jr., A.A.S., Viana, D.J., Lehmann, B., 2012. Dating the Itabira iron formation, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil, at 2.65 Ga: depositional U-Pb age of zircon from a metavolcanic layer. *Precambrian Res.* 204–205, 40–45.
- Costa, M.T. 1961. Sedimentação e orogênese na Série Minas. *Semana de Estudos Geológicos do Quadrilátero Ferrífero, SICEG*, p. 55-61.
- Derby O.A. 1906. The Serra do Espinhaço, Brazil. *Journal of geology*, 14:374-401.
- Dopico, C.I.M., Cristiano Lana, C. a, Hugo S. Moreira, H.S. b, Cassino, L.S., Fernando F. Alkmim, F.F. 2017. U–Pb ages and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. *Precambrian Research*. 291- 143–161
- Dorr J. V. N., 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 641 (A):110p.; Washington.
- Endo I. 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa SanFranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 243p.
- Endo I. & Machado R. 1998. The geologic architecture of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) after multiple transpressional and transtensional tectonic events. *In: International Conference on Precambrian and Craton Tectonics, Abstracts*, p. 126.
- Fraga, Leda Maria Barreto. Estrutura da região do Morro do Bule, Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero, MG. Rio de Janeiro, 1992. Dissertação de Mestrado. UFRJ. 130p..
- Farina F., Albert C., Martínez Dopico, C., Aguilar Gil C., Moreira H., Hippert J.P., Cutts K., Alkmim F.F., Lana C. 2016. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): current models and open questions. *Journal of South American Earth Sciences*, 68:4-21. doi: 10.1016/j.jsames.2015.10.015
- F. Farina, C. Albert, C. Martínez Dopico, C. Aguilar Gil, H. Moreira, J.P. Hippert, K. Cutts, 2015. The Archean and Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero: (Brasil): Current models and open questions. F.F. Alkmim, C. Lana. *Journal of South American Earth Sciences*.

- Guild, P.N. - 1957 - Geology and Mineral Resources of Congonhas District, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 290, 90 pp.
- Johnson, R.F. - 1962 - Geology and Ore Deposits of Cachoeira do Campo, Dom Bosco and Ouro Branco Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. V.S. Geol. Survey, Prof. Paper 341wB. 39 pp.
- Ladeira, E.A. 1980. Metallogeneses of gold at the Morro Velho Mine and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Univ. Western Ontario, unpubl. Ph.D. thesis, 272 p., London, Ontario/Canada
- Lana, C., Alkmim, F.F., Armonstrong, R., Scholz, R., Romano, R., Nalini Jr., H.R. 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, Southeast Brazil. *Precambrian Res.* 231, 157–173.
- Machado, N., Schrank, A., Noce, C.M., Gauthier, G., 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for Greenstone Belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth Planet. Sci. Lett.* 141, 259–276. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(96\)00054-4](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(96)00054-4)
- Madeira, M. R. 2018. Evolução sedimentar e história deformacional da Formação Moeda ao longo da junção entre o Sinclinal da Moeda e o Homoclinal da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, MG. Dissertação de Mestrado, UFOP, 162p.
- Noce, C.M. (1995) Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São Paulo, 128p. (Tese-Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Oliveira, F.B, Dantas, J.C.M., Oliveira, V.Q. 2016. Geologia da Zona de Articulação entre o Flanco Leste do Sinclinal Moeda e o Flanco Norte do Sinclinal de Dom Bosco, QF, MG Relatório Disciplina Mapeamento Geológico (GEO 493), Departamento de Geologia, UFOP, 50 p. (inédito)
- Pires, F.R.M. 1983. Greenstones as a part of Minas Supergroup in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, v.13.p106-112.
- Renger F.E., Noce C.M., Romano A.W., Machado N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 2:1-11.
- Russo R.E., Mao X.L., Liu H., Gonzalez J., Mao S.S. 2002. Laser ablation in analytical chemistry – a review. *Talanta*, 57: 425-451.
- Schorscher H. D. 1979. Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento Arqueano do Quadrilátero Ferrífero. *Anais Acad. Bras. Ciências*, 51(4): 767-768.
- Simmons. G.C. - 1968 - Geology and Mineral Resources of the Barão de Cocais Area, Minas Gerais, V.S. Geol. Survey, Prof. Paper 341wH, 46 pp.
- Suckau, V.E., Suita, M.T.F., Zapparolli, A.C.; Spier, C.A., Ribeiro, D.T. 2005. Transitional Pyroclastic, Volcanic-Exhalative rocks to iron ores in the Cauê formation, Tamanduá and Capitão do Mato Mines: an overview of metallogenetic and tectonic aspects. Simpósio sobre o Craton do São Francisco, Anais. SBG.

# Anexos

PRIMARY REF. MAT.																					
1.5WPA6C001	0	58402	32747	360.8284	0.0465	32747.78	0.0666	0.0023	0.0024	0.0009	0.8943	0.0031	0.0495	0.0557	0.0666	2.1627	0.809534	3.40522	0.09784	2.2293	0.7465
1.5WPA6C002	0	6860	3704.8	375.1036	0.0443	3704.838	0.0536	0.0037	0.0378	0.0035	0.8075	0.0012	0.0381	0.0032	0.0536	1.22074	0.807867	2.29141	0.09798	1.9317	0.8428
1.5WPA6C021	1	48333	28653	294.2567	0.0532	188.36776	0.0566	0.0034	0.0376	0.0034	0.8078	0.001	0.0238	0.0024	0.0566	3.53973	0.8001534	4.52084	0.09761	2.821	0.82203
1.5WPA6C022	0.0286	53003	31795.3	321.54626	0.0687	214.8326	0.0585	0.0032	0.0379	0.0035	0.8073	0.001	0.0588	0.0027	0.0585	1.074	0.8097642	2.27833	0.09799	1.9371	0.87535
1.5WPA6C041	0	51675	31245.4	311.52103	0.0762	264.7974	0.0646	0.0036	0.0363	0.0035	0.8206	0.001	0.0423	0.0026	0.0646	1.17433	0.823682	2.25778	0.09853	1.92835	0.85409
1.5WPA6C042	0	506807	30692.2	308.15075	0.0539	30692.232	0.0655	0.0033	0.0378	0.0034	0.8754	0.001	0.0353	0.0026	0.0655	1.08663	0.816233	2.2179	0.09768	1.92465	0.87078
1.5WPA6C043	0	486524	26064.5	301.7827	0.0453	26064.532	0.0498	0.0032	0.0372	0.0034	0.8788	0.001	0.0495	0.0024	0.0498	1.8859	0.8680149	2.24403	0.09772	1.9024	0.84827
1.5WPA6C044	0	472879	28239.2	286.7366	0.0567	28239.249	0.0576	0.0035	0.0373	0.0034	0.8068	0.001	0.0309	0.0033	0.0576	1.1542	0.8070735	2.2387	0.09795	1.91935	0.8663
SECONDARY REF. MAT.																					
1.5WPA6C003	1	1346224	7704.7	880.18235	0.44509	424.6567	0.0571	0.003	0.0306	0.0035	0.7238	0.00095	0.0409	0.0023	0.0571	3.6126	0.723032	4.67868	0.09086	2.96205	0.63404
1.5WPA6C004	0.073	131963	77540.2	882.97468	0.44711	724.67466	0.0573	0.0032	0.0301	0.0039	0.781	0.00095	0.0385	0.0042	0.0587798	1.07341	0.7359762	2.25485	0.09081	1.98236	0.87942
1.5WPA6C023	0.00839	166512	66666.9	755.30488	0.45634	388.86304	0.0576	0.0035	0.0309	0.0034	0.7246	0.0086	0.0683	0.005	0.0576448	3.62579	0.722398	4.96338	0.09089	3.38852	0.8623
1.5WPA6C024	0	1012388	58933.4	660.7871	0.47231	281.37722	0.0592	0.0038	0.031	0.0055	0.7438	0.0089	0.0806	0.0054	0.0592	3.64865	0.7438037	4.9887	0.0911	3.4036	0.88212
1.5WPA6C043	0	493769	62075.1	745.92496	0.44542	62075.409	0.0566	0.0039	0.0307	0.0063	0.7402	0.0098	0.0245	0.0087	0.0566	3.85431	0.7402039	5.26024	0.08937	3.58045	0.8808
1.5WPA6C044	0	1037272	61209.4	679.6142	0.46788	61209.421	0.0590	0.0032	0.0307	0.0063	0.73772	0.00225	0.0223	0.0087	0.0590	4.48687	0.7377778	6.01975	0.09067	4.03751	0.87738
TERTIARY REF. MAT.																					
1.5WPA6C005	0	54198	32247.2	640.88806	0.07837	123.57445	0.06049	0.0033	0.0544	0.0053	0.44638	0.0064	0.06049	0.0097	0.06049	1.89238	0.4463309	2.3493	0.0552	1.98127	0.85717
1.5WPA6C006	0	393239	19344.7	392.08242	0.0815	19344.658	0.05384	0.0033	0.0544	0.0055	0.40415	0.0064	0.0631	0.0101	0.05384	1.22585	0.4041478	2.36367	0.05444	2.02139	0.855
1.5WPA6C005	0	84309	44887	887.94728	0.08206	44886.982	0.0662	0.0034	0.0544	0.0064	0.0662	0.0064	0.0662	0.0064	0.0662	1.47451	0.4482388	2.3444	0.05882	2.0075	0.85847
1.5WPA6C026	0	336482	2176.1	438.19091	0.07366	2176.104	0.0534	0.0032	0.05375	0.0062	0.39584	0.0062	0.0609	0.0116	0.0534	1.17955	0.3958376	2.29825	0.05375	1.97289	0.88824
1.5WPA6C045	0	352397	16690.5	388.52474	0.07873	16690.4723	0.05296	0.003	0.05396	0.0062	0.39404	0.006	0.0623	0.0102	0.05296	1.18233	0.3940383	2.23586	0.05396	1.92874	0.88213
1.5WPA6C046	1	28209	22496.3	448.38447	0.07823	448.38447	0.0564	0.0034	0.0567	0.0063	0.4488	0.0063	0.0627	0.0102	0.0564	1.8852	0.4484231	5.59418	0.0537	4.27035	0.78245

1s	208Pb/232Th	1s	207Pb/208Pb	2s (%)	Ratios c				208Pb/232Th	2s (%)	207Pb/208Pb	2s	
					207Pb/235U	2s (%)	208Pb/238U	2s (%)					Rho
Data for Wetherill plot c													
0,005186	0,15017	0,01968	0,13186	1,721523	6,903154	3,173426	0,379694	2,665894	0,840068	0,15017	26,21029	2122,8828	30,15598
0,003058	0,10057	0,00816	0,1133084	1,148072	4,907471	2,22471	0,314119	1,905588	0,856556	0,10057	16,2275	1853,1414	20,75216
0,005015	0,03486	0,00097	0,1745251	1,055435	11,90925	2,255038	0,494909	1,9928	0,88371	0,03486	5,565118	2601,5182	17,59006
0,004941	0,14023	0,00858	0,18444	1,078942	12,84883	2,199164	0,505251	1,9163	0,871377	0,14023	12,23704	2693,2052	17,82565
0,004855	0,05542	0,00242	0,17592	1,085721	11,63348	2,26284	0,479616	1,98536	0,877375	0,05542	8,733309	2614,7773	18,07171
0,003557	0,1257	0,01646	0,12804	1,218369	6,355835	2,280787	0,360019	1,928099	0,845366	0,1257	26,18934	2071,2366	21,46676
0,00299	0,056	0,00254	0,11882	1,085676	4,882196	2,240711	0,298006	1,960126	0,874779	0,056	9,071429	1938,5552	19,42495
0,003899	0,12374	0,0146	0,13013	1,198801	7,053962	2,283678	0,393147	1,943724	0,851137	0,12374	23,59787	2099,7184	21,05409
0,005481	0,10799	0,00911	0,2057872	1,116514	15,97605	2,207748	0,563054	1,904613	0,862695	0,10799	16,87193	2872,6551	18,14714
0,005161	0,13771	0,01185	0,18868	1,128895	13,7531	2,219468	0,528656	1,910924	0,860983	0,13771	17,21008	2730,6898	18,5859
0,004866	0,13207	0,01028	0,175	1,097143	12,00561	2,209435	0,497559	1,917781	0,867996	0,13207	15,5675	2606,0461	18,27718
0,005281	0,07165	0,00751	0,18315	1,321321	12,99741	2,395178	0,514693	1,997746	0,83407	0,07165	20,96301	2681,603	21,85391
0,005316	0,04927	0,00215	0,1851968	1,199769	12,85328	2,390028	0,503361	2,067073	0,864874	0,04927	8,72742	2699,9684	19,80933
0,004969	0,05122	0,00196	0,1854578	1,118058	12,34171	2,303964	0,482646	2,014497	0,874361	0,05122	7,65326	2702,2937	18,4562
0,004761	0,18493	0,01632	0,18425	1,156038	11,98436	2,282079	0,471744	1,967602	0,862197	0,18493	17,64992	2691,5023	19,10244
0,006451	0,1477	0,0524	0,18465	2,24208	12,01369	3,425827	0,471874	2,590245	0,756093	0,1477	70,95464	2695,0851	37,03581
0,004557	0,07658	0,00635	0,18419	1,112981	11,82119	2,209027	0,465472	1,908159	0,863801	0,07658	16,58396	2690,9641	18,3919