



UFRJ

LORRANA RORIZ FARIA

LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS METAVULCÂNICAS E ESTRATIGRAFIA DO
ALVO EXPLORATÓRIO SÃO FRANCISCO (Au), *GREENSTONE BELT* PITANGUI,
MINAS GERAIS, BRASIL, MG

Trabalho Final de Curso
(Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2018



UFRJ

Lorrana Roriz Faria

**LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS METAVULCÂNICAS E ESTRATIGRAFIA
DO ALVO EXPLORATÓRIO SÃO FRANCISCO (Au), *GREENSTONE BELT*
PITANGUI, MINAS GERAIS, BRASIL, MG**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geóloga.

Orientadores:

Atlas Vasconcelos Corrêa Neto

Mariana Brando Soares

Rio de Janeiro

Janeiro 2018

Roriz Faria, Lorrana

**LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS METAVULCÂNICAS
E ESTRATIGRAFIA DO ALVO EXPLORATÓRIO (Au)
SÃO FRANCISCO, *GREENSTONE BELT* PITANGUI,
MINAS GERAIS, BRASIL, MG.** Lorrana Roriz Faria - Rio
de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2018.

78 p.: il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,
Departamento de Geologia, 2018.

Orientadores: Atlas Vasconcelos Corrêa Neto, Mariana
Brando Soares.

1. Geologia. 2. Setor da Graduação – Trabalho de
Conclusão de Curso. I. Atlas Vasconcelos Corrêa Neto,
Mariana Brando Soares. II. Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de
Geologia. III. Título.

Lorrana Roriz Faria

**LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS METAVULCÂNICAS E ESTRATIGRAFIA DO
ALVO EXPLORATÓRIO SÃO FRANCISCO (Au), *GREENSTONE BELT* PITANGUI,
MINAS GERAIS, BRASIL, MG**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Atlas Vasconcelos Corrêa Neto
Mariana Brando Soares

Aprovada em: 12.01.2018

Por:

Orientador: Atlas Vasconcelos Corrêa Neto (UFRJ)

Eliane Guedes (Museu Nacional UFRJ)

José Carlos Sícole Seoane (UFRJ)

UFRJ
Rio de Janeiro
2018

UFRJ
Rio de Janeiro
2018

À minha mãe e aos momentos de sua vida roubados por ter sempre sonhado os mesmos sonhos que eu.

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores e maiores referências científicas, prof. Dr Atlas Vasconcelos Corrêa Neto e Mariana Brando Soares, por todo conhecimento, parceria, incentivo e paciência. Sou grata, em especial, por toda atenção recebida fora de hora e por todo suporte ao longo desses anos, geológico e pessoal.

Agradeço a empresa IAMGOLD Ltda por financiar a viagem de campo para visitar o depósito São Sebastião e arredores, permitindo o acesso aos dados utilizados nesse trabalho. Em especial, agradeço aos geólogos Ricardo Mabub, Pedro Montenegro e Antônio Modesto pela atenção e incentivo recebido durante o campo e a todos os técnicos em geologia e auxiliares do galpão que foram muito pró-ativos, em especial Janderson Muniz e Vander Muniz.

Resumo

RORIZ FARIA, L. LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS METAVULCÂNICAS E ESTRATIGRAFIA DO ALVO EXPLORATÓRIO SÃO FRANCISCO (Au), *GREENSTONE BELT* PITANGUI, MINAS GERAIS, BRASIL, MG. 2017. 78 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O alvo exploratório São Francisco está localizado no *Greenstone Belt* Pitangui, na fronteira oeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), porção sul do Cráton São Francisco, Minas Gerais. A análise de testemunhos de sondagem realizados pela empresa IAMGOLD, permitiu uma melhor compreensão da estratigrafia e ambiência tectônica deste *greenstone*. Está dividido em três unidades litoestratigráficas: Inferior, Intermediária e Superior. A estratigrafia do alvo São Francisco, é dominada por intervalos metassedimentares clásticos e rochas metavulcânicas intermediárias correspondentes à transição da Unidade Inferior para a Unidade Intermediária. A porção basal deste intervalo representa uma mudança na configuração do ambiente deposicional da bacia, interpretada a partir do registro de rochas vulcânicas de afinidade andesítica. A predominância destas rochas reflete um contraste em relação a Unidade Inferior, que apresenta abundância em volumes de rochas vulcânicas meta-ultramáficas e metamáficas. Os diversos derrames de lava andesítica são delimitados no topo por rochas metavulcanoclásticas que macroscopicamente se assemelham a hialoclastitos. Além disso, são observadas no alvo São Francisco formações ferríferas bandadas (BIFs); essas rochas estão associadas a metapelitos carbonosos e geralmente contém bandas pouco sulfetadas. No entanto, as BIFs tornam-se mais descontínuas e menos espessas à medida que avançamos para o topo da estratigrafia local, onde observa-se uma maior quantidade de meta-arenitos e metapelitos. Essa transição pode ser interpretada como progradação gradual de leques turbidíticos após a cessação da atividade magmática. Análises geoquímicas de andesitos e basaltos andesíticos apontam origem tectônica relacionada a arco vulcânico continental com forte assinatura crustal. As características geoquímicas destas rochas vulcânicas do alvo São Francisco divergem das encontradas para a área do depósito São Sebastião e para o alvo Aparição, onde rochas meta-ígneas apresentam assinatura toleítica sendo komatiitos e basaltos de fundo oceânico com pouca ou nenhuma influência crustal. Adicionalmente, propostas de correlação entre os *Greenstone Belts* Pitangui e o Rio das Velhas já foram discutidas por outros autores. Os dados litoestratigráficos e geoquímicos do alvo São Francisco e do *Greenstone Belt* Rio das Velhas foram comparados e esta proposta foi reforçada.

Palavras-chave: Cráton São Francisco; *Greenstone Belt* Pitangui; alvo São Francisco; Litogeoquímica; Ambiência tectônica.

Abstract

FARIA, Lorrana Roriz. LITOGEOCHEMISTRY OF METAVULCANIC ROCKS AND STRATIGRAPHY OF THE EXPLORATORY TARGET SÃO FRANCISCO (Au), GREENSTONE BELT PITANGUI, MINAS GERAIS, BRASIL, MG. 2017. 78 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The São Francisco exploration target is located in the Pitangui greenstone belt, on the western border of the Quadrilátero Ferrífero (QF), southern portion of the São Francisco Craton, Minas Gerais. Drillcore logging from IAMGOLD Brazil allowed a better understanding of the stratigraphy and tectonic ambience of this greenstone. The Pitangui greenstone belt is divided into three lithostratigraphic units: Lower, Middle and UpperSuperior. The stratigraphy of the São Francisco target is dominated by clastic metasedimentary intervals and intermediate metavulcanic rocks corresponding to the transition from the Lower to the Middle Unit. The basal portion of this interval represents a change in the configuration of the depositional environment of the basin, interpreted from the record of volcanic rocks of andesitic affinity. The predominance of these rocks reflects a contrast in relation to the Lower Unit, which presents abundance in metavolcanic ultramafic and mafic rocks. The various andesitic lava pulses are delimited at the top by metavulcanoclastic rocks macroscopically resembling hyaloclastites. In the São Francisco target there are also banded iron formations (BIFs). These rocks are associated with carbonaceous metapelites and generally contain little sulphide bands. However, BIF intervals become more discontinuous and thin as we move to the top of the local stratigraphy, where we observe a greater amount of meta-sandstones and metapelites. This transition can be interpreted as the gradual progression of turbidite fans after the cessation of magmatic activity. Geochemical analyses of andesites indicate tectonic origin related to continental volcanic arc with strong crustal signature. The geochemical characteristics of these volcanic rocks of the São Francisco target diverge from those found at the São Sebastião deposit area and for Aparição exploratory target, 4 km south, where metavolcanic rocks have a toleitic signature being komatites and basalts and little or no crustal influence. In addition, a proposed correlation between the Pitangui and the Rio das Velhas greenstone belts is discussed.

Key words: San Francisco Craton; Greenstone Belt Pitangui; San Francisco target; Litogeochemistry; Tectonic environment

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização e vias de acesso a área de estudo.....	3
Figura 2 - (a): Distribuição aproximada das grandes unidades de relevo local; (b) Análise de Vegetação; Geobank / CPRM.....	5
Figura 3 – Configuração geológica do Quadrilátero Ferrífero	7
Figura 4 - Esboço do ambiente tectônico relacionado aos ciclos sedimentares e suas respectivas associações de litofácies, <i>Greenstone Belt</i> Rio das Velhas.	9
Figura 5 - Esboço geológico do <i>Greenstone Belt</i> Pitangui e área circundante, com localização do alvo São Francisco.....	13
Figura 6 - Correlações litoestratigráficas e cronoestratigráficas entre os <i>Greenstone Belts</i> Pitangui e Rio das Velhas.. ..	14
Figura 7 - a) Furos de sondagem descritos do alvo São Francisco (FSF002, FSF003, FSF005, FSF006 e FSF007)	19
Figura 8 - Fotografias de testemunhos de sondagem (A) FSF005 – 225m; (B) FSF005 – 200m; (C) FSF005 – 365m; (D) FSF005 - 212m.	21
Figura 9 - Fotomicrografias de rocha metavulcânica intermediária do alvo São Francisco. FSF003 – 122,16m.	23
Figura 10 - Fotomicrografias de rocha metavulcânica intermediária do alvo São Francisco. FSF005 – 361,17m	24
Figura 11 - Fotomicrografias de rochas metavulcânicas intermediárias do alvo São Franciscos. A) FSF003 – 336,38m; B) FSF006 – 116,85m.	25
Figura 12 - Fotomicrografias de rochas metavulcânicas intermediárias do alvo São Francisco. (A) FSF006 – 207,44m. (B) FSF005 –199,13m.....	26
Figura 13 - Fotomicrografias de rochas metavulcânicas intermediárias do alvo São Francisco. A) FSF005 – 199,13m. B) FSF005 – 390m.	27
Figura 14 – Fotomicrografia de rocha metavulcânica intermediária do alvo São Francisco FSF005 – 262m	28
Figura 15 - Fotografias de testemunhos de sondagem mostrando rochas metavulcanoclásticas do alvo São Francisco. (A) Furo 005 – 248m; (B) Furo 005 – 299m; (C) Furo 006 – 210m; (D) Furo 005 – 374m.. ..	29
Figura 16 - Fotomicrografias de rocha metavulcanoclástica do alvo São Francisco obtidas FSF003 – 363.27m.....	31

- Figura 17** - Fotomicrografias de rocha metavulcanoclástica do alvo São Francisco obtidas com luz transmitida sob nicóis descruzados (A) e cruzados (B). FSF005 – 356,59m. A imagem mostra o aspecto brechado destas amostras. Fragmentos líticos formados por quartzo e feldspato são delimitados por cristais de biotita e clorita. Lista de abreviações minerais no anexo C. 32
- Figura 18** - Fotomicrografias de rocha metavulcanoclástica do alvo São Francisco. FSF005 – 372,20m. A imagem mostra o aspecto brechado destas amostras. Fragmentos líticos formados por quartzo e feldspato são delimitados por cristais de biotita e clorita. Lista de abreviações minerais no anexo C..... 33
- Figura 19** - Fotomicrografias de rocha metavulcanoclástica do alvo São Francisco. FSF005 – 372,20m. A imagem mostra o aspecto brechado destas amostras. Fragmentos líticos formados por quartzo e feldspato são delimitados por cristais de biotita e clorita. 34
- Figura 20** - Fotomicrografias de aglomerados de epidotos e quartzo recristalizados, que conferem a morfologia arredondada disposta em fragmentos líticos em algumas amostras desta rocha metavulcanoclástica. FSF005 – 372,20m. 35
- Figura 21** - Fotomicrografias de exemplos de aglomerados de epidotos e quartzo recristalizados, que conferem a morfologia arredondada disposta em fragmentos líticos em algumas amostras desta rocha metavulcanoclástica. FSF005 – 372,20m. Amídala de quartzo sob matriz rica em epidoto. 36
- Figura 22** - Fotografias de testemunhos de sondagem (A) FSF006 – 197m; (B) FSF005 - 165m; (C) FSF006 - 342m. Lista de abreviações minerais no anexo C..... 37
- Figura 23** - Fotografias de testemunhos de sondagem (a) Furo FSF005 - 145m; (b) FSF006 - 145m; (C) F006 - 140m..... 38
- Figura 24** - Fotografias de testemunhos de sondagem mostrando formações ferríferas bandadas do alvo São Francisco. (A) Furo FSF005 - 162m; (B) Furo FSF006 – 349m. 39
- Figura 25** -- Correlação estratigráfica entre os furos FSF003 e FSF005. Imagem desenhada no *software Geosoft Target* versão 9.1..... 41
- Figura 26** - Correlação estratigráfica entre os furos FSF002 e FSF007. Imagem desenhada no *software Geosoft Target* versão 9.1..... 42
- Figura 27** - Furo de sondagem FSF006 representado em subsuperfície.. 43
- Figura 28** - Coluna estratigráfica sintética do alvo São Francisco..... 44
- Figura 29** - Discriminação em séries para as rochas metavulcânicas do alvo São Francisco. Diagrama AFM de Irvine e Baragar (1971)..... 48
- Figura 30** - Classificação das rochas metavulcânicas do alvo São Francisco, de acordo com o diagrama de Jensen (1976)..... 49

- Figura 31** - Classificação das rochas metavulcânicas do alvo São Francisco, de acordo com o diagrama de Nb/Y - Zr/Ti, Pearce (1996). 50
- Figura 32** - *Spider diagram* - normalização em relação ao condrito (REE chondrite, Boynton, 1984). 51
- Figura 33** - *Spider diagram* – normalização para NMORB depois de Pearce e Parkinson, 1993 52
- Figura 34** - Fotografias de testemunhos de sondagem: coluna da direita rochas do alvo São Francisco (a) Furo 005 – 248m; (b) Furo 005 – 299m; (c) Furo 005 – 374m; coluna da direita comparações 53
- Figura 35** - Diagrama de classificação tectônica, Gordon e Schandl (2000). 56
- Figura 36** - Diagrama de classificação tectônica Nb/Yb vs Th/Yb de Pearce (2008). 57
- Figura 37** - Diagrama de classificação tectônica, Hollocher *et al.*, 2012. 58
- Figura 38** - Correlação estratigráfica entre os *Greenstone Belts* Rio das Velhas e o Pitangui expandido, mostrando em detalhe os alvos São Francisco (este trabalho). 51
- Figura 39** - Diagrama ternário AFM de Irvine & Baragar (1971) comparação entre os *Greenstone Belts* Pitangui (alvos Aparição, São Sebastião, São Francisco e setor sudoeste) e Rio das Velhas. 53
- Figura 40** - Diagrama ternário de Jensen (1998) comparação entre os *Greenstone Belts* Pitangui (alvos Aparição, São Sebastião, São Francisco e setor sudoeste) e Rio das Velhas. 54
- Figura 41** - Diagrama de Nb/Y - Zr/Ti, (Pearce, 1996), comparação entre os *Greenstone Belts* Pitangui (alvos Aparição, São Sebastião, São Francisco e setor sudoeste) e Rio das Velhas. 55
- Figura 42** - Multiplot Zr (ppm) vs percentuais de elementos maiores (SiO₂, Al₂O₅, MgO, CaO, K₂O, Na₂O, TiO₂, P₂O₅, FeO_t) comparação entre os alvos do *Greenstone Belts* Pitangui (Aparição, São Sebastião, São Francisco) 56
- Figura 43** - Multiplot ppm Zr vs ppm de Th, Nb, Ni, Ta, La e Cr₂O₃, comparação entre os alvos do *Greenstone Belts* Pitangui (Aparição, São Sebastião, São Francisco)... 57
- Figura 44** - Diagrama normalizado para o condrito (REE chondrite, Boynton, 1984), comparação entre os alvos do *Greenstone Belts* Pitangui (Aparição, São Sebastião, São Francisco) 58
- Figura 45** - Diagrama Nb/Yb x Th/Yb, Pearce (2008), comparação entre os alvos do *Greenstone Belts* Pitangui (Aparição, São Sebastião, São Francisco). 59

- Figura 46** - a) Gráfico retirado de Klausen *et al.* (2017). Rochas máficas-ultramáficas e intermediárias do *Greenstone Belt* Pitangui.. 60
- Figura 47** - Razão Nb/Nb^* [$=Nb_N / \sqrt{(Th_N \times La_N)}$] e $(La/Yb)_N$ normalizados para condrito (Boyton, 1984).. 61
- Figura 48** - Modelo sintético de evolução tectôno-sedimentar para o *Greenstone Belt* Pitangui.. 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese da evolução deposicional, magmática e tectono-estrutural do <i>Greenstone Belt</i> Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero	10
Tabela 2 - Síntese da configuração litoestratigráfica do <i>Greenstone Belt</i> Pitangui	12
Tabela 3 - Interpretações para a evolução da configuração estrutural do <i>Greenstone Belt</i> Pitangui.....	16
Tabela 4 - furos de sondagem descritos	18
Tabela 5 - Ordem de cristalização dos minerais das rochas meta-máficas intermediárias.....	22
Tabela 6 - Composição modal média das rochas metavulcânicas intermediárias.....	28
Tabela 7 - Composição modal média das rochas metavulcanoclásticas.....	30
Tabela 8 - Lista de máximos, mínimos e médios percentuais de análises químicas realizadas em rochas metavulcânicas intermediárias do alvo São Francisco.	48

LISTA DE ANEXOS

Anexo A - Listagem das amostras coletadas para confecção de lâminas delgadas.	73
Anexo B - Folha padrão para análise modal semi-quantitativa por visada	74
Anexo C - Tabela de abreviações dos minerais segundo recomendação do IUGS..	75
Anexo D - alvo São Francisco - Resultados de análises químicas	76
Anexo E - alvo São Francisco - Resultados de análises químicas.....	77
Anexo F - Relação de amostras submetidas a análises químicas	78

Sumário

Resumo	x
Abstract	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE ANEXOS	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Localização e acesso.....	3
1.3 Aspectos Fisiográficos.....	4
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	6
2.1 <i>Greenstone Belt</i> Rio das Velhas	8
2.2 <i>Greenstone Belt</i> Pitangui	11
2.2.1 Geologia estrutural.....	15
2.2.2 Metamorfismo	15
2.2.3 Mineralizações auríferas	17
3 METODOLOGIA.....	18
4 RESULTADOS	21
4.2 Estratigrafia do alvo São Francisco	40
4.2.1 Correlação dos testemunhos de sondagem	40
4.2.2 Coluna estratigráfica sintética	40
4.3 Metamorfismo, hidrotermalismo e geologia estrutural	46
4.4 Caracterização litogeoquímica das rochas metavulcânicas	47
5. DISCUSSÃO	52
5.1 Arcabouço estratigráfico e ambiente deposicional.....	52
5.2 Afinidade geoquímica das rochas e ambiente tectônico	55
5.3 Comparação com outras áreas dos <i>Greenstone Belts</i> Pitangui e Rio das Velhas..	58
6 CONCLUSÕES	63
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
8 ANEXOS	73

1 INTRODUÇÃO

Localizado no limite sudeste do cráton do São Francisco, o Quadrilátero Ferrífero é composto por terrenos granito-gnáissicos arqueanos a paleoproterozoicos, cinturões metavulcanossedimentares arqueanos e coberturas metassedimentares proterozoicas (Dorr, 1969; Baltazar e Zucchetti, 2007). O *Greenstone Belt* Rio das Velhas é o principal cinturão metavulcanossedimentar, suas idades variam entre 2,9 e 2,67 Ga (Machado e Carneiro, 1992; Hartmann *et al.*, 2006; Noce *et al.*, 2005; Baltazar e Zucchetti, 2007). Neste terreno há registros de depósitos de ouro orogênico de classe mundial, como por exemplo, a Mina Cuiabá (13,6 MozAu – AGA2016 adimb.cm.br) atualmente explorada pela empresa AngloGold Ashanti (Lobato *et al.*, 2001, Ribeiro *et al.*, 2007). Associações litológicas semelhantes ocorrem em outra faixa *greenstone* a aproximadamente 80 km de distância noroeste: o *Greenstone Belt* Pitangui.

Tradicionalmente correlacionado ao *Greenstone Belt* Rio das Velhas (Romano 2007; Romano *et al.*, 2013; Pinto, 2014; Cabral e Corrêa Neto, 2015; Teixeira *et al.*, 2015; Brando Soares *et al.*, 2017; Verma *et al.*, 2017), o *Greenstone Belt* Pitangui também apresenta mineralizações auríferas arqueanas, como por exemplo, as da Mina Turmalina (~3MozAu- RPA Consultoria e Jaguar *Mining* Inc., 2017) e o depósito São Sebastião (0,679MozAu@5g/tAu), descoberto recentemente (SRK consultoria e IAMGOLD CORPORATION, 2014).

Este cinturão é contornado por TTGs arqueanos e composto por rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas intercaladas a intervalos metassedimentares que englobam formações ferríferas bandadas, meta-quartzo-xistos, metapelitos turbidíticos e metaconglomerados (Romano 2007; Romano *et al.*, 2013; SRK consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014; Cabral e Corrêa Neto 2016; Brando Soares *et al.*, 2017). O *Greenstone Belt* Pitangui está situado entre as cidades de Pitangui e Pará de Minas. Apresenta escassez de afloramentos, o que tem dificultado a obtenção de dados relativos à sua geologia. Programas de sondagem realizados recentemente pela empresa IAMGOLD durante projetos de pesquisa mineral, permitiram a elaboração de uma nova proposta de coluna estratigráfica para essa faixa mediante a descrição de testemunhos (Brando Soares *et al.*, 2017).

Os supracitados materiais permitiram o detalhamento estratigráfico da Unidade Inferior do *Greenstone Belt* Pitangui, equivalente ao primeiro dos quatro ciclos sedimentares propostos por Baltazar e Zucchetti (2007) para o *Greenstone Belt* Rio das Velhas. Este intervalo hospeda o depósito São Sebastião e dados isotópicos de U-Pb e Lu-Hf a partir de zircões detríticos permitiram posicionar cronologicamente o *greenstone* ao revelar uma idade de deposição máxima de $2,86 \pm 0,15$ Ga.

Em paralelo, foram realizadas campanhas de sondagem em outras regiões do *Greenstone Belt* Pitangui, conhecidas como alvos exploratórios São Francisco e Aparição, onde o último também intercepta a Unidade Inferior (Santos, 2017).

O presente trabalho tem como foco o estudo das rochas encontradas no alvo São Francisco, que intercepta a transição entre as Unidades Inferior e Intermediária do *Greenstone Belt* Pitangui. A descrição de testemunhos de sondagem possibilitou a oportunidade de expansão do conhecimento geológico da coluna estratigráfica do *greenstone*, onde apenas a Unidade Inferior havia sido detalhada (Brando Soares *et al.*, 2017; Santos, 2017).

A interpretação litogeoquímica das rochas metavulcânicas do alvo São Francisco viabilizou discussões acerca da desconhecida evolução tectônica do *Greenstone Belt* Pitangui, onde tais análises se restringiam a Unidade Inferior (Santos, 2017). Com a incorporação de novos dados, também foi possível uma comparação mais abrangente com trabalhos já publicados sobre a evolução do *Greenstone Belt* Rio das Velhas.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo contribuir com o refinamento da coluna estratigráfica do *Greenstone Belt* Pitangui ao detalhar a estratigrafia de sua parte intermediária e caracterizar a geoquímica de rochas metavulcânicas, discutindo o contexto geotectônico deste cinturão.

Os resultados obtidos (estratigrafia e litogeoquímica) são comparados com os existentes para a área do depósito São Sebastião e do alvo Aparição, da parte sudoeste do *Greenstone Belt* Pitangui. A interpretação litogeoquímica das rochas metavulcânicas do alvo São Francisco viabilizou discussões acerca da desconhecida

evolução tectônica do *Greenstone Belt* Pitangui, onde tais análises se restringiam a Unidade Inferior (Santos, 2017).

Com a incorporação de novos dados, também foi possível uma comparação mais abrangente com trabalhos já publicados sobre a evolução do *Greenstone Belt* Rio das Velhas.

1.2 Localização e acesso

A área de estudos se situa entre os municípios de Pequi e São José da Varginha, a aproximadamente 80 km em linha reta noroeste da capital Belo Horizonte (**fig. 1**). Esta região é recoberta pela folha topográfica 1:100.000 Pará de Minas (SE-23-Z-C-IV) do IBGE.

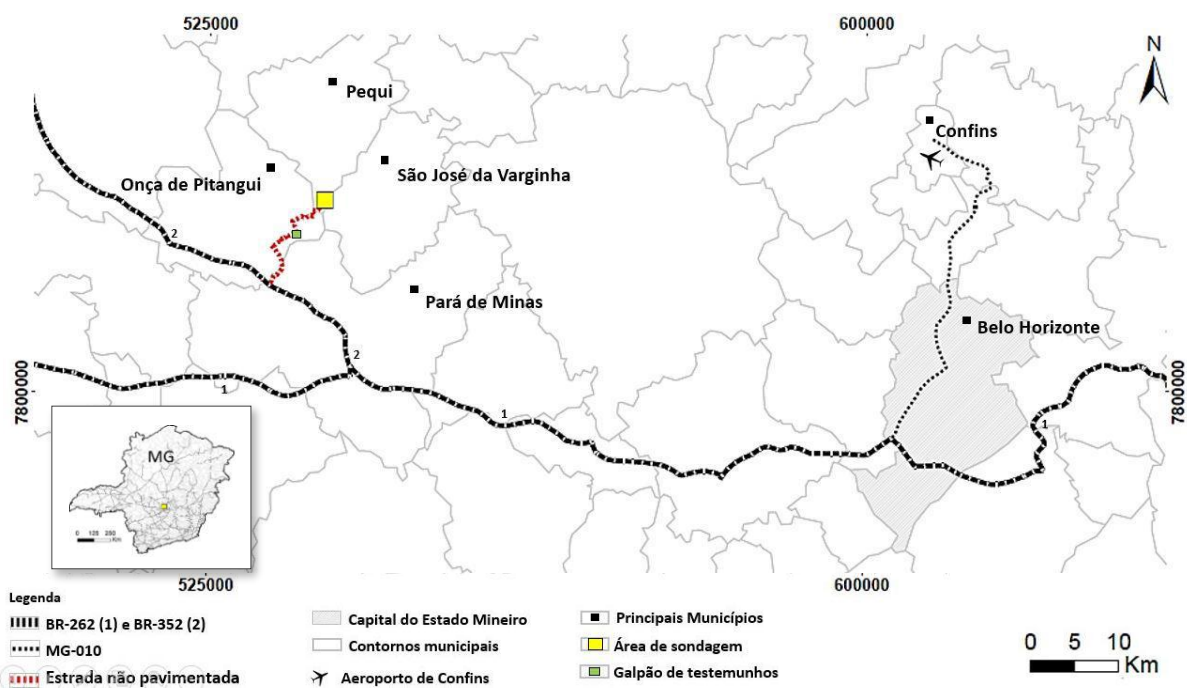


Figura 1 - Mapa de localização e vias de acesso a área de estudo (fonte de dados: modificado do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)

O aeroporto de Confins é o meio mais prático para iniciar o acesso à área, a partir do qual, o trajeto ao longo de 30 km pela rodovia MG-010, tem como destino Belo Horizonte.

Tomando como referencial a região central de Belo Horizonte, existem várias opções de trajeto. A melhor alternativa é o percurso pela BR-262 e em seguida pela BR-352. A partir dela há estradas não pavimentadas que permitem o acesso à área sondada e ao galpão de testemunhos da IAMGOLD, localizado na Vila da Jaguará (distrito de Onça de Pitangui). Alternativamente, nas cidades de Pará de Minas ou Onça de Pitangui, também há acessos às estradas não pavimentadas que levam até ao destino final.

1.3 Aspectos Fisiográficos

O alvo São Francisco, situa-se numa região de baixo relevo topográfico e forma suaves colinas com uma altitude média de 750 a 800 metros que compreendem campos de pastagem (**fig. 2a e 2b**). A feição geomorfológica mais proeminente da região, é o platô de Pitangui, esculpido em rochas metavulcânicas e metassedimentares cujo limite é marcado por um conjunto de serras com altitude máxima de 1224 m (Romano, 2007).

Os afloramentos rochosos são muito escassos devido ao desenvolvimento de espessos mantos de alteração intempérica, geralmente limitados aos cortes de estradas e escavações de drenagens (SRK consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014). A vegetação característica é uma transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado. Apresentando forte influência antrópica, predominam pastagens e subordinadamente, matas de encosta, e matas ciliares (Romano, 2007).

O clima dominante é o temperado, com temperaturas médias anuais oscilando em torno de 21°C podendo no inverno atingir 10 °C e no verão, 32 °C. Existem duas estações distintas, o verão chuvoso geralmente no período de outubro a março e o inverno seco, de abril a setembro. O índice pluviométrico anual varia de 1300 mm a 2100 mm e a umidade do ar oscila em torno de 75 e 85%. (Silva, 2007). Além disso, a área está contextualizada nos afluentes do rio Paraopebas (**fig. 2b**).

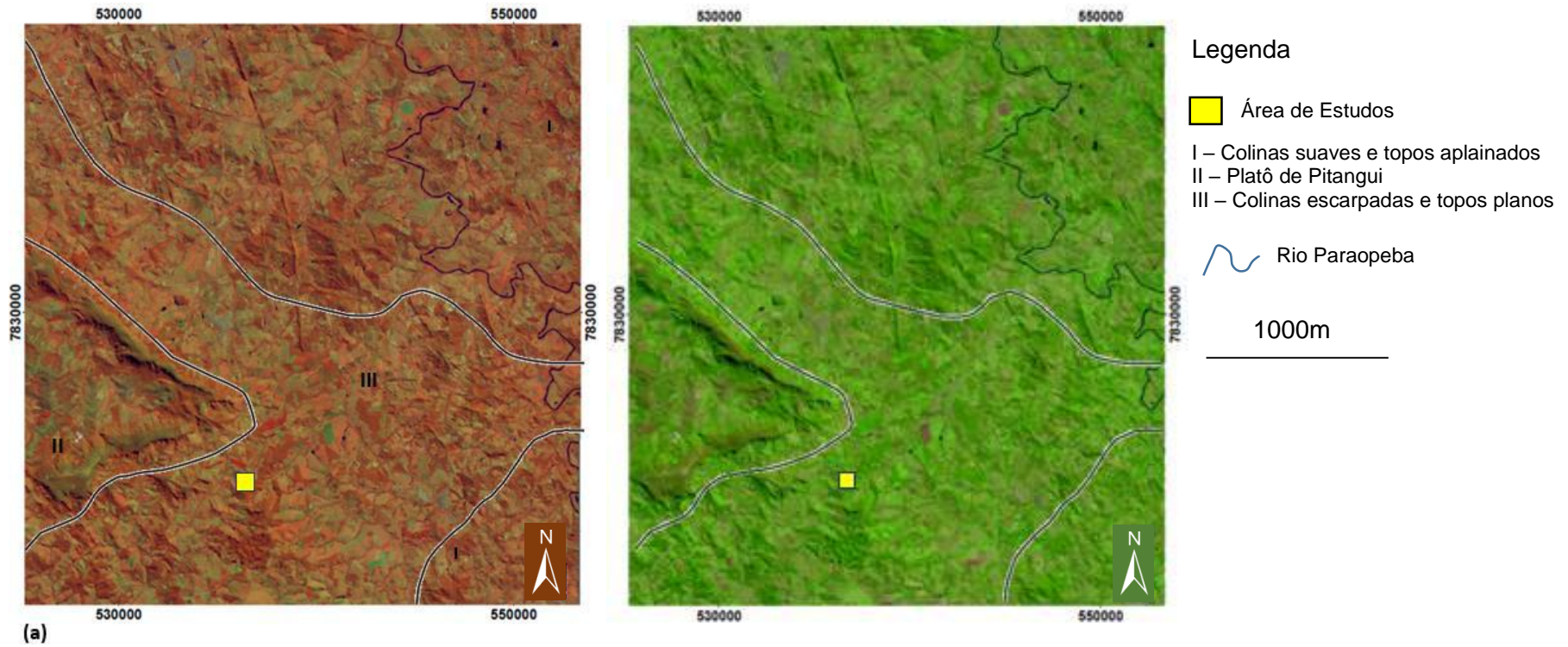


Figura 2 -Imagens extraídas do GEOBANK/CPRM (<http://geowebapp.cprm.gov.br/ViewerWEB/>), acessado em 20/11/2017 (a): Distribuição aproximada das grandes unidades de relevo local (adaptado de Romano, 2007); LANDSAT GLS Vegetação Saudável. (b) LANDSAT GLS Análise de Vegetação; Geobank / CPRM.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

O Quadrilátero Ferrífero (**fig. 3**) constitui uma importante província mineral na porção sul do Cráton São Francisco, ocupando a área de 7.000 km² (Dorr, 1969; Almeida, 1977; Alkmim e Marshak, 1998; Lobato *et al.*, 2001; Baltazar e Zucchetti, 2007). Este setor do cráton é formado por: [i] trondjemito-tonalito-granodioritos (TTGs) e complexos graníticos-gnáissicos meso a neoarqueanos que correspondem ao embasamento cristalino; [ii] associações arqueanas metamáfica-metaultramáficas e metavulcanossedimentares; [iii] e coberturas Proterozoicas e fanerozoicas constituídas por associações metavulcanossedimentares e metassedimentares (Noce *et al.*, 2007; Baltazar e Zucchetti 2007, Romano *et al.*, 2013).

O embasamento da região resulta de três eventos de pulsos magmáticos locais e foram datados por Lana *et al.* (2013) entre 3,22 e 2,77 Ga. São conhecidos na literatura como evento Santa Bárbara (3,22 a 3,20 Ga), Rio das Velhas I (2,93 a 2,90 Ga) e Rio das Velhas II (2,8 a 2,77 Ga).

As unidades metavulcanossedimentares arqueanas mais antigas (2,8 a 2,67 Ga) formam o *Greenstone Belt* Rio das Velhas (Dorr *et al.*, 1957; Baltazar e Zucchetti, 2007), que contém os maiores depósitos auríferos desta província (Lobato *et al.*, 2001, Noce *et al.*, 2007).

O Supergrupo Minas (Dorr, 1969; Koglin *et al.*, 2014), o Grupo Itacolomi (2,1 Ga) e o Supergrupo Espinhaço (Guadagnin *et al.*, 2015 - 1,8 a 1,0 Ga) foram depositados durante o Paleoproterozoico. O Grupo Bambuí (0,68-0,60 Ga), composto por calcários e rochas pelíticas aflora apenas a leste da área e representa a Unidade mais nova (Zalán e Silva, 2012). Em conjunto com as Unidades Proterozoicas capeiam os intervalos arqueanos do *greenstone* (**fig. 3**).

A evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero ocorreu durante três eventos: (a) orogenia Rio das Velhas entre 2,8 e 2,67 Ga (Baltazar e Zucchetti, 2007; Teixeira *et al.*, 2015); (b) orogenia Minas datada em aproximadamente ~ 2,1 Ga (Teixeira *et al.*, 2015); (c) e o evento Brasiliano entre 0,65 e 0,50 Ga (Chemale *et al.*, 1994; Alkmim e Marshak, 1998; Lobato *et al.*, 2001; Noce *et al.*, 2007).

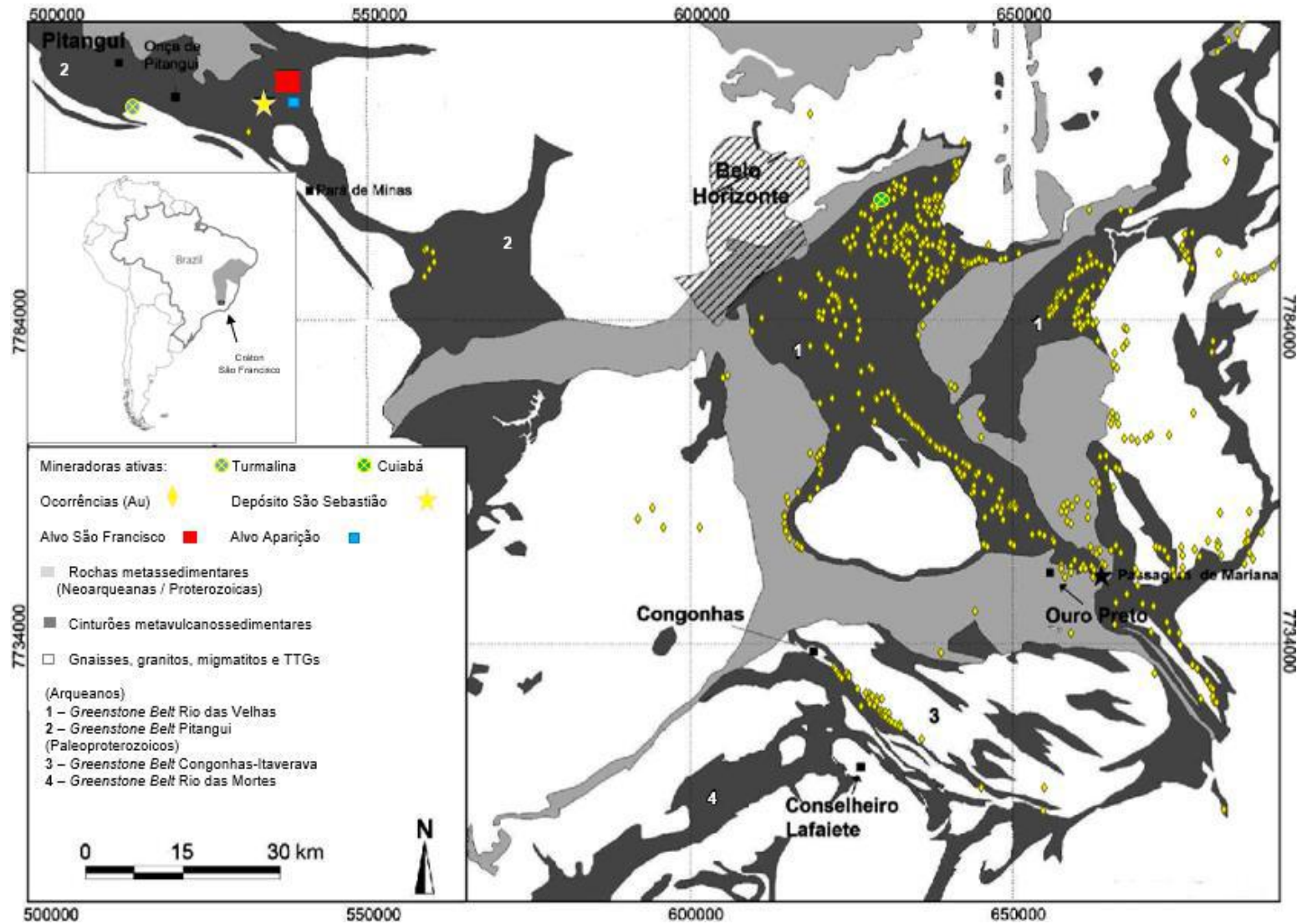


Figura 3 – Conf. geológica do (QF), compilado de Dorr (1969), Corrêa Neto *et al.* (2012), e Teixeira *et al.* (2015). Nota: as ocorrências auríferas englobam depósitos de Au orogênico (Arqueano e Paleoproterozoico), Witwatersrand (Gibson, 1892) e Jacutinga (Hussak, 1906).

A orogenia Rio das Velhas está registrada em uma compressão NE-SW; a orogenia Minas se associa a um período de acreção crustal (SE-NW) com posicionamento de domos granito-gnáissico; e o evento Brasileiro possui registros apenas a leste da área, em zonas de empurrão com transporte de E para W.

Sincronicamente aos estágios finais do período de deposição do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, ocorreu o evento Mamona. Definido por Farina *et al.* (2015), configura injeções de granitóides potássicos que foram datadas entre 2,76 e 2,68 Ga. Esse evento é tido como representante da estabilização da massa de crosta continental amalgamada durante a Orogenia Rio das Velhas (Lana *et al.*, 2013; Romano *et al.*, 2013).

2.1 *Greenstone Belt* Rio das Velhas

O *Greenstone Belt* Rio das Velhas configura um cinturão de rochas metavulcanossedimentares de 2,9 a 2,73 Ga (Dorr II, 1969; Baltazar e Zucchetti, 2007) e está subdividido nos grupos Nova Lima e Maquiné. O Grupo Nova Lima é constituído por metabasaltos toleíticos e komatiíticos, rochas metavulcanoclásticas, rochas metavulcânicas félsicas, vaques turbidíticas, metapelitos e formações ferríferas bandadas (BIFs) do tipo Algoma (Machado *et al.*, 1992; Alkmim e Marshak, 1998; Baltazar e Zucchetti, 2007).

O Grupo Maquiné é composto por metaconglomerados polimíticos, quartzitos micáceos grossos e sericita quartzo-xistos (Gair, 1962). A deposição destas rochas ocorreu durante um período de transição da evolução magmática desta região do cráton, quando o magmatismo juvenil relacionado ao ambiente de arco progrediu abruptamente para o magmatismo característico de fusão de crosta com inserção de granitóides potássicos alcalinos (Romano *et al.*, 2013). Moreira *et al.* (2016) sugerem um máximo deposicional em torno de 2,73 Ga para este grupo, concomitante com estágio final do evento magmático conhecido como Rio das Velhas II (Lana *et al.*, 2013).

Baltazar e Zucchetti (2007) propõem quatro ciclos sedimentares para o *Greenstone Belt* Rio das Velhas, definidos com base na correlação espacial entre as associações de litofácies e ambiência tectônica regional (**fig. 4**). O ciclo 1 (2,80 a 2,78 Ga) caracterizado por esforços tectônicos extensionais, antecede a Orogenia Rio das

Velhas que é simultânea à deposição dos outros 3 ciclos subsequentes (2,78 a 2,67 Ga). A Orogenia Rio da Velhas (~ 2,80 a 2,67 Ga) teria pelo menos em parte sido sincrônica aos 4 ciclos sedimentares.

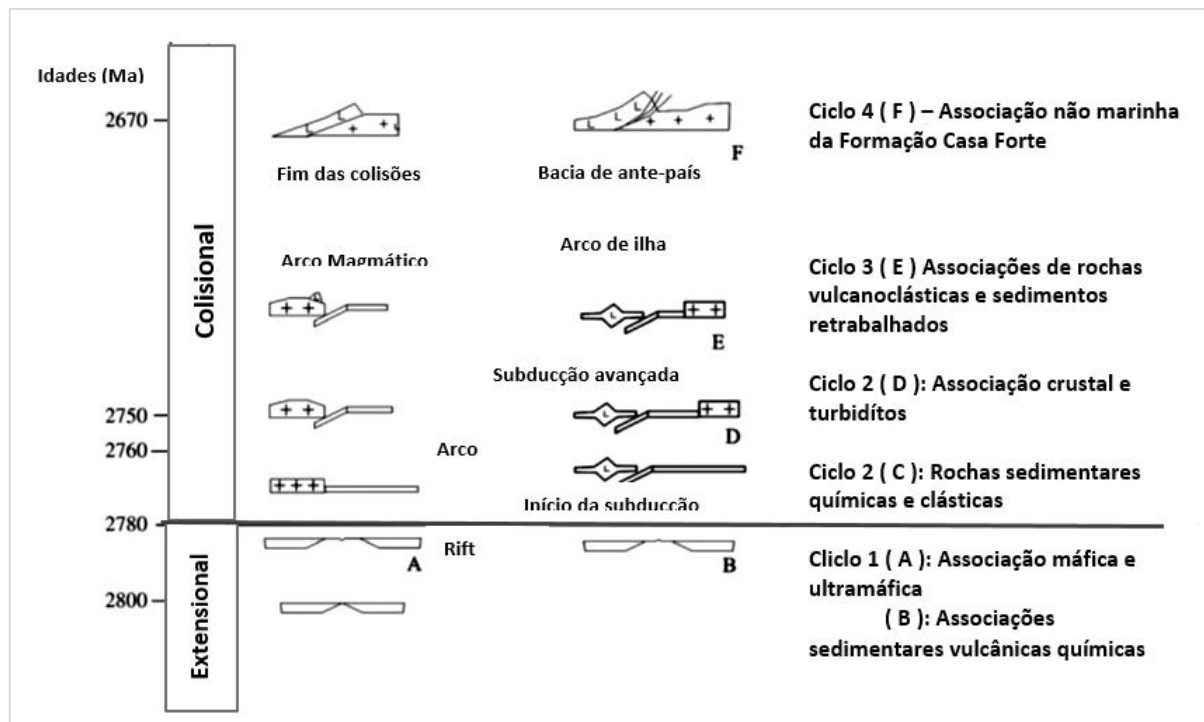


Figura 4 - Esboço do ambiente tectônico relacionado aos ciclos sedimentares e suas respectivas associações de litofácies (extraído de Baltazar e Zucchetti, 2007).

Diversas são as contribuições para modelos tectônicos e configurações sedimentares propostas para esta província: Almeida e Hasui (1984); Marshak e Alkmim (1989); Machado e Carneiro (1992); Chemale *et al.* (1994); Teixeira *et al.* (1996); Alkmim e Marshak (1998), Zucchetti e Baltazar (2000), Silva *et al.* (2005), Hartmann *et al.* (2006); Baltazar e Zucchetti (2007); Lana *et al.* (2013); Koglin *et al.* (2014); Farina *et al.* (2015); Albert *et al.* (2016) e Teixeira *et al.* (2015 e 2017).

A tabela 1, apresenta uma síntese da evolução deposicional, magmática e tectono-estrutural do *Greenstone Belt* Rio das Velhas e dos conjuntos supracrustais proterozoicos no Quadrilátero Ferrífero. Os dados isotópicos foram retirados de (1) Machado *et al.* (1996); (2) Lana *et al.* (2013); (3) Machado *et al.*, 1992; (4) Romano *et al.* (2013); (5) Noce *et al.* (2005); (6) Hartmann *et al.* (2006); (7) Koglin *et al.* (2014); (8) Moreira *et al.* (2016).

Tabela 1 - Síntese da evolução deposicional, magmática e tectono-estrutural do *Greenstone Belt* Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero segundo dados compilados de Chemale *et al.* (1994); Alkmim e Marshak (1998), Baltazar e Zucchetti (2000), Silva *et al.* (2005), Hartmaan *et al.* (2006); Baltazar e Zucchetti (2007); Lana *et al.* (2013); Farina *et al.* (2015) e Teixeira *et al.*, (2015 e 2017). Coluna estratigráfica do *greenstone belt* Rio das Velhas para o Quadrilátero Ferrífero depois de Moreira *et al.* (2016). Cronologia: (1) Machado *et al.* (1996); (2) Lana *et al.* (2013); (3) Machado *et al.*, 1992; (4) Romano *et al.* (2013); (5) Noce *et al.* (2005); (6) Hartmann *et al.* (2006); (7) Koglin *et al.* (2014); (8) Moreira *et al.* (2016).

UNIDADE	DEPOSIÇÃO	MAGMATISMO	TECTÔNICA	ESTRUTURAL	Coluna estratigráfica do <i>Greenstone Belt</i> Rio das Velhas
Gp. Bambuí (0,68 a 0,6 Ga)	~ 0,68 a 0,60 Ga		Granitóides pós orogênicos 0,65 a 0,50 Ga – Ciclo Brasileiro, granitóides sin colisionias, ápice do metamorfismo Bacia Bambuí	Relacionado a rampas oblíquas e frontais dos fronts de empurrão. Tectônica tangencial, compressional, rotacional, dúctil a dúctil-rúptil, dirigida de E para W – registrada somente a leste do QF.	<p>Supergrupo Minas</p> <p>3530-2620 Ma (7- Moeda Fm.) 3250-2580 Ma (1-6- Moeda Fm.)</p> <p>Supergrupo Rio das Velhas</p> <p>2718 Ma (8) 2735 Ma (8) 2744 Ma (8) 3809-2749 Ma (6) 2751 Ma (5) 2772 Ma (5) 2792 Ma (5) 3539-2996 Ma (1) 2750-2612 Ma (4)</p> <p>Embasamento</p> <p>2800-2770 Ma (1-2-3) 3220-2900 Ma (1-2)</p> <p>Legenda:</p> <ul style="list-style-type: none"> Sequência supracrustal Proterozoica Arenites e conglomerados Filitos e folhelhos Rochas metassedimentares e metavulcânicas Formação Ferrífera do tipo algoma Rochas metavulcânicas Granitóides potássicos TTGs dos eventos Rio das Velhas II TTGs dos eventos Rio das Velhas I e anteriores (> 2,9 Ga)
Supergrupo Espinhaço (1,75 a 1,2 Ga)	1,75 a 1,2 Ga		Bacias do Supergrupo Espinhaço		
Supergrupo Minas (2,65 a 2,1 Ga)	~ 2,1 Ga – Deposição dos grupos Sabará e Itacolomi 2,65 a 2,46 Ga – Deposição dos Grupos Caraça, Itabira e Piracicaba		2,1 a 1,9 Ga – Orogenia Transamazônica / Minas /: Posicionamento de domos granito gnáissicos Encurtamento SE-NW	Sistema de empurrão e domos	
Supergrupo Rio das Velhas (2,9 a 2,67 Ga)	2,75 a 2,67 Ga: avançada fase de subducção e colisão: * Ciclo 4 - deposição alúvio-fluvial em bacia de forearc durante a fase final de colisão * Ciclo deposicional 3: formação de arcos de ilha e deposição de rochas turbidíticas vulcanoclásticas e epiclásticas 2,74 a 2,71 Ga: Máximo deposicional para o Grupo Nova Lima	2,65 a 2,55 Ga - Estabilidade tectônica representada por plútons graníticos anorogênicos (~ Evento Mamona) 2,75 a 2,70 - Evento Mamona: intrusões de granitóides potássicos durante fase de <i>slab break-off</i>	2,73 a 2,67 Ga - Evento orogénico Rio das Velhas II: complexos granito-gnáissicos associados a margem continental ativa e vulcanismo cálcio-alcálico Compressão NE-SW	Extensos lineamentos estruturais que são falhas de empurrão, com importante componente direcional sinistral, orientadas segundo NW-SE.	
	2,78 Ga a 2,76 Ga - Ciclo deposicional 2: início da fase de subducção com associação de vulcanismo félsico e deposição de sedimentos pelágicos e químicos; 2,80 a 2,78 Ga - Ciclo deposicional 1: regime tectônico extensional e geração de crosta oceânica	2,8 e 2,77 Ga - Evento magmático Rio das Velhas II: magmatismo félsico intrusivo; 2,9 a 2,8 Ga – Magmatismo máfico-ultramáfico do <i>Greenstone Belt</i> Rio das Velhas 2,93 a 2,90 Ga - Evento magmático Rio das Velhas I: ortognaisses intrudidos nos complexos TTGs (Bação, Belo Horizonte e Bonfim);	2,8 a 2,75 Ga - Evento orogénico Rio das Velhas I: terreno granito- <i>greenstone</i> , acreção de terrenos nos complexos TTGs (Bomfim e Belo Horizonte) e compressão de direção N-S	Deformação mais antiga registrada no <i>Greenstone Belt</i> Rio das Velhas, com transporte de N para S afetando o embasamento granito-gnáissico, o Grupo Nova Lima e a Formação Palmital.	
Embasamento (3,8 a 3,20 Ga)		3,22 a 3,20 Ga - Evento Santa Bárbara: acreção crustal no complexo TTG Santa Bárbara 3,8 +/- 0,3 Ga – Geração de crosta paleoarqueana			

2.2 *Greenstone Belt* Pitangui

Romano (2007) mapeou a Folha Pará de Minas em escala de 1:100.000 e reconheceu três domínios litológicos pré-cambrianos: o embasamento cristalino, a sequência *Greenstone Belt* e granitóides intrusivos. Devido às semelhanças litológicas, o autor conferiu equivalência estratigráfica da área do *Greenstone Belt* Pitangui para com a do *Greenstone Belt* Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero (**fig. 3**).

O *Greenstone Belt* Pitangui possui rochas com idades do Meso ao Neoarqueano e é cercado por terrenos gnáissicos migmatíticos e TTGs de idade superior a 2,9 Ga (U-Pb em zircão de metadiorito - Silva, 2016). Correlações geocronológicas, litoestratigráficas e litogeoquímicas prévias, apontam equivalência em aspectos litológicos, estruturais e cronológicos para com o *Greenstone Belt* Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero (Romano 2007; Romano *et al.*, 2013; Cabral e Corrêa Neto, 2015; Teixeira *et al.*, 2015; Brando Soares *et al.*, 2017; Verma *et al.*, 2017).

Os dados geocronológicos do *Greenstone Belt* Pitangui, até recentemente, eram restritos aos granitóides do embasamento (Romano *et al.*, 2013). De acordo com Romano *et al.* (2013), os TTGs sofreram intrusão de corpos graníticos de afinidade alcalina com idades entre 2,75 e 2,69 Ga, como por exemplo, os batólitos Florestal e Pequi (**fig. 5**).

Romano (2007) adotou para o *Greenstone Belt* Pitangui a mesma divisão litoestratigráfica do *Greenstone Belt* Rio das Velhas. Desta forma, o Grupo Nova Lima comporia a maior parte da área aflorante do *Greenstone Belt* Pitangui, tendo sido dividido em duas “sequências”: (i) sequência meta-ígnea e metassedimentar e (ii) sequência metassedimentar e metavulcano-sedimentar. Ambas unidades são recobertas pelas rochas metassedimentares clásticas imaturas do Grupo Maquiné.

Brando Soares *et al.* (2017) dividem o *Greenstone Belt* Pitangui em três unidades informais (**fig. 6**): Intermediária, que registra o início da evolução geológica de uma bacia oceânica com predominância de rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas às quais se intercalam quartzo-xistos, BIFs e filitos carbonosos; Intermediária, que registra uma mudança nas características de vulcanismo máfico-

ultramáfico para intermediário, onde komatiitos e basaltos dão lugar a rochas andesíticas e dacíticas que se intercalam à rochas metassedimentares clásticas (filitos carbonosos, sericita filitos, quartzo-xistos, BIFs e metacherts); e Superior, representada por sucessões de rochas metassedimentares clásticas imaturas (mica-quartzo-xistos, quartzo-xistos e metaconglomerados polimíticos). As unidades Média e Superior indicam novas configurações para a bacia, nas quais o vulcanismo se faz menos presente.

A tabela 2, contém uma síntese das diferentes propostas para as divisões litoestratigráficas no *Greenstone Belt* Pitangui de acordo com Romano (2007), SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation (2014) e Brando Soares *et al.* (2017).

Tabela 2- Síntese da configuração litoestratigráfica do *Greenstone Belt* Pitangui de acordo com Romano (2007), SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation (2014) e Brando Soares *et al.* (2017).

Romano (2007)		SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation (2014)		Brando Soares <i>et al.</i> (2017)	
Grupo Maquiné	Quartzitos sericíticos e metaconglomerados polimíticos	Unidade Superior	Rochas sedimentares clásticas incluindo vaques turbidíticas e filitos carbonosos	Unidade Superior	Quartzitos impuros e metaconglomerados polimíticos
Grupo Nova Lima	Sequência metassedimentar e metavulcanossedimentar (rochas metapiroclásticas, metatufos ressedimentados, metagrauvacas turbidíticas, filitos carbonosos, metacherts e rochas aluminosas alteradas por hidrotermalismo)	Unidade Inferior	Rochas vulcânicas máficas e ultramáficas com intercalações de BIFs do tipo algoma e outras unidades sedimentares como vaques turbidíticas e rochas carbonosas de grãos finos	Unidade Intermediária	Rochas metassedimentares clásticas com intercalação de rochas metavulcânicas máficas e intermediárias e BIFs em menores volumes
	Sequência meta-ígneas e metassedimentar (rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas intercaladas com BIFs, metapelitos e metagrauvacas turbidíticas)			Unidade Inferior	Rochas máficas e ultramáfica intercaladas por intervalos dominados por rochas metassedimentares de grãos finos e químicos

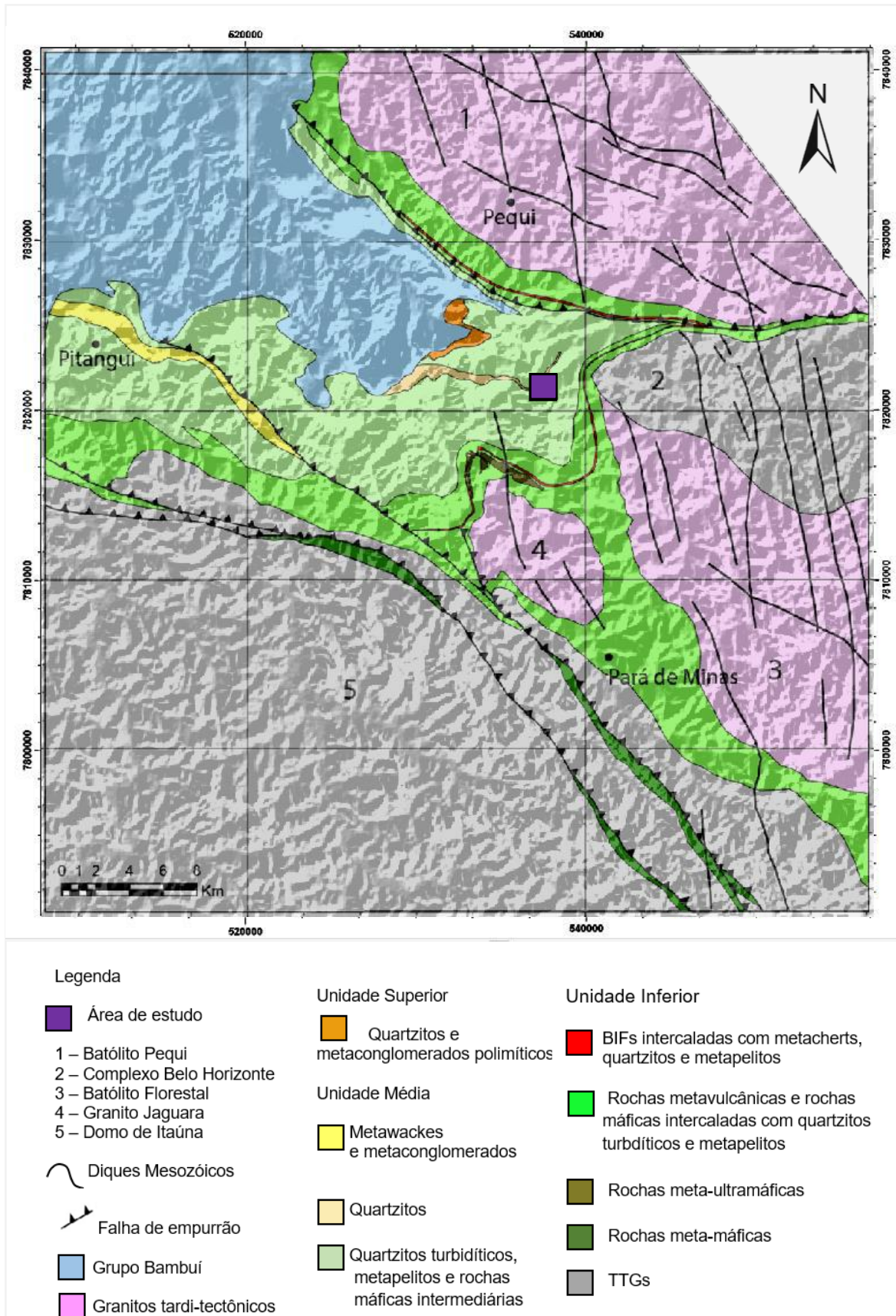


Figura 5 - Esboço geológico do *Greenstone Belt* Pitangui e área circundante, com localização do alvo São Francisco; adaptado de Brando Soares *et al.* (2017)

Brando Soares *et al.* (2017) com base em análise de zircão detrítico definiram a idade de deposição máxima como 2,86 Ga para um intervalo de BIFs da Unidade Inferior do *greenstone*. Esta idade mesoarqueana equivale à do ciclo 1 (2,9 ~ 2,78 Ga) proposto por Baltazar e Zucchetti (2007) para o *Greenstone Belt* Rio das Velhas (**fig. 4**). Segundo os autores, as rochas do ciclo 1, pertencentes ao Grupo Nova Lima, formam uma sucessão estratigráfica muito similar a Unidade Inferior do *Greenstone Belt* Pitangui e a Unidade Intermediária, similar ao final do ciclo 1 e aos ciclos 2 e 3 (no último apenas o intervalo basal). A Unidade Superior assemelha-se às rochas do Grupo Maquiné, englobado no ciclo 4 (**fig. 6**).

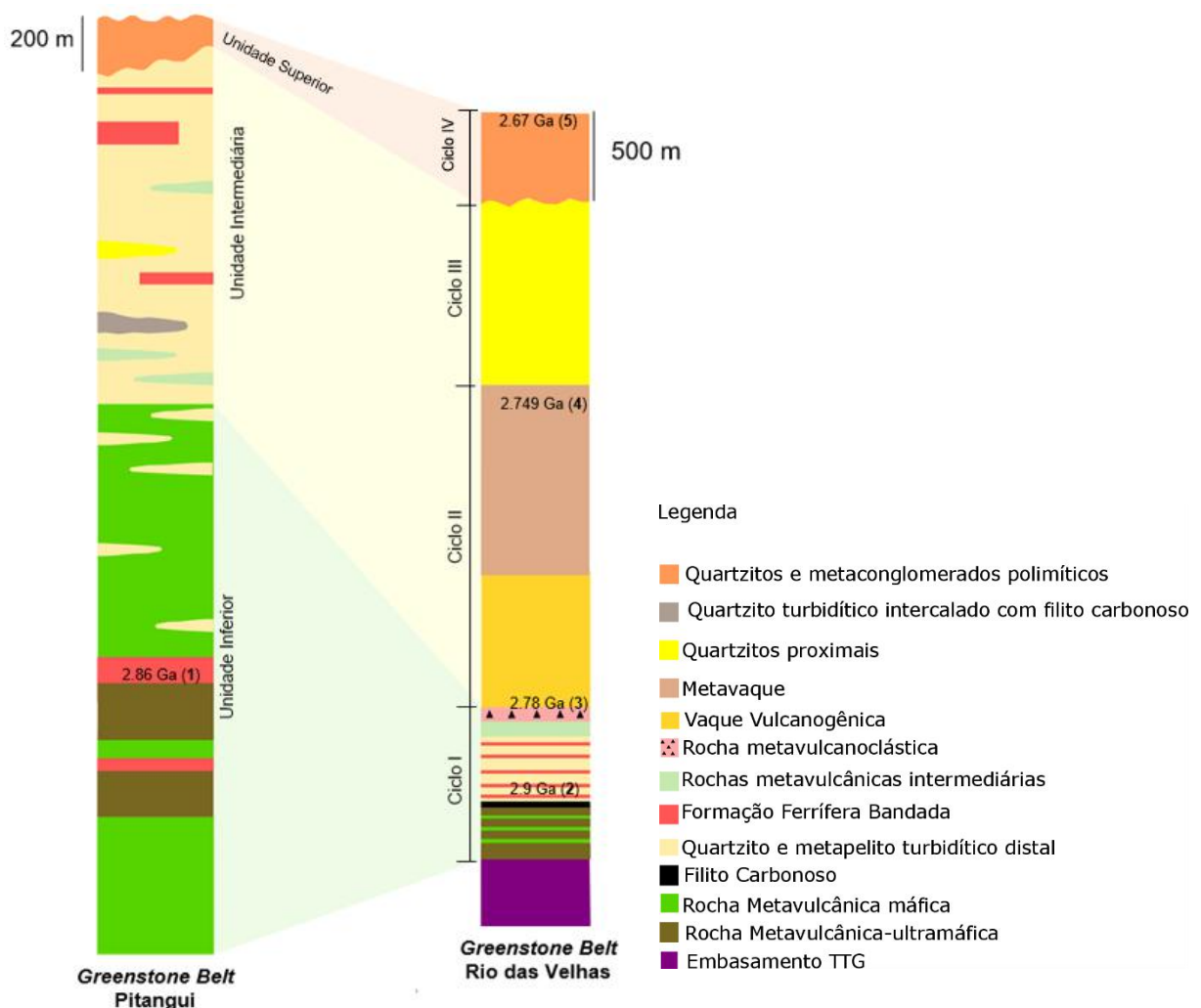


Figura 6 - Correlações litoestratigráficas e cronoestratigráficas entre os *Greenstone Belts* Pitangui e Rio das Velhas. Estratigrafia do Rio das Velhas de Baltazar e Zucchetti (2007) e Pitangui de Brando Soares *et al.* (2017). Fontes de idades isotópicas: 1 – Brando Soares *et al.* (2017), 2 - Machado e Carneiro (1992), Machado *et al.* (1996), 3 - Machado *et al.* (1992), Baltazar e Zucchetti (2007), 4 - Hartmann *et al.* (2006), 5 - Baltazar e Zucchetti (2007), Koglin *et al.* (2014).

2.2.1 Geologia estrutural

O *Greenstone Belt* Pitangui pode ser descrito como um sinclínio de trend NW onde se distinguem três eventos deformacionais (SRK consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014; Cabral e Corrêa Neto, 2016; Brando Soares *et al.*, 2017). A tabela 3, apresenta uma síntese destes eventos relacionados à configuração estrutural do *Greenstone Belt* Pitangui de acordo com Romano (2007); SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation (2014) e Brando Soares *et al.* (2017).

Para Romano (2007), a primeira fase (Dn) estaria relacionada à orogenia Rio das Velhas, e a segunda (Dn+1) ao Evento Transamazônico. O autor ainda caracteriza uma deformação tectônica distensiva ocasionada em decorrência ao evento Brasiliano, que provocou o basculamento (por gravidade) das camadas Neoproterozoicas que recobrem o *Greenstone Belt* Pitangui.

Segundo Brando Soares *et al.* (2017), ambos conjuntos (Dn, e Dn+1) podem ser correlacionados ao evento de deformação Arqueana (a Orogenia Rio das Velhas, entre 2,8 e 2,67 Ga), definido por Baltazar e Zucchetti (2007) para o *Greenstone Belt* Rio das Velhas mais a leste, sendo resultado de deformação progressiva.

2.2.2 Metamorfismo

Romano (2007), atribuiu para rochas do *Greenstone Belt* Pitangui dois tipos de metamorfismo: um de caráter regional isoquímico e, ao longo de zonas de cisalhamento, hidrotermalismo. O metamorfismo regional teria alcançado fácies anfíbolito de médio a alto grau, seguido de retrometamorfismo com generalizada cloritização e saussuritização.

Para Brando Soares *et al.* (2017) e Santos (2017), as paragêneses minerais metamórficas são características de fácies xisto-verde alto (clorita, talco, biotita, actinolita e sericita) gradando para fácies anfíbolito baixo onde há presença de grunerita-cummingtonita e hornblenda em menor volume, nas BIFs.

Tabela 3 - Interpretações para a evolução da configuração estrutural do *Greenstone Belt* Pitangui.

Romano (2007)		SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation (2014)		Brando Soares <i>et al.</i> (2017)	
Reativação Cenozóica	Falhas recentes que deslocam depósitos de superfície				
Tectônica Distensiva	Englobada no Evento Brasileiro (0,65 ~ 0,50 Ga), não afetou o <i>Greenstone Belt</i> Pitangui				
Dn+1 (dúctil-rúptil)	Generalizada foliação de transposição milonítica (Romano 1989) Sn+1 que retoma a foliação Sn anteriormente preservada nas dobras da fase Dn.	D3	Dobras abertas plungeoando para NE com associação a uma foliação S3 espaçada, axial planar e clivagem de crenulação.	Dn+2	Foliações Sn e S0 reorientadas em sentido N-S
		D2	Dobras abertas plungeoando para NW com mergulho moderado para NE em zonas de cisalhamento que desenvolveram uma clivagem de crenulação e uma foliação axial planar S2	Dn+1	Dobras plungeoantes (15°) para SW que se associam a foliação Sn+1 (axial planar e foliação cisalhante) com dobras assimétricas similares a Dn, cujo sentido de transporte também é registrado de NE para SW.
Dn (dúctil)	<p>Estruturas de direção NW-SE balizadas por falhas direcionais que configuram megasigmóides;</p> <p>Sem evidência de rampa frontal no jogo de falhas, não sendo cartografadas estruturas compressivas;</p>	D1	Dobras isoclinais plungeoando para NW e zonas de cisalhamento paralelas ao acamamento, originando a foliação S1 com <i>strike</i> NW subparalela ao acamamento	Dn	<p>Foliação tectônica (Sn) tangencial ao acamamento das camadas (S0);</p> <p>Dobras Dn isoclinais recumbentes (presente em zonas de cisalhamento) observadas em camadas de rochas metassedimentares intercaladas com rochas metavulcânicas maciças, indicadores cinemáticos apontam sentido tectônico de NE para SW;</p>

2.2.3 Mineralizações auríferas

As principais mineralizações de ouro no *Greenstone Belt* Pitangui são a Mina Turmalina (município de Conceição do Pará) da Jaguar Mining e o Depósito São Sebastião (Vila da Jaguará, distrito de Onça de Pitangui), propriedade da IAMGOLD Corporation. Ambos são interpretados como depósitos de ouro orogênico (SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation 2014; RPA Consultoria e Jaguar Mining Inc., 2017). Outras ocorrências auríferas menores estão registradas na localidade de Guardas (a noroeste de Pará de Minas), Onça de Pitangui e Pitangui (lineamento Onça-Penha). A maioria dessas ocorrências são aluvionares.

Na mina Turmalina o ouro é associado a sulfetos (principalmente pirita e arsenopirita) contidos em corpos tabulares hidrotermalmente alterados de BIFs, filitos carbonosos e biotita-xisto descontínuos tectonicamente, estirados (Romano 2007; RPA Consultoria e Jaguar Mining Inc., 2017). Para Velasquez (2011) o depósito se formou por fluidos mineralizados que foram gerados ou remobilizados sincronicamente a deformação decorrente da zona de cisalhamento Pitangui-Pará de Minas em 1,95 Ga onde o metamorfismo atingiu fácies anfíbolito. Para (da Silva, 2016), a mineralização seria arqueana, uma vez que é cortada por um granito de 2,65Ga, podendo ter acontecido uma remobilização no Paleoproterozoico.

O Depósito São Sebastião teve sua descoberta anunciada em 2014 (SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014; Cabral e Corrêa Neto, 2016). A mineralização ocorre hospedada nos dois mais expressivos pacotes de BIFs da Unidade Inferior do *Greenstone Belt* Pitangui, nomeados como Biquinho e Pimentão e o ouro está associado a sulfetos disseminados onde a principal fase mineral é a pirrotita. Também é interpretado como ouro orogênico, mais especificamente *replacement-style* (SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014 e Brando Soares *et al.*, 2017).

3 METODOLOGIA

Este estudo foi embasado por uma etapa de campo onde foram descritos testemunhos de furos de sondagem do alvo São Francisco. Durante essa etapa foram coletadas amostras para análises laboratoriais geoquímicas e petrográficas. A segunda etapa foi de escritório e laboratório, onde lâminas petrográficas foram descritas e os dados químicos e de descrição de testemunhos foram interpretados e correlacionados com a evolução geológica da região.

Os testemunhos de sondagem rotativa diamantada utilizados para este trabalho foram realizados pela empresa IAMGOLD, durante campanha de pesquisa mineral. Possuem diâmetros HQ (equivalente a 6,35 cm) e NQ (5,06 cm); os desvios dos furos foram levantados com o uso de ferramenta Reflex e os testemunhos orientados com a utilização de ferramenta Reflex ACT.

Foram descritos testemunhos de cinco furos (FSF002; FSF003; FSF005; FSF006; FSF007 – tab. 4, **fig. 7**), totalizando 1.524,92 metros ao longo de sete dias de campo. A descrição foi feita no galpão de testemunhos da IAMGOLD na Vila da Jaguará, Município de Onça de Pitangui. As correlações entre os testemunhos foram realizadas por meio dos logs e a partir delas, a estratigrafia do alvo foi compilada. Para as análises microscópicas, foram coletadas 17 amostras de rochas metavulcânicas e 4 amostras de rochas metavulcanoclásticas (anexo A).

Tabela 4 - furos de sondagem descritos

Furo	Coord. UTM X	Coord. UTM Y	Coord. UTM Z	Início da descrição (m)	Fim da descrição (m)	Total (m)
FSF002	538007.09	7821771.31	816.795	40.3	297.5	257.2
FS003	537441.583	7821044.015	916.773	48.9	399.7	350.8
FSF005	537356.03	7820726.19	960.079	70.2	394.85	324.65
FSF006	537899.3	7821050.39	893.97	88	401.35	313.35
FSF007	538394.63	7821700.52	871.562	122.85	401.77	278.92

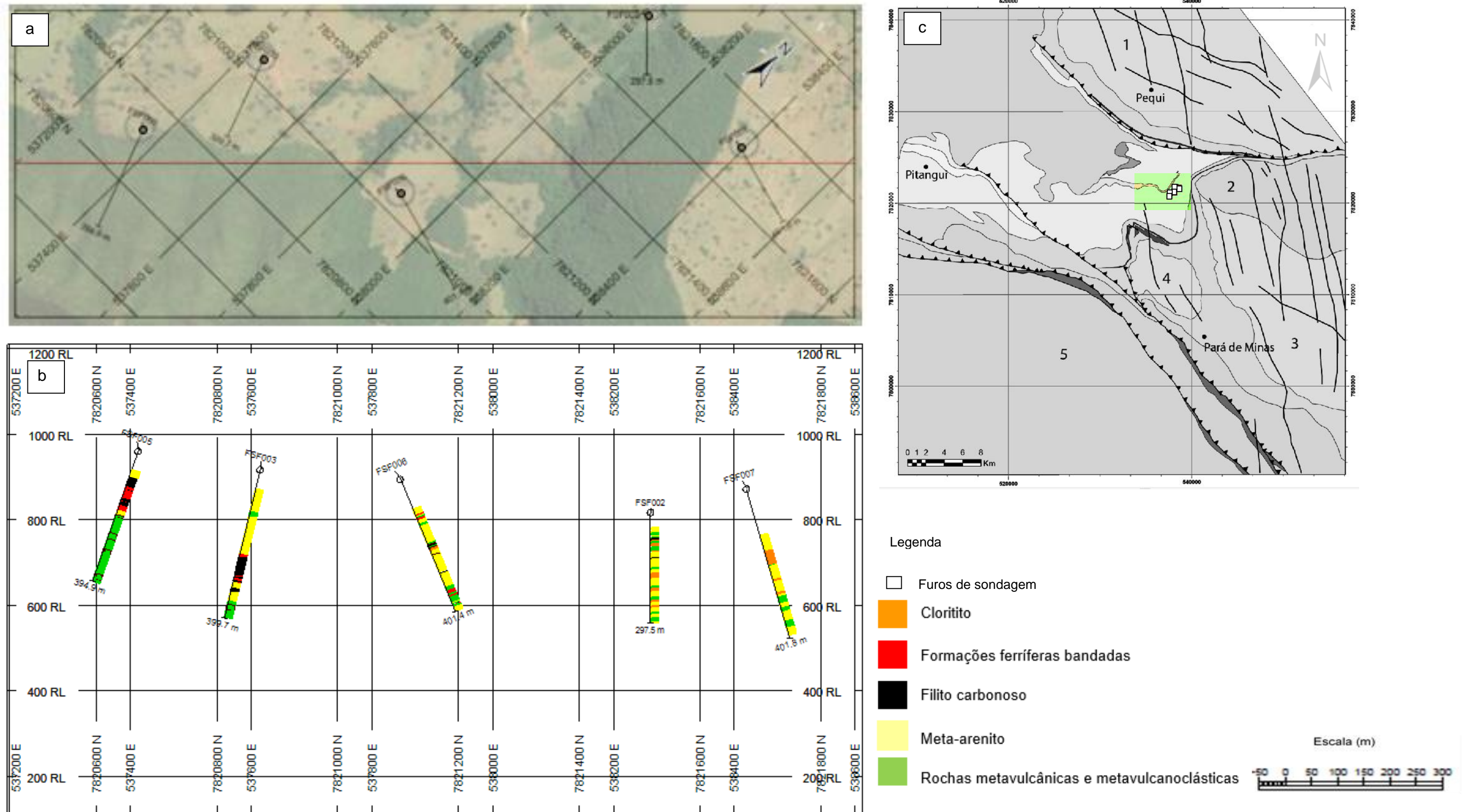


Figura 7 - a) Furos de sondagem descritos do alvo São Francisco (FSF002, FSF003, FSF005, FSF006 e FSF007) colocados em planta, sobre a base do Google Earth, último acesso em 25/08/2017; b) furos de sondagem rotativa diamantada sob subsuperfície, desenhados com o software Geosoft Target versão 9.1.; c) localização dos furos de sondagem sobre mapa geológico do *Greenstone Belt* Pitangui (Brando Soares *et al.*, 2017)

As amostras foram selecionadas em porções homogêneas de testemunhos de sondagem, sem alterações intempéricas e hidrotermais visíveis a olho nu, respeitando um tamanho mínimo equivalente a 15 cm de extensão vertical sob 2,5 cm de extensão lateral.

Depois de identificadas, essas amostras foram enviadas para confecção de lâminas delgadas no Laboratório de Laminação M3GL, na cidade de Mariana, Minas Gerais. As descrições de tais lâminas foram realizadas nos microscópios Carl Zeiss® Axioplan e Nikon® Eclipse E200, em luz transmitida e refletida, no laboratório de Petrologia Sedimentar (LAGESED) do Departamento de Geologia da UFRJ. Os valores referentes as composições modais das rochas foram definidos com base em análise semiquantitativa (anexo B), moda por visada. As abreviações minerais foram feitas segundo recomendações da USGS (Siivola & Schmid, 2007) encontra-se no anexo C.

Foram realizadas 10 análises químicas de rocha total (elementos maiores, menores e ETR+Y) em rochas metavulcânicas (anexo E). Assim como as amostras recolhidas para petrografia, estas também foram coletadas em porções homogêneas de testemunhos de sondagem e sem alterações intempéricas visíveis, respeitando um tamanho mínimo equivalente a 15 cm de extensão vertical sob 2,5 cm de extensão lateral (cerca de 30 gramas por unidade). No processo de seleção foi adotado o cuidado a respeito do equilíbrio granulométrico, quando necessário, para não concentrar as análises em fenocristais e deixar de considerar a matriz.

Estas amostras foram enviadas para o laboratório ALS, e submetidas às análises ICPME para quantificar os elementos maiores e às análises ICPMS para elementos traço e ETR+Y. Maiores detalhes sobre os métodos de análise podem ser encontrados em alsglobal.com/services (código da análise: ME-XRF26). O anexo E, apresenta uma lista referente ao local de retirada, profundidade e tipologia das amostras estudadas. Os dados foram trabalhados com a utilização do Microsoft Office Excel e do GCDkit (GeoChemical Data ToolKIT versão 4.1; Janousek, *et al.*, 2006). Todos os dados foram recalculados em basa anidra. Gráficos utilizando elementos imóveis foram escolhidos de modo a minimizar eventuais problemas causados por hidrotermalismo e metamorfismo, que alteram a assinatura geoquímica original da rocha.

4 RESULTADOS

4.1 Descrição macro e microscópica das rochas

(a) Rochas metavulcânicas intermediárias

As rochas metavulcânicas intermediárias ocorrem ao longo de todo pacote descrito. Em partes sem deformação tectônica pronunciada, predominam texturas afaníticas com cristais de tamanho entre 25 e 30 μ m (**fig. 8A**). Em alguns intervalos faneríticos finos com cristais de até 0,2 mm de tamanho (**fig. 8B**) e porfíricos (**fig. 8C**) com cristais de tamanho acima de 0,2 mm, foi possível reconhecer quartzo e feldspato ocorrendo sobre uma matriz afanítica esverdeada. As rochas intercalam entre afaníticas e faneríticas finas e em alguns intervalos podem estar associadas a brechas incipientes (**fig. 8D**).

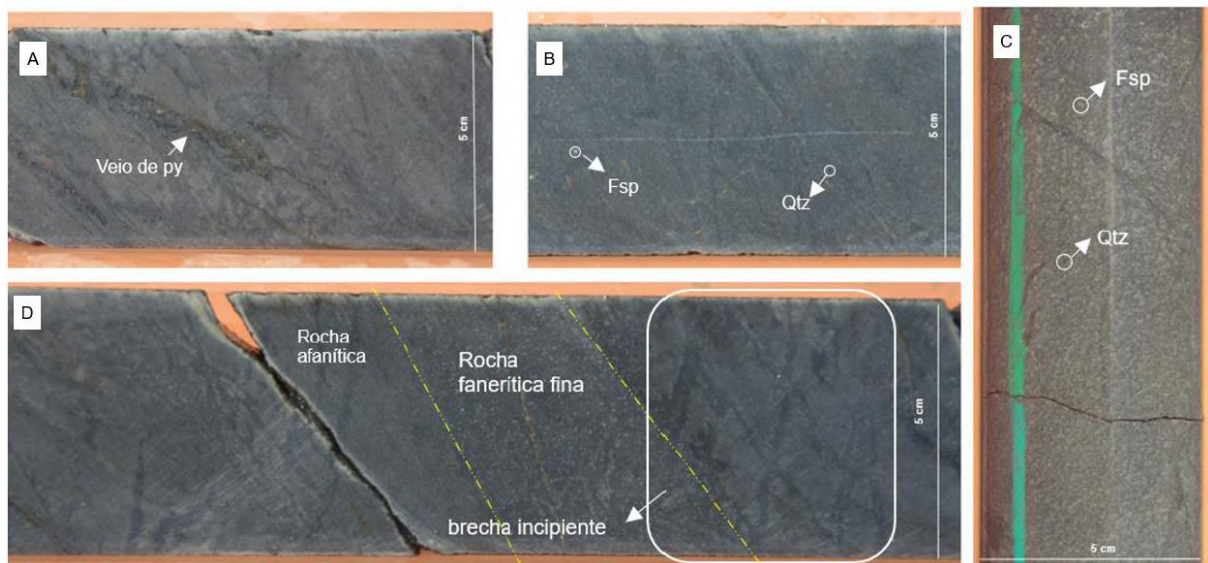


Figura 8 - Fotografias de testemunhos de sondagem (A) rocha metavulcânica intermediária afanítica com veio de pirita (FSF005 – 225m) (B) rocha metavulcânica intermediária fanerítica fina (FSF005 – 200m); (C) rocha metavulcânica porfírica (FSF005 – 365m); (D) rocha metavulcânica afanítica com intercalações de rocha metavulcânica fanerítica fina (FSF005 - 212m). A linha verde em c marca a parte inferior do testemunho de sondagem. Lista de abreviações minerais no anexo 3.

O estudo microscópico dessas rochas, revelou que são compostas essencialmente por tremolita, plagioclásio e quartzo (**figs. 9 e 10**). Os minerais acessórios (**figs. 11 a 13**) observados são biotita, epidoto e clinsoizita, carbonato,

cloritóide, titanita, muscovita e minerais opacos (magnetita, pirrotita, calcopirita e pirita). Os pórfiros, quando existem, são formados por plagioclásio. Adicionalmente podem ser observadas texturas que se assemelham a esferulitos (**fig. 14**), característica de devitrificação. Intercrescimento granofírico resultante de intercrescimento entre quartzo e plagioclásio também foi reconhecido.

Os cristais de plagioclásio, quartzo, biotita, titanita e magnetita são os minerais primários ígneos relictos. Durante o metamorfismo ocorre a recristalização de quartzo, o plagioclásio se altera para carbonato, crescem epidoto, clinosoizita e tremolita, magnetita e cloritóide. Apesar das amostras terem sido selecionadas em zonas sem indícios de alterações hidrotermais profundas, alguns microvênulos oriundos de fases de fluxos hidrotermais tardios foram observados. São compostos quartzo, carbonato e cloritóide (**fig. 12A**), magnetita, pirrotita (**fig. 12B**), clorita (**fig. 11A**) e pirita. A tabela 5 sintetiza a ordem de cristalização interpretada.

Tabela 5 - Ordem de cristalização dos minerais das rochas meta-máficas intermediárias.

Ordem de cristalização	Pré metamorfismo	Metamórfico	Hidrotermais
Quartzo	x	x	x
Plagioclásio	x		
Titanita	x		
Magnetita	x	x	
Biotita		x	
Tremolita		x	
Epidoto		x	
Clinozoisita		x	
Sericita		x	
Carbonato		x	x
Cloritóide		x	x
Clorita			x
Pirrotita			x
Arsenopirita			x
Pirita			x

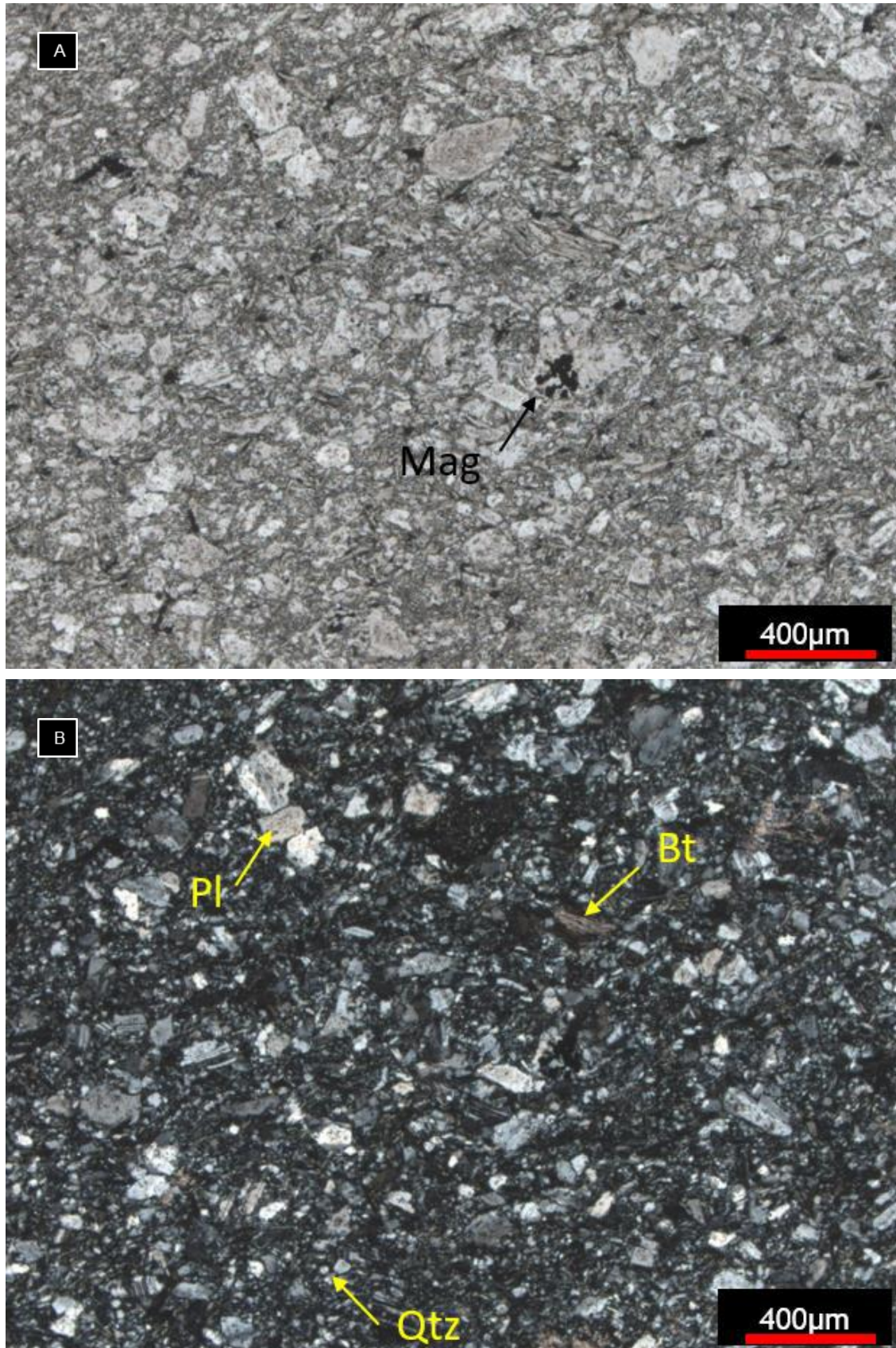


Figura 9 - Fotomicrografias de rocha metavulcânica intermediária do alvo São Francisco obtidas com luz transmitida sob nicóis descruzados (A) e cruzados (B). FSF003 – 122,16m: rocha ígnea fanerítica fina composta por plagioclásio, biotita e quartzo microcristalino associado a plagioclásio na matriz. Lista de abreviações minerais no anexo C.

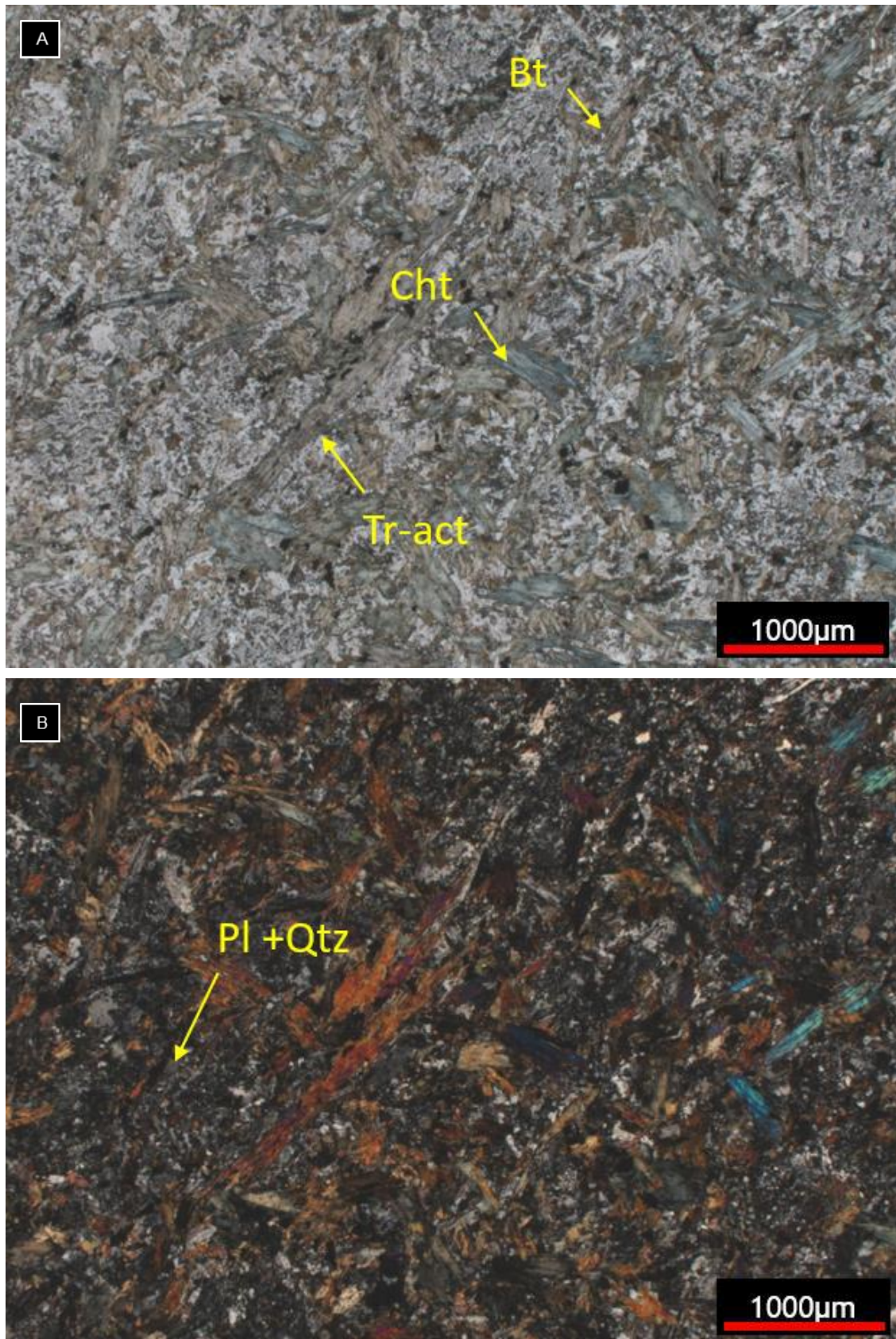


Figura 10 - Fotomicrografias de rocha metavulcânica intermediária do alvo São Francisco obtidas com luz transmitida sob nicóis descruzados (A) e cruzados (B). FSF005 – 361,17m: rocha fanerítica fina mostrando tremolita – quartzo - xisto sob nicóis descruzados e cruzados, respectivamente, onde biotita é acessório e se alteram para clorita. Lista de abreviações minerais no anexo C.

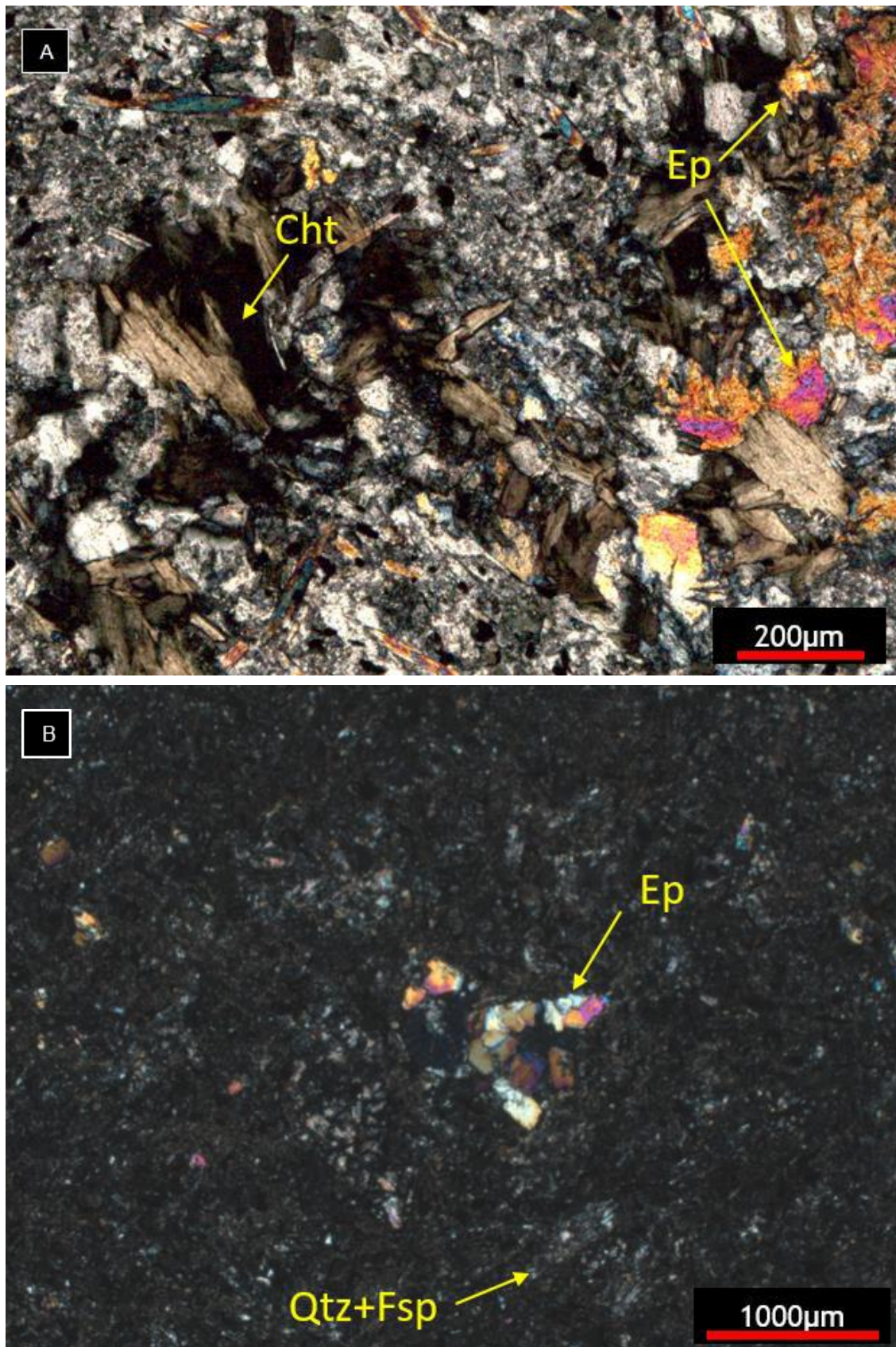


Figura 11 - Fotomicrografias de rochas metavulcânicas intermediárias do alvo São Francisco obtidas com luz transmitida sob nicóis cruzados. A) FSF003 – 336,38m: rocha porfirítica de granulação média composta por clorita em veio com epidoto) associado. B) FSF006 – 116,85m epidoto em rocha afanítica porfirítica, produto de alteração de plagioclásio. Lista de abreviações minerais no anexo C.

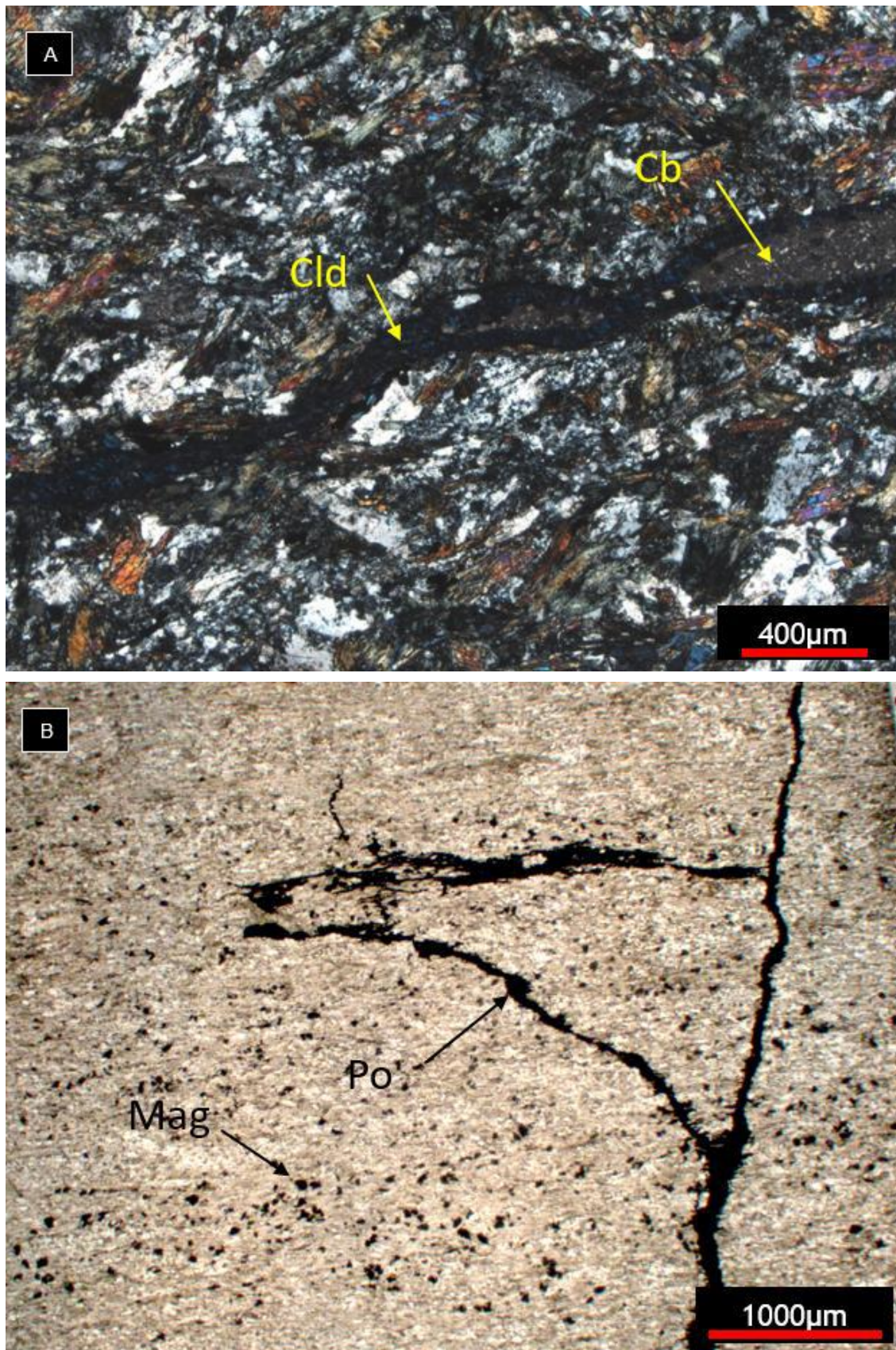


Figura 12 - Fotomicrografias de rochas metavulcânicas intermediárias do alvo São Francisco obtidas com luz transmitida sob nicóis cruzados (A) e descruzados (B). A) FSF006 – 207,44m rocha metaígneia de granulção fina - tremolita alinhada de acordo com a foliação Sn e cloritóide associado a veio de carbonato. B) FSF005 –199,13m rocha afanítica com minerais opacos - pirrotita em veio e magnetita disseminada. Lista de abreviações minerais no anexo C.

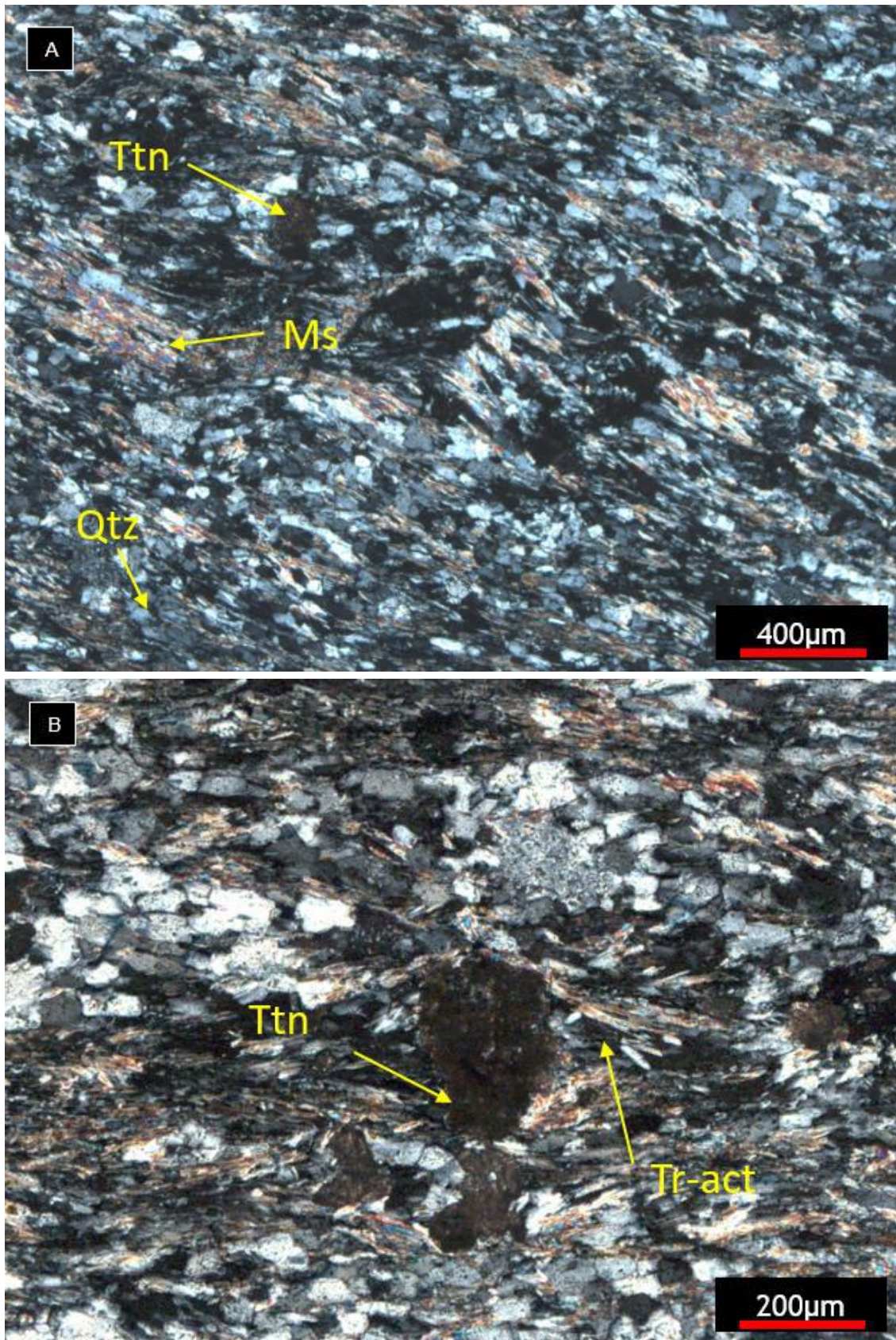


Figura 13 - Fotomicrografias de rochas metavulcânicas intermediárias do alvo São Francisco obtidas com luz transmitida sob nicóis cruzados. A) FSF005 – 199,13m muscovita-quartzo-xisto. B) FSF005 – 390m titanita defletindo cristais de tremolita em rocha fanerítica média. Lista de abreviações minerais no anexo C.

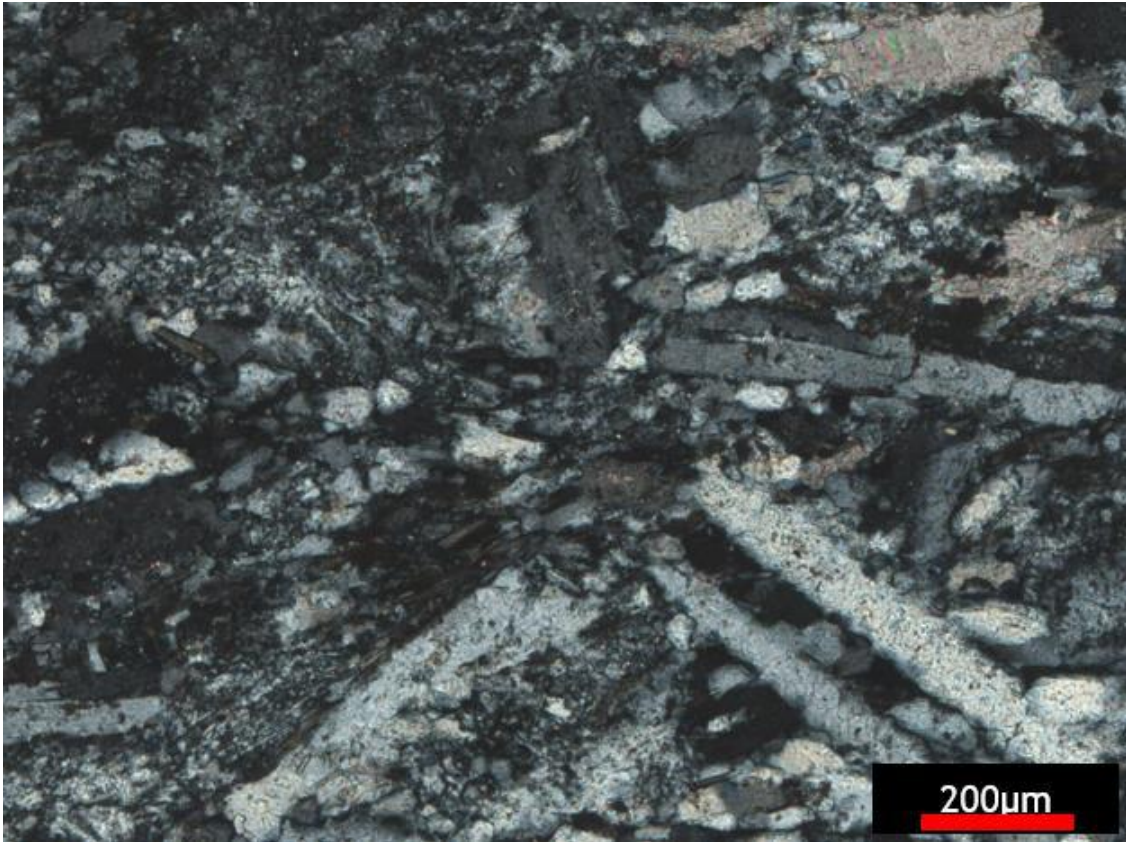


Figura 14 – Fotomicrografia de rocha metavulcânica intermediária do alvo São Francisco obtida com luz transmitida sob nicóis cruzados. FSF005 – 262m. Crescimento radial de plagioclásio configurando textura esferulítica, característica de devitrificação.

A Tabela 6 apresenta uma síntese da composição modal média percentual das rochas metavulcânicas intermediárias do alvo São Francisco.

Tabela 6 - Composição modal média das rochas metavulcânicas intermediárias

Mineral	Porcentagem	Mineral	Porcentagem
Tremolita	32	Cloritóide	2
Plagioclásio	24	Clinozoisita	1.5
Quartzo	19	Titanita	1
Biotita	8	Muscovita	1
Epidoto	6	Clorita	1
Carbonato e Sericita	3.5	Opacos	1

(b) Rochas metavulcanoclásticas

As rochas metavulcanoclásticas do alvo São Francisco se associam às rochas metavulcânicas intermediárias anteriormente descritas. Sua ocorrência em meio a rochas metassedimentares também foi constatada. Nesse caso, no entanto, ocorrem em camadas menos espessas do que as registradas em associações com rochas metavulcânicas. São registradas com frequência no topo de fluxos de lava e em exame micro e macroscópico é possível identificar texturas circulares (fig. 15).

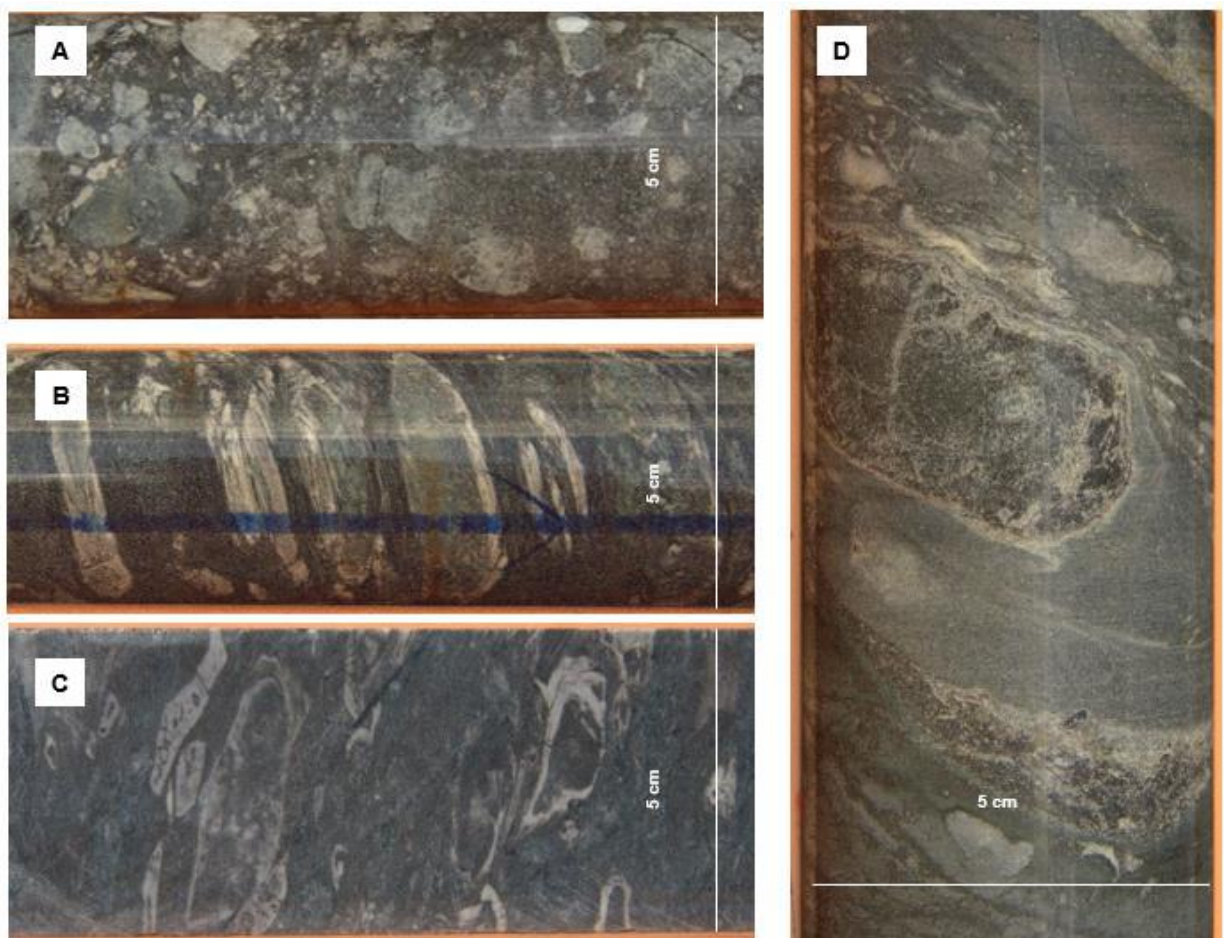


Figura 15 - Fotografias de testemunhos de sondagem mostrando rochas metavulcanoclásticas do alvo São Francisco. Clastos líticos (rochas metavulcânicas) arredondados à angulosos em meio à uma matriz fina que, macroscopicamente, confere à rocha aspecto similar a hialoclastitos. (A) Furo 005 – 248m; (B) Furo 005 – 299m; (C) Furo 006 – 210m; (D) Furo 005 – 374m. A linha azul em b marca a parte inferior do testemunho de sondagem, a seta apontando para o final do furo.

Em análises microscópicas foram reconhecidos cristais de quartzo, feldspato e biotita como minerais primários e epidoto, clinosoizita, tremolita, carbonato e opacos como minerais secundários. A tabela 7 mostra a composição média destas rochas.

Tabela 7 - Composição modal média das rochas metavulcanoclásticas

Mineral	Porcentagem	Mineral	Porcentagem
Quartzo	52	Tremolita	8
Feldspato	16	Carbonato e Sericita	2
Biotita	11	Clinozoisita	1
Epidoto	9	Opacos	1

Como pode ser observado nas **figs. 16, 17 e 18**, a rocha apresenta clastos de biotita que circundam a matriz composta por aglomerados muito finos (<0,2 mm) de quartzo e feldspato. O feldspato se altera para sericita e carbonato formando porções esbranquiçadas de fácil distinção nas amostras.

As amostras apresentadas nas **figs. 18 e 19** possuem um arcabouço composto por cristais finos (~0,2 mm) e médios (0,2 a 1mm) de quartzo e biotita sobre uma matriz com microcristais de quartzo e feldspato. Os cristais de quartzo apresentam grandes variações de tamanho, podem atingir granulação grossa (entre 1 e 10mm) e possuem extinção ondulante frequente. A biotita continua ocorrendo somente fora dos aglomerados de quartzo e feldspato, não sendo observada na matriz.

Algumas amostras possuem grande quantidade de epidoto em consequência da alteração do feldspato (**figs. 20 e 21**). A **fig. 21** registra amígdala reliquiar preenchida por quartzo. Existem porções menos e outras mais feldspáticas, e a biotita (na maioria das vezes alterada para clorita), se concentra nos limites dos fragmentos líticos. Esses fragmentos líticos se assemelham às rochas metavulcânicas anteriormente descritas.

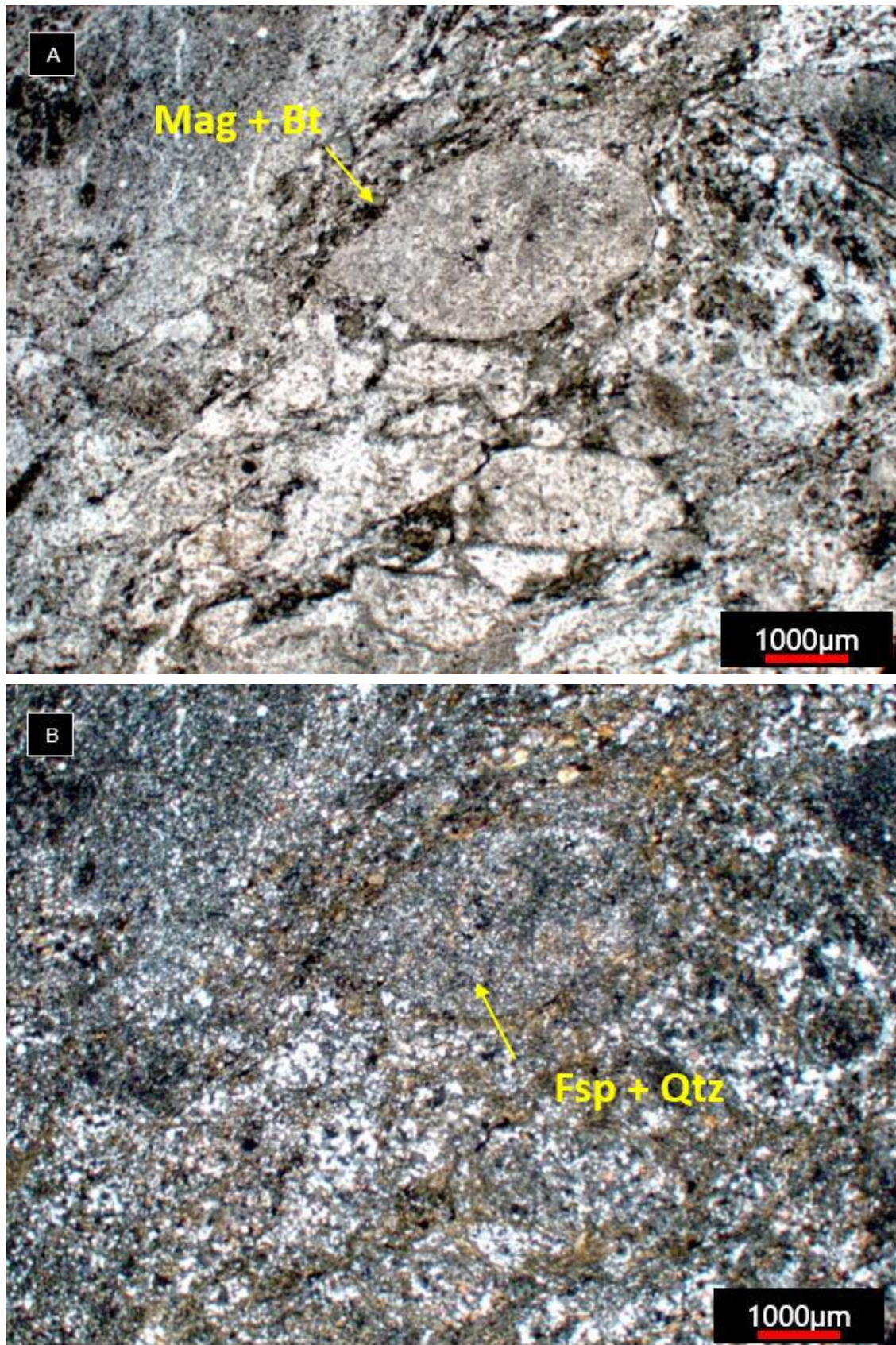


Figura 16 - Fotomicrografias de rocha metavulcanoclástica do alvo São Francisco obtidas com luz transmitida sob nicóis descruzados (A) e cruzados (B). FSF003 – 363.27m. A imagem mostra o aspecto brechado destas amostras. Fragmentos líticos formados por quartzo e feldspato são delimitados por cristais de biotita e clorita. Lista de abreviações minerais no anexo C.

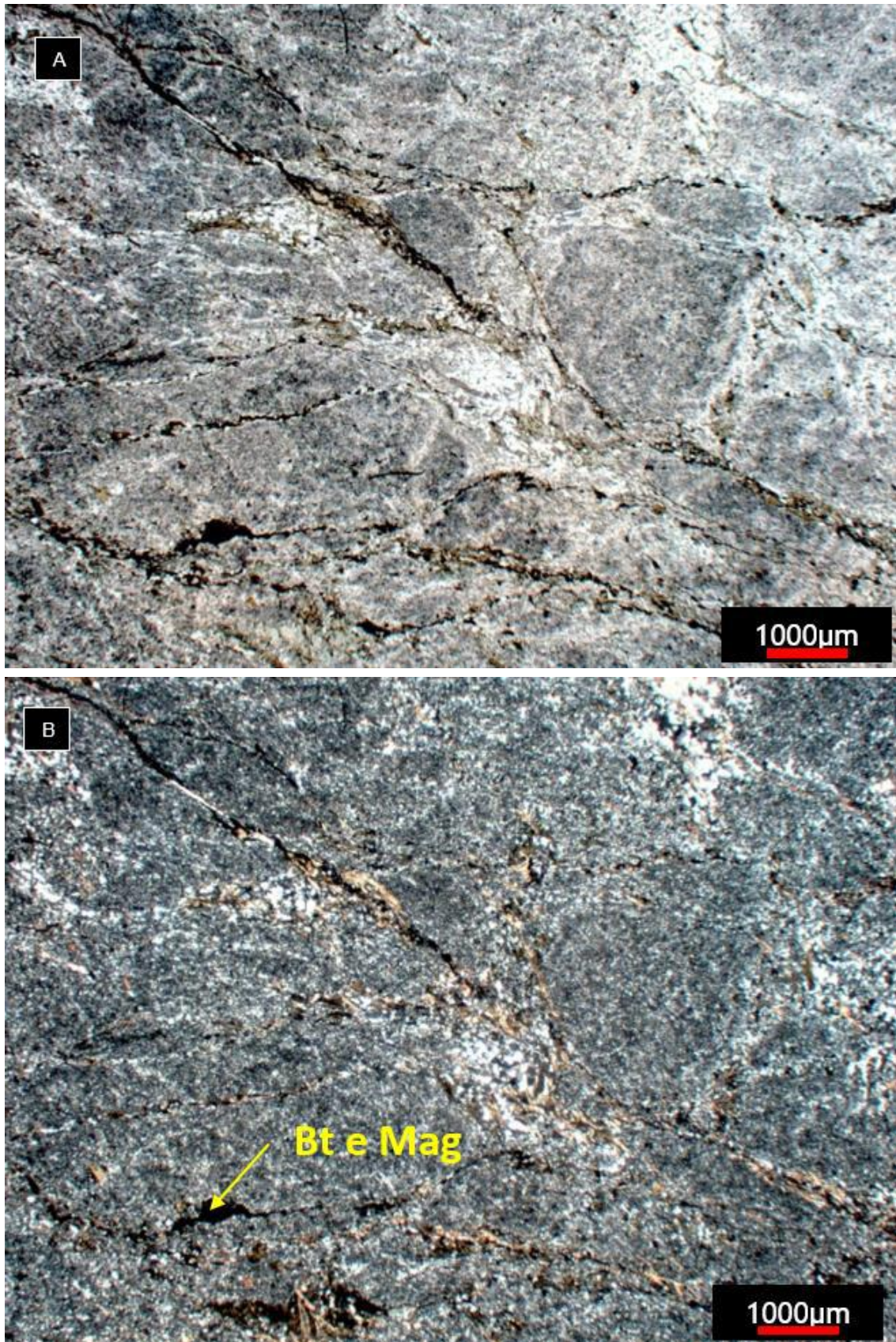


Figura 17 - Fotomicrografias de rocha metavulcanoclástica do alvo São Francisco obtidas com luz transmitida sob nicóis descruzados (A) e cruzados (B). FSF005 – 356,59m. A imagem mostra o aspecto brechado destas amostras. Fragmentos líticos formados por quartzo e feldspato são delimitados por cristais de biotita e clorita. Lista de abreviações minerais no anexo C.

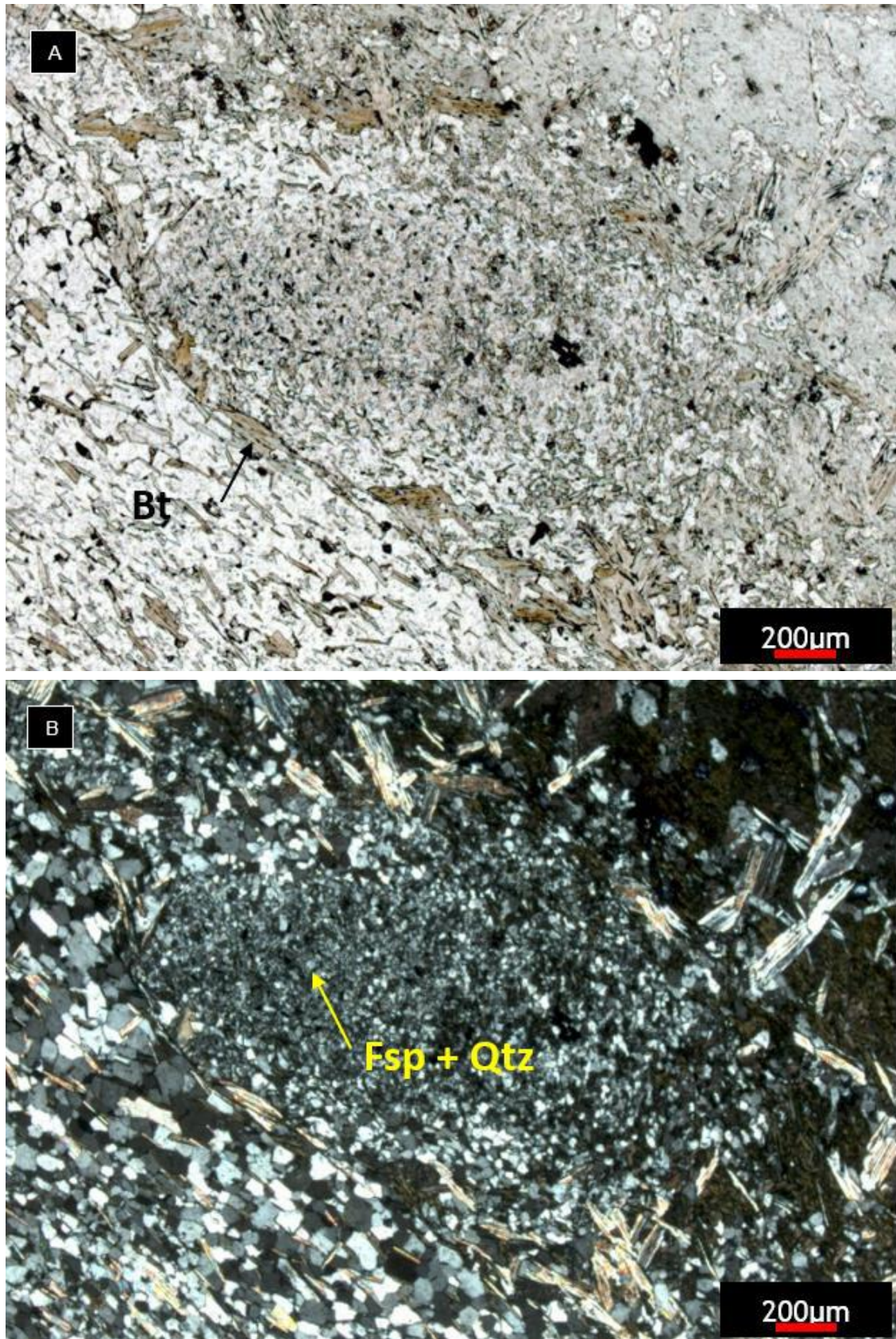


Figura 18 - Fotomicrografias de rocha metavulcanoclástica do alvo São Francisco obtidas com luz transmitida sob nicóis descruzados (A) e cruzados (B). FSF005 – 372,20m. A imagem mostra o aspecto brechado destas amostras. Fragmentos líticos formados por quartzo e feldspato são delimitados por cristais de biotita e clorita. Lista de abreviações minerais no anexo C.

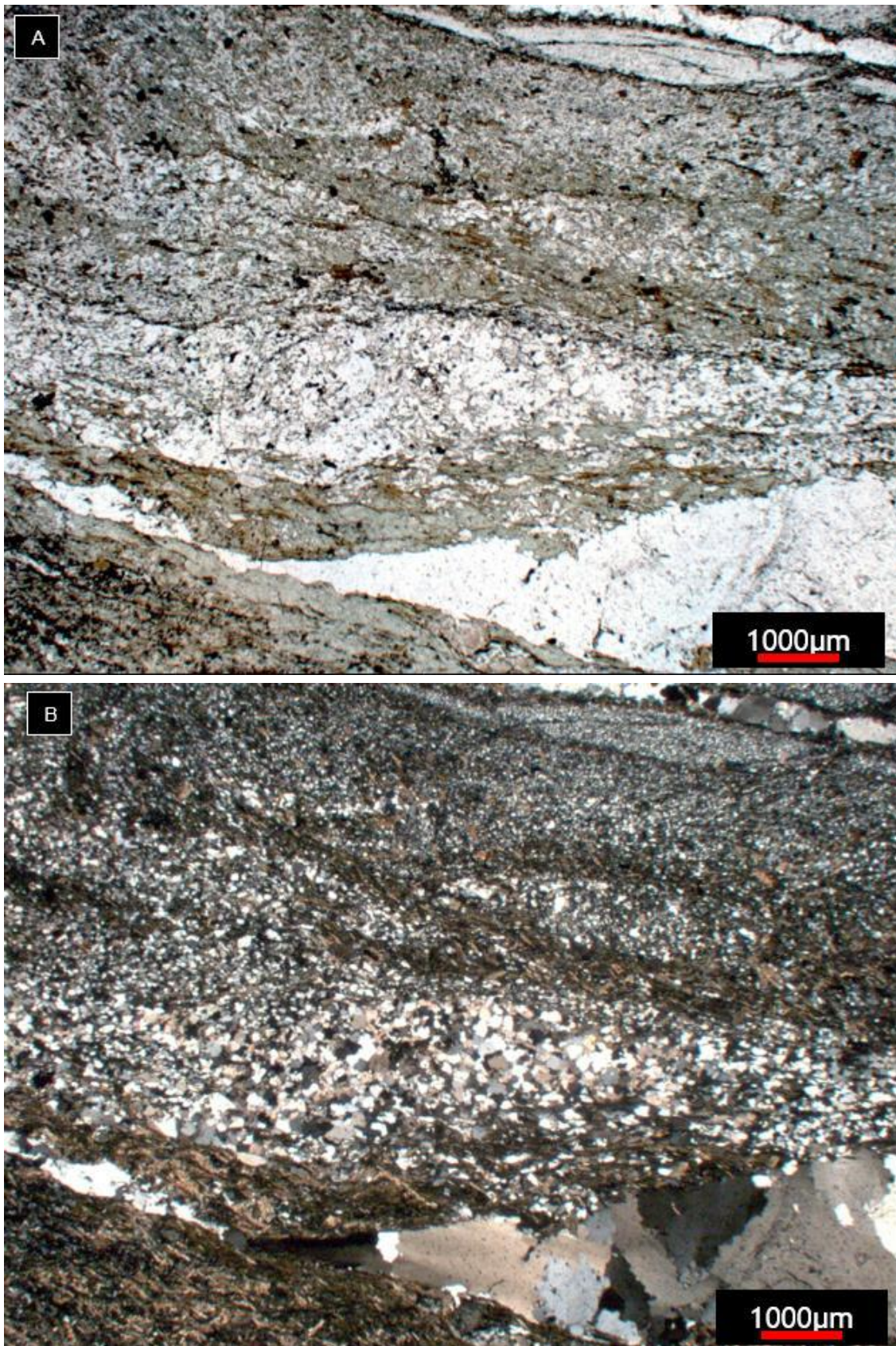


Figura 19 - Fotomicrografias de rocha metavulcanoclástica do alvo São Francisco obtidas com luz transmitida sob nicóis descruzados (A) e cruzados (B). FSF005 – 372,20m. A imagem mostra o aspecto brechado destas amostras. Fragmentos líticos formados por quartzo e feldspato são delimitados por cristais de biotita e clorita.

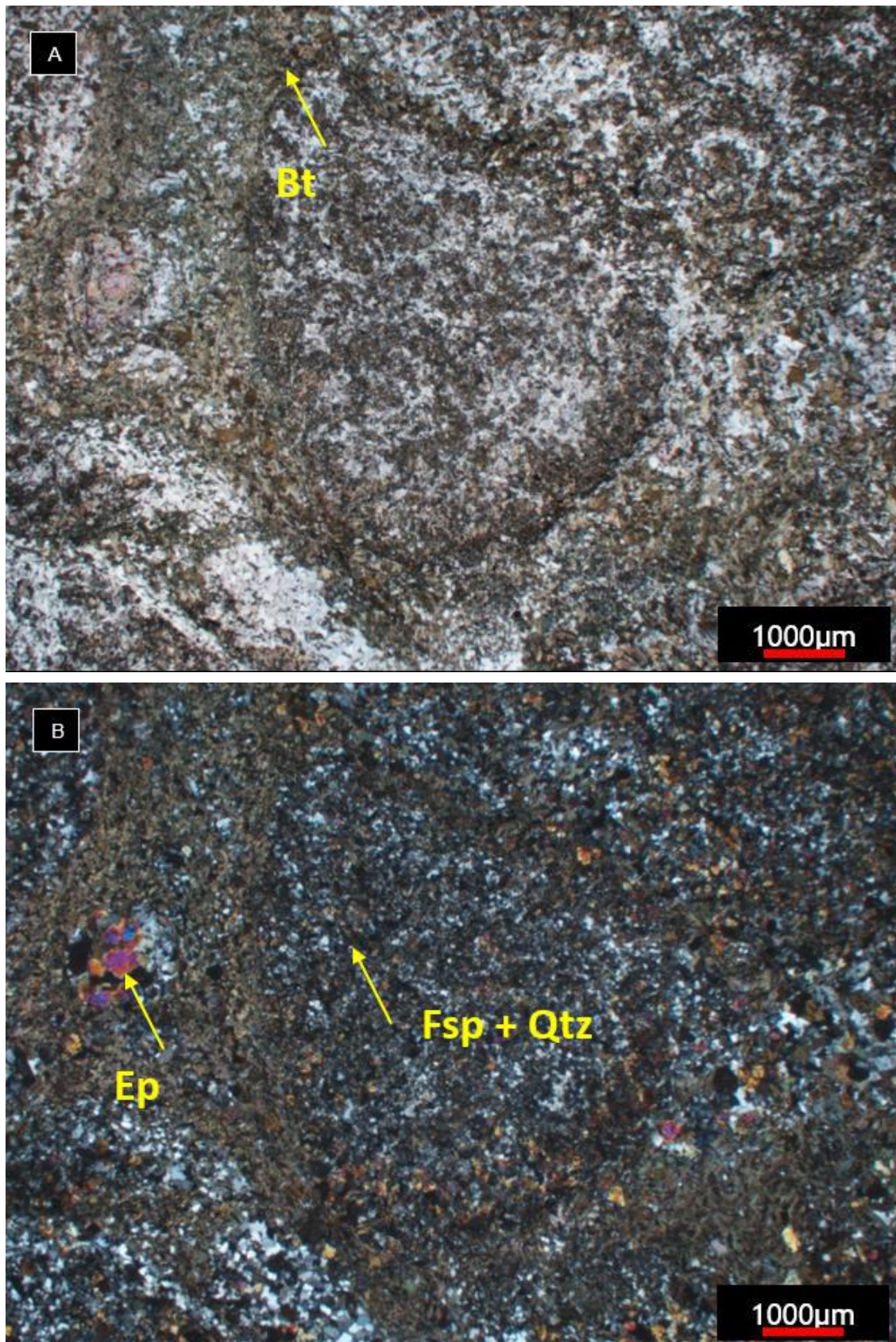


Figura 20 - Fotomicrografias de exemplos de aglomerados de epidotos e quartzo recristalizados, que conferem a morfologia arredondada disposta em fragmentos líticos em algumas amostras desta rocha metavulcanoclástica. FSF005 – 372,20m. Os aglomerados de epidoto são delimitados por clorita, produto de alteração da biotita. Imagens obtidas com luz transmitida sob nicóis descruzados (A) e cruzados (B). Lista de abreviações minerais no anexo C.



Figura 21 - Fotomicrografias de exemplos de aglomerados de epidotos e quartzo recristalizados, que conferem a morfologia arredondada disposta em fragmentos líticos em algumas amostras desta rocha metavulcanoclástica. FSF005 – 372,20m. Amídala de quartzo sob matriz rica em epidoto.

(c) Cloritito

Os clorititos são rochas de cor verde, compostas essencialmente por clorita (95%) cuja granulometria varia em cristais finos (~0,2mm) e médios (0,2 a 1mm- **fig. 22A**). Essas rochas se intercalam à filitos carbonosos e podem formar pequenas lentes em formações ferríferas bandadas (**fig. 22B**). Em dois intervalos descritos no furo FSF006 (entre 339,08 e 349,73m; 353,55 e 356,89m), os clorititos são observados com intercalações de BIFs e cristais de granada alterados (**fig. 22C**). Veios de quartzo e carbonato podem aparecer.

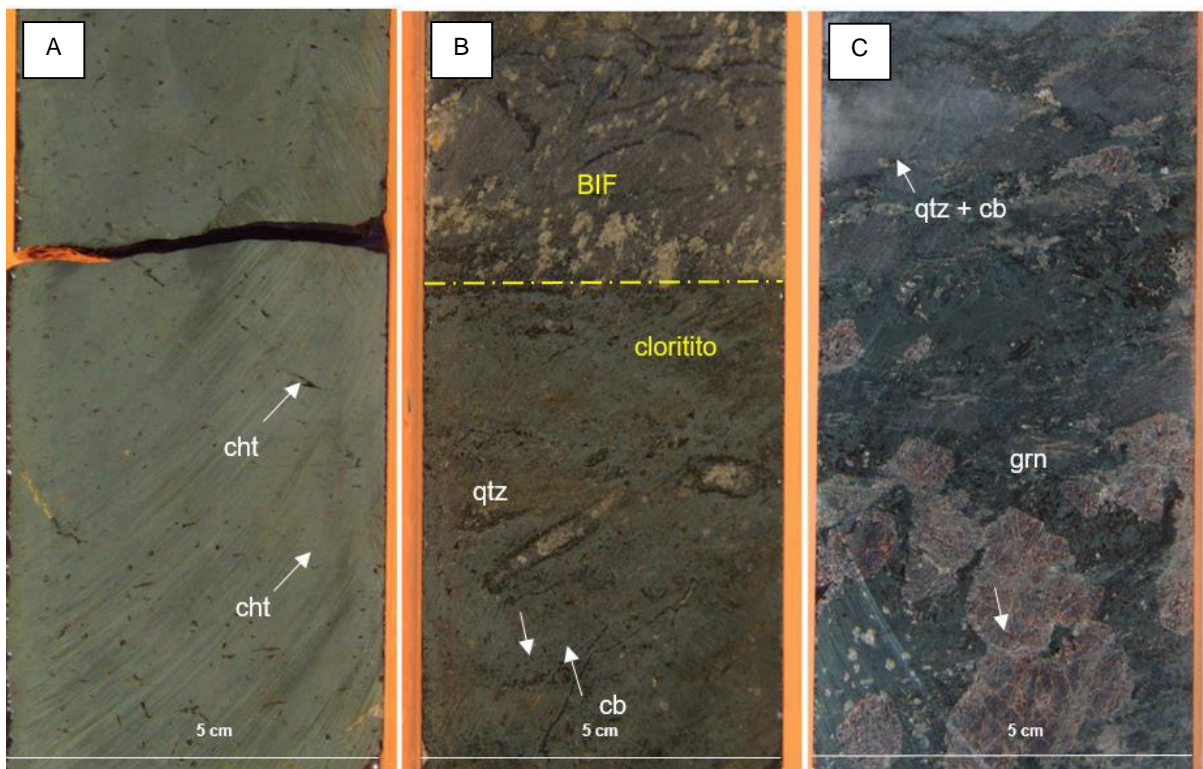


Figura 22 - Fotografias de testemunhos de sondagem mostrando (A) cloritito com cristais de clorita faneríticos e afaníticos (FSF006 – 197m); (B) cloritito em contato com BIFs e veios de quartzo carbonatados associados (FSF005 - 165m); (c) contato e intercalação entre BIF e cloritito com cristais de granada aparentes (FSF006 - 342m). Lista de abreviações minerais no anexo C.

(d) Rochas metassedimentares pelíticas

Os filitos foram reconhecidos pela tonalidade negra que reflete o alto conteúdo de carbono em sua composição. São frequentemente observados próximos aos clorititos, e em determinados intervalos há gradação com clorititos na base e filitos carbonosos no topo. Estas rochas podem apresentar veios de carbonato e quartzo subordinados.

(e) Rochas metassedimentares clásticas

Essas rochas variam entre mica-quartzo-xisto, quartzo-xistos e metavaques (**fig. 23**) e aumentam de volume à medida que se aproxima do topo do alvo São Francisco. As camadas atingem um total de 190 metros contínuos.

Sua diferenciação em meio as rochas metavulcânicas afaníticas e metavulcanoclásticas finas (<0,2mm) foi possível pela presença de uma estratificação formada por bandamento composicional bastante incipiente marcada por níveis mais quartzosos e levemente mais siltosos. Em alguns intervalos, são encontradas em contato com BIFs (**fig. 23C**). As metavaques são constituídas predominantemente por quartzo (é característica a presença de clastos de quartzo de cor azulada na fração areia grossa ou grânulo), plagioclásio, biotita, muscovita, carbonato e, como acessório, sulfetos disseminados.

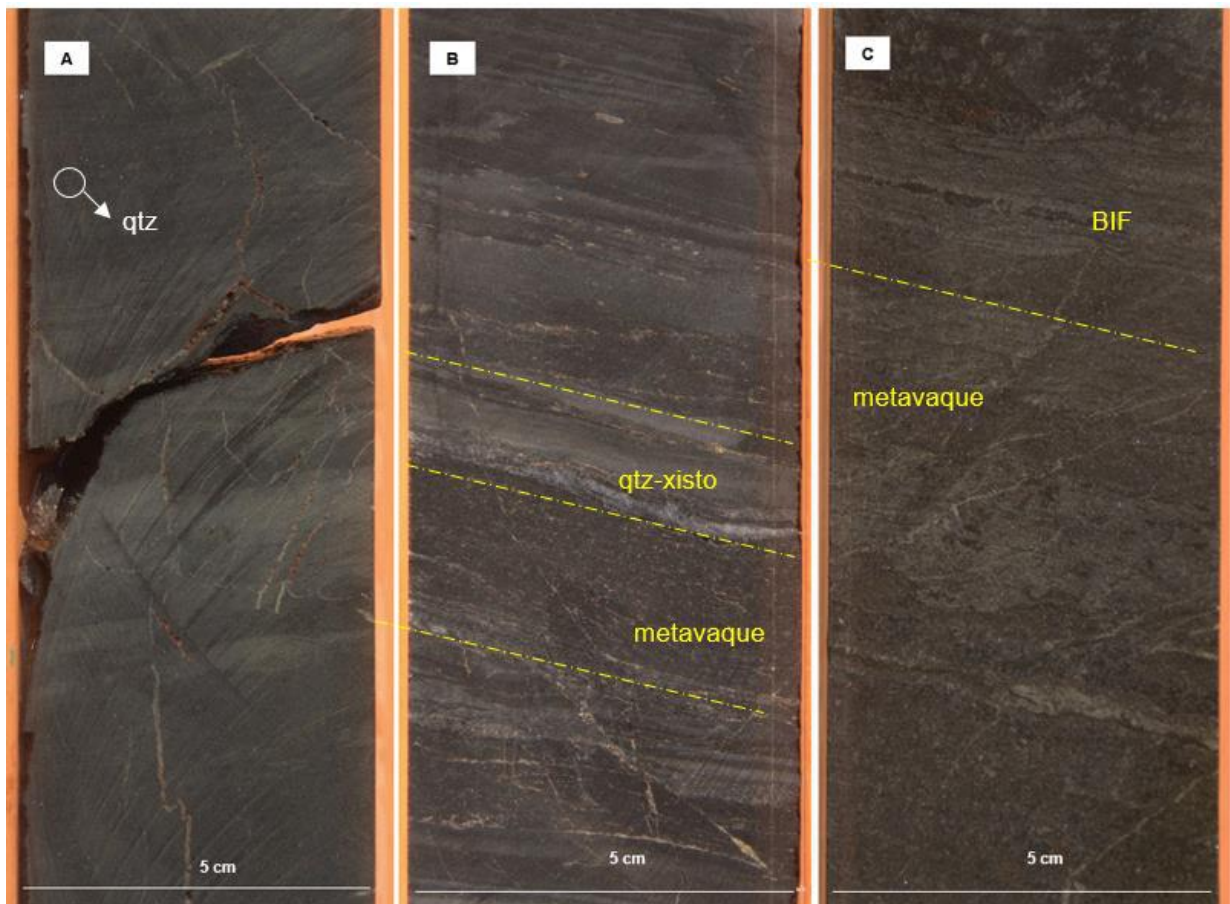


Figura 23 - Fotografias de testemunhos de sondagem mostrando (a) quartzo-xisto falhado muito fino com estratificação incipiente (Furo FSF005 - 145m); (b) lentes de quartzo-xisto em metavaques (FSF006 - 145m); (C) metavaque em contato com BIFs (F006 - 140m). Lista de abreviações no anexo C.

(c) Rochas metassedimentares químicas

São representadas por formações ferríferas bandadas (**fig. 24**), rochas caracterizadas pela nítida ritimicidade dos estratos provocada pela intercalação de lâminas compostas por quartzo, carbonatos e silicatos e outras bandas compostas majoritariamente por magnetita. São mais comuns na parte mais basal do alvo São Francisco. As bandas compostas por magnetita podem também possuir pirrotita e arsenopirita. Nos intervalos mais superiores, as formações ferríferas bandadas podem possuir intercalações de clorititos com granada, como mostrado na **fig. 22C**.



Figura 24 - Fotografias de testemunhos de sondagem mostrando formações ferríferas bandadas do alvo São Francisco. (A) BIF pouco sulfetado com veios de carbonato associados (Furo FSF005 - 162m; (B) BIF em associação com filito carbonoso rico em clorita e granada alterada (Furo FSF006 – 349m).

4.2 Estratigrafia do alvo São Francisco

4.2.1 Correlação dos testemunhos de sondagem

A estratigrafia do alvo São Francisco foi dividida em dois conjuntos de associações litológicas principais: um conjunto basal dominado por rochas vulcânicas e um de topo onde prevalecem rochas metassedimentares. As correlações foram realizadas entre os furos FSF003 e FSF005 (**fig. 25**) e também nos furos FSF002 e FSF007 (**fig. 26**). O furo FSF006 de controle (**fig. 27**) não foi correlacionado a nenhum outro. A coluna estratigráfica do alvo São Francisco possui aproximadamente 730 metros de espessura.

4.2.2 Coluna estratigráfica sintética

A **fig. 28** mostra a coluna estratigráfica proposta para o alvo São Francisco. O conjunto (A), basal, é composto majoritariamente por rochas metavulcânicas intermediárias onde se intercalam rochas metassedimentares químicas (BIFs) e clásticas pelíticas além de rochas metavulcanoclásticas e rochas metassedimentares clásticas psamíticas em menores proporções. Esse conjunto foi subdividido em 5 intervalos.

O conjunto (B), composto essencialmente por rochas metassedimentares clásticas, foi subdividido em seis intervalos onde se intercalam rochas metavulcânicas, rochas metassedimentares químicas (BIFs) e clásticas (psamíticas e pelíticas) e metavulcanoclásticas (estas em menor volume se comparado ao conjunto A).

Conjunto A

O intervalo I possui uma espessura total aproximada de 60 metros. Os pacotes de rochas metavulcanoclásticas possuem espessuras que variam de 4 a 15 metros e os de rochas metavulcânicas intermediárias variam de 14 a 28 metros.

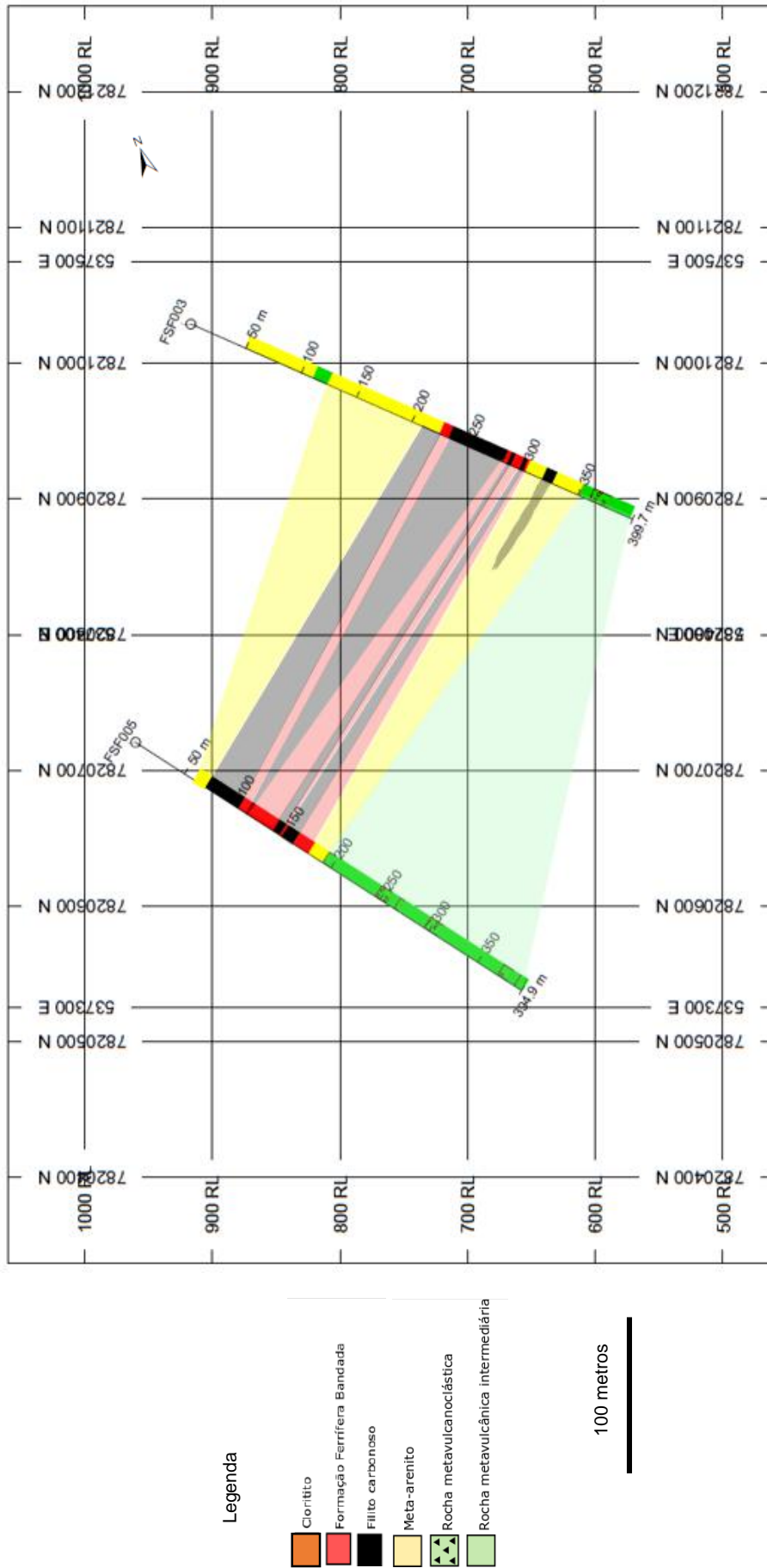


Figura 25 -- Correlação estratigráfica entre os furos FSF003 e FSF005. Imagem desenhada no software Geosoft Target versão 9.1.

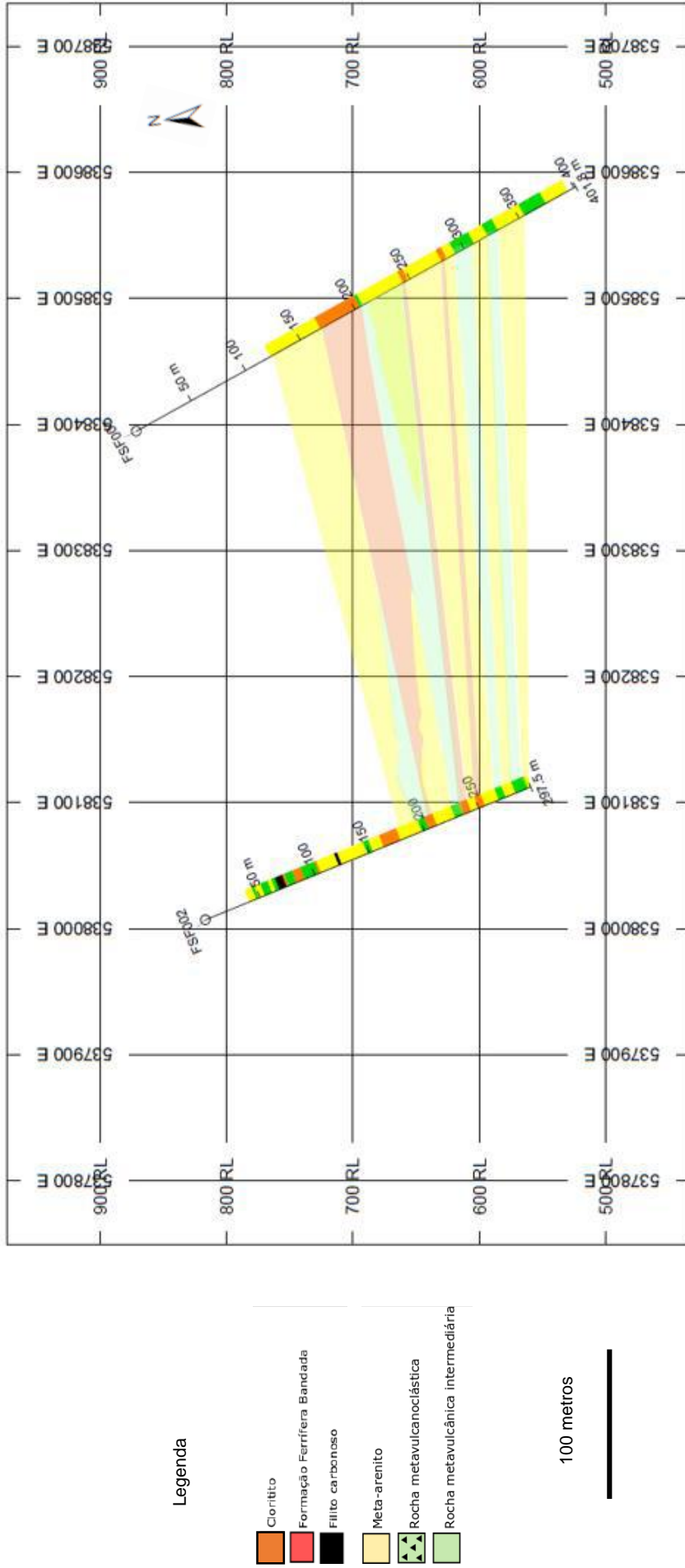


Figura 26 - Correlação estratigráfica entre os furos FSF002 e FSF007. Imagem desenhada no software Geosoft Target versão 9.1.

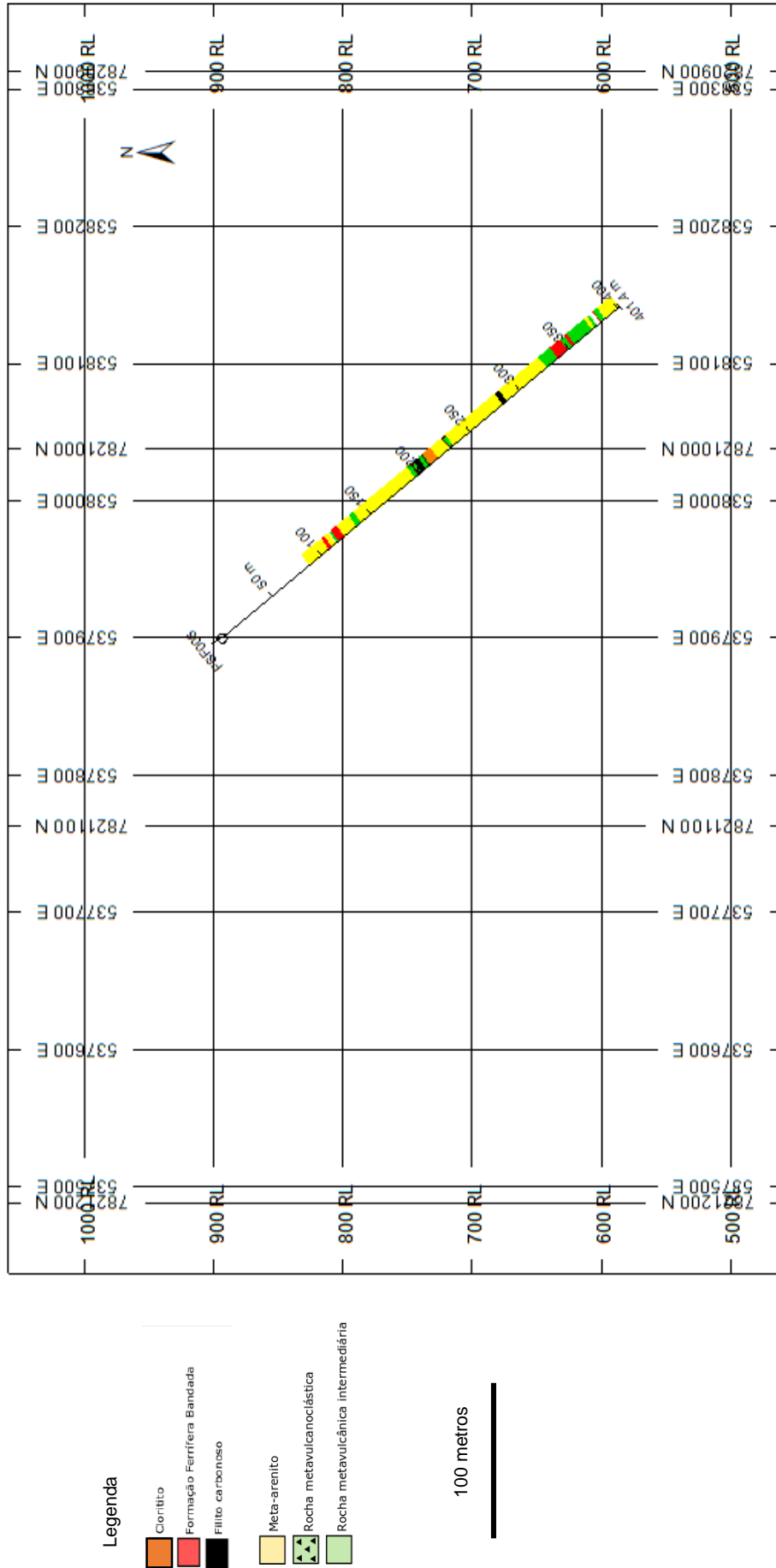


Figura 27 - Furo de sondagem FSF006 representado em subsuperfície. Este intervalo, não foi correlacionado, representa o nível intermediário da coluna estratigráfica elaborada, estando desta forma, localizado entre as correlações FSF003/FSF005 e FSF002/FSF007.

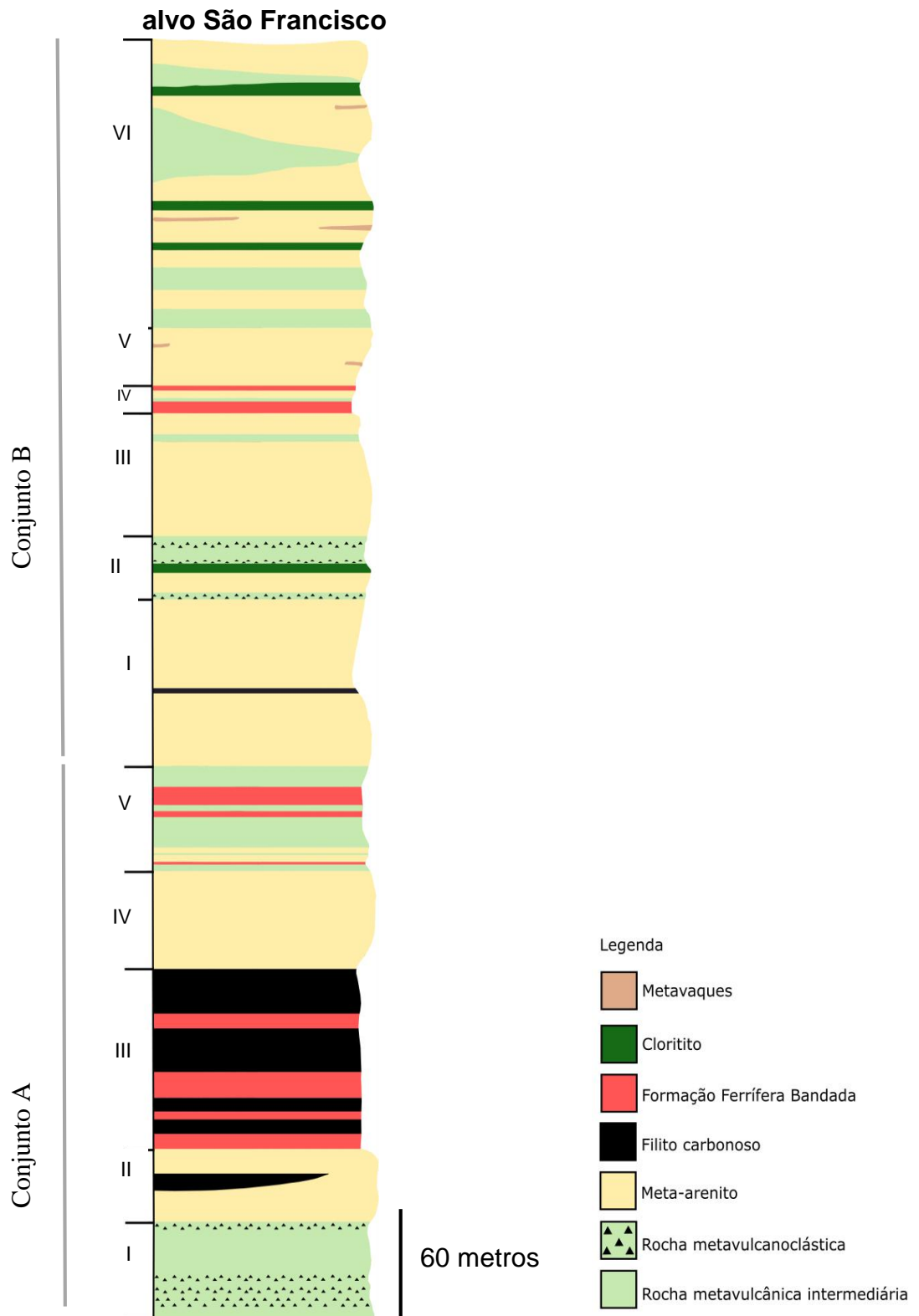


Figura 28 - Coluna estratigráfica sintética do alvo São Francisco com seus dois conjuntos litológicos, A e B, representados em 11 subintervalos que foram distinguidos pela predominância de rochas metavulcânicas (A) ou metassedimentares (B).

No intervalo II há um pacote de 32 metros de mica-quartzo-xisto e ocorrem haver lentes intercaladas de filitos carbonosos que atingem cerca de 9 metros de espessura.

O intervalo III, é composto por uma sucessão intercalada de rochas metassedimentares químicas e pelíticas que juntas formam um pacote de 101 metros de espessura. As espessuras das formações ferríferas bandadas variam entre 5 e 15 metros enquanto as espessuras do filito carbonoso variam entre 7 a 26 metros.

O intervalo IV, é essencialmente constituído por mica-quartzo-xisto, numa camada que atinge cerca de 57 metros de espessura.

O intervalo V, equivale a um total de aproximadamente 58 metros de espessura onde são observadas três litologias distintas. Na base, são encontradas rochas metavulcânicas intermediárias que se estendem por mais cinco subintervalos (sendo a litologia mais presente) e perfazem espessuras que variam entre 1 e 12 metros. As formações ferríferas bandadas, são posteriores as metavulcânicas e atingem espessuras semelhantes, variando de 0,5 a 11 metros de comprimento vertical. Os mica-quartzo-xisto, em menor volume neste intervalo, formam camadas de aproximadamente 3,6 metros.

Conjunto B

O intervalo I assemelha-se ao intervalo II por também ser composto por rochas metassedimentares psamíticas e pelíticas mas se diferencia pela alta representatividade volumétrica de mica-quartzo-xisto (característico do conjunto B), onde as camadas somam 90 metros verticais e são intercaladas por uma camada de filito carbonoso de 5 metros de espessura.

O intervalo II, de aproximadamente 35 metros, inclui rochas metavulcanoclásticas que se associam as metavulcânicas intermediárias assim como no intervalo I do conjunto A, no entanto, estes litotipos somam em média 16 metros. Intercalam mica-quartzo-xisto (camada de 11,3 metros) e clorititos aparecem pela primeira vez, formando uma camada de 7,6 metros.

O intervalo III, é a soma 73 metros de rochas metassedimentares clásticas. Os mica-quartzo-xisto são interceptados aos 68 metros por uma fina (~5 m) camada de rochas metavulcânicas intermediárias.

O intervalo IV, de 17 metros de espessura, engloba formações ferríferas bandadas que variam de 2,5 a 6,8 metros além de aproximadamente 3 metros de rochas metavulcânicas intermediárias e 12 metros de mica-quartzo-xisto.

O intervalo V, de 20 metros de quartzito, é observado junto a ocorrências de pequenas lentes de metavaques, que caracterizam a composição clástica dominante em todo conjunto B; e o intervalo VI, integra uma associação de 120 metros de espessura representada por de rochas metassedimentares clásticas, metavulcânicas intermediárias e clorititos. As rochas metassedimentares, são quartzitos que variam de 10 a 37 metros de espessura e que possuem lentes de metavaques assim como no intervalo V. Essas rochas se tornam mais frequentes a medida que se avança para topo.

As rochas metavulcânicas intermediárias se dividem em 4 subintervalos ao longo de todo pacote e podem atingir espessuras de 6 a 18 metros. Os clorititos se dispõem em 3 camadas principais (também aparecem em intercalações centimétricas a decimétricas em meio às outras rochas) e podem atingem em média 6 metros de espessura.

4.3 Metamorfismo, hidrotermalismo e geologia estrutural

Os minerais metamórficos mais comuns são clorita, biotita, tremolita, grunerita (restrita aos BIFs), cloritóide, granada, epidoto e clinzoisita. Nas rochas metavulcânicas, biotita, tremolita e clorita formaram-se a partir de minerais máficos primários (piroxênios e talvez anfibólios). Plagioclásio altera-se para sericita, carbonato e epidoto. A clorita comumente é formada a partir da biotita. A granada aparece como porfiroblastos milimétricos a centimétricos, anédricos a subédricos, sobrecrecendo a clorita nos clorititos (**fig. 22C**).

As associações minerais metamórficas são localmente sobrecrecidas por uma assembleia de minerais hidrotermais, em veios e seus arredores. Esses veios são compostos predominantemente por quartzo e carbonato, contendo como acessórios sulfetos (pirita, pirrotita e arsenopirita), clorita, cloritóide e grunerita (apenas em veios hospedados em BIFs). É comum a ocorrência de halos milimétricos à centimétricos

de clorita hidrotermal ao redor dos veios. Zonas de sulfetos disseminados (pirrotita e arsenopirita), replacement-style, são encontradas nos BIFs.

As rochas do alvo São Francisco têm *strike* SW-NE, localizando-se no flanco leste de uma dobra sinclinal regional aberta. Essa possui eixo caindo para NW, plano axial subvertical e vergência para SW (SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014; Brando Soares *et al.*, 2017). As camadas apresentam mergulhos entre 30° e 50° para NW. Nenhuma inversão ou duplicação importante de camadas foi detectada até o momento.

A principal foliação tectônica da área é a foliação S_n, penetrativa e subparalela ao acamamento sedimentar relictivo. Ela é composta por planos formados por cristais de biotita, sericita ou clorita, conferindo textura lepidoblástica. Localmente pode ser encontrada textura nematoblástica, gerada pela orientação de cristais de actinolita ou, mais raramente, grunerita. S_n é regionalmente associada às dobras isoclinais e zonas de cisalhamento tangenciais ao acamamento sedimentar relictivo (SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014; Brando Soares *et al.*, 2017), geradas durante a deformação D_n. A foliação S_n localmente, em zonas mais deformadas, desenvolve-se no padrão S/C (**fig. 13B**). Os cristais de granada sobrecrescem a foliação S_n, sendo portanto pós-tectônicos em relação à ela.

Uma clivagem de crenulação S_{n+1}, gerada por deflexões e localmente neocrescimento de clorita e grunerita, associa-se à dobras abertas a fechadas da mesma geração (D_{n+1}) do sinclinal regional anteriormente mencionado.

4.4 Caracterização litogeoquímica das rochas metavulcânicas

Classificação

As rochas metavulcânicas do alvo São Francisco fazem parte da suíte cálcio-alcalina de Irvine e Baragar (1971, **fig. 29**). Os valores máximos, mínimos e os elementos maiores encontram-se listados na tabela 8. Os valores de perda ao fogo (% LOI) variaram entre 0,7 e 5,5% numa média de 3,1%.

Tabela 8 - Lista de máximos, mínimos e médios percentuais de análises químicas realizadas em rochas metavulcânicas intermediárias do alvo São Francisco.

Elemento	Mínimo (%)	Máximo (%)	Médio (%)
SiO ₂	53,73	64,39	60,34
Fe ₂ O ₃	4,20	13,57	8,5
MgO	3,88	7,30	4,7
CaO	0,33	7,39	4,1
K ₂ O	0,56	4,50	1,6
Na ₂ O	0,28	4,56	3,2
MnO	0,03	0,17	~0,12
P ₂ O ₅	0,14	0,22	0,17
Cr ₂ O ₃	< 0,1	0,01	* 80% dos valores abaixo do limite de detecção <(0,1)
TiO ₂	1,41	0,83	1,01

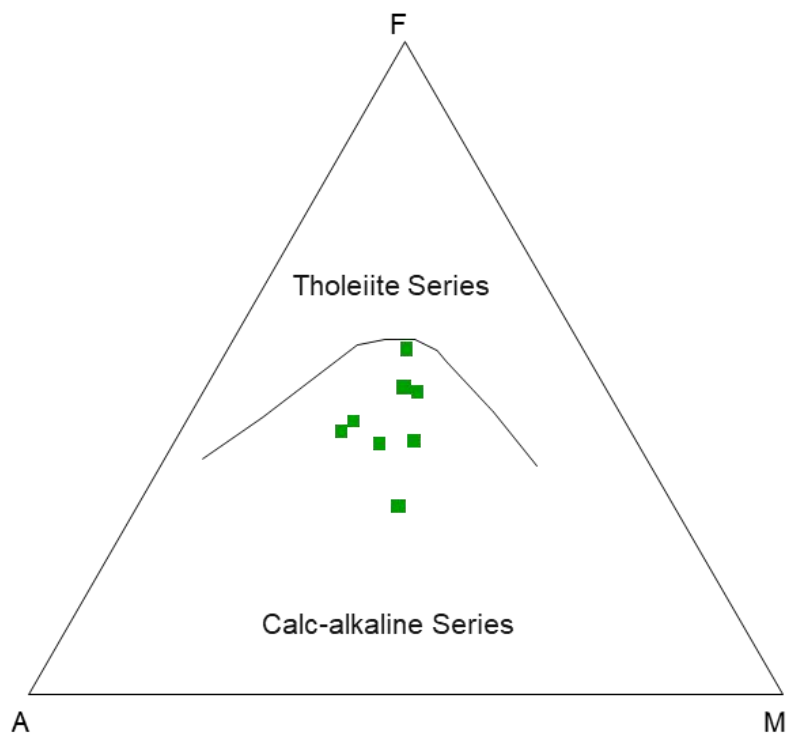


Figura 29 - Discriminação em séries para as rochas metavulcânicas do alvo São Francisco. Diagrama AFM de Irvine e Baragar (1971).

O diagrama de Jensen (1976) mostrado na **fig. 30** cinco amostras foram classificadas como basaltos e quatro como andesitos, tendo apenas uma sido plotada no campo dos basaltos toleítos com alto teor de Mg. No diagrama Zr/Ti e Nb/Y (Pearce, 1996), estas rochas também foram plotadas nos campos de andesitos e basaltos andesíticos. A tendência geral de acordo com esse diagrama foi para a classificação mais característica de basaltos andesíticos, com razões de Zr/Ti um pouco mais baixas do que as dos andesitos (**fig. 31**).

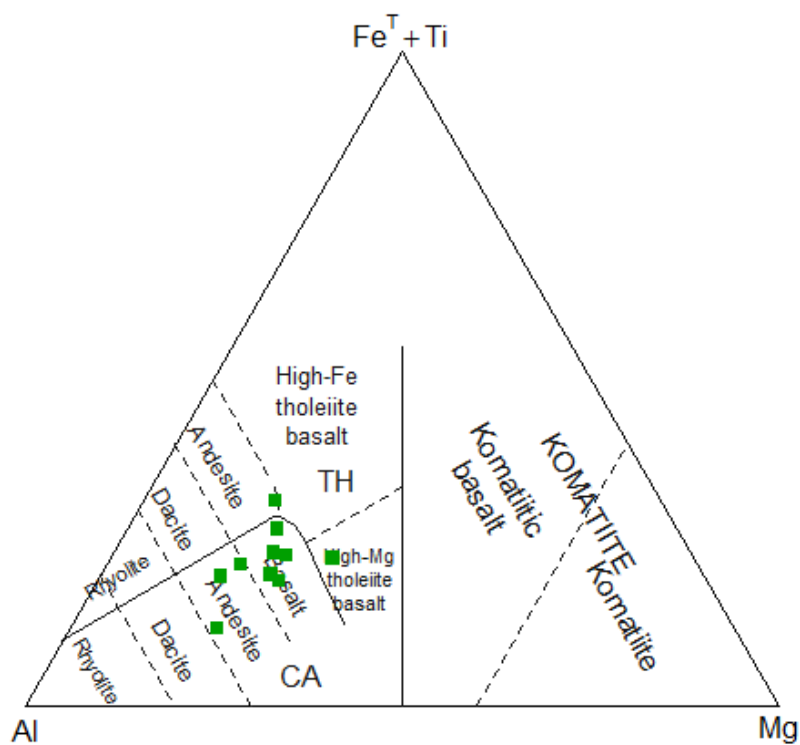


Figura 30 - Classificação das rochas metavulcânicas do alvo São Francisco, de acordo com o diagrama de Jensen (1976).

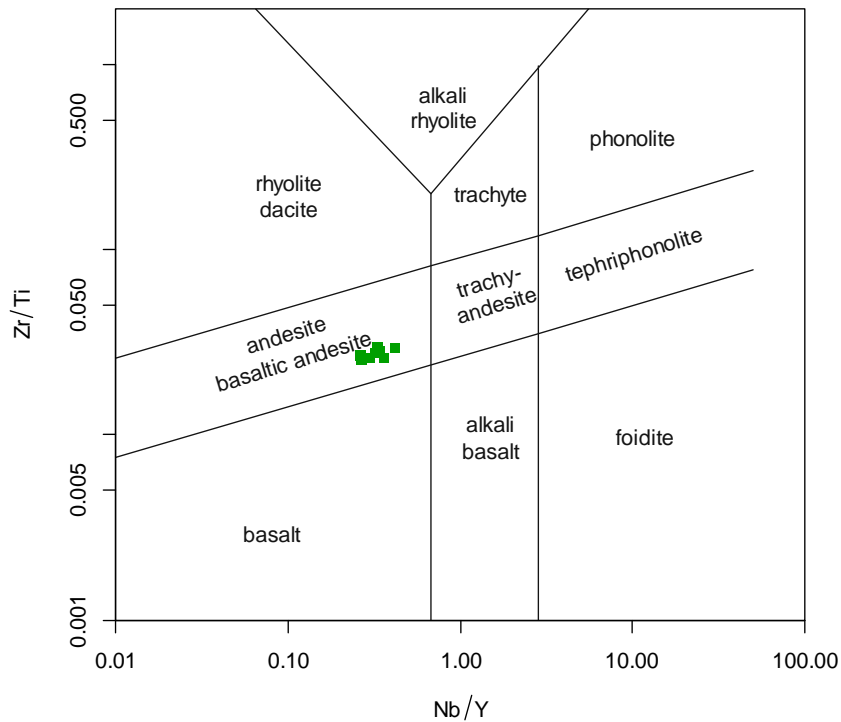


Figura 31 - Classificação das rochas metavulcânicas do alvo São Francisco, de acordo com o diagrama de Nb/Y - Zr/Ti, Pearce (1996).

As amostras foram normalizadas em relação ao condrito (Boyton, 1984), e a basaltos de dorsais oceânicas – MORB (Sun e McDonough, 1989).

A **fig. 32** mostra a normalização dos elementos terras raras para condrito e revela um enriquecimento relativo de elementos terras raras leves (podendo exceder 100 vezes em relação ao valor do condrito) com elevados teores de La (média de 27,2 ppm), Ce (média de 56 ppm), Pr (média de 6,16 ppm) e Nd (média de 23,76 ppm) em relação aos elementos terras raras pesadas como Er (média de 2,9 ppm) Tm (média de 0,39), Yb (média de 2,68 ppm); e Lu (média de 0,39 ppm). A anomalia negativa de Eu é constante em todas as amostras e os valores em ppm variaram de 0,82 a 1,88 para este elemento.

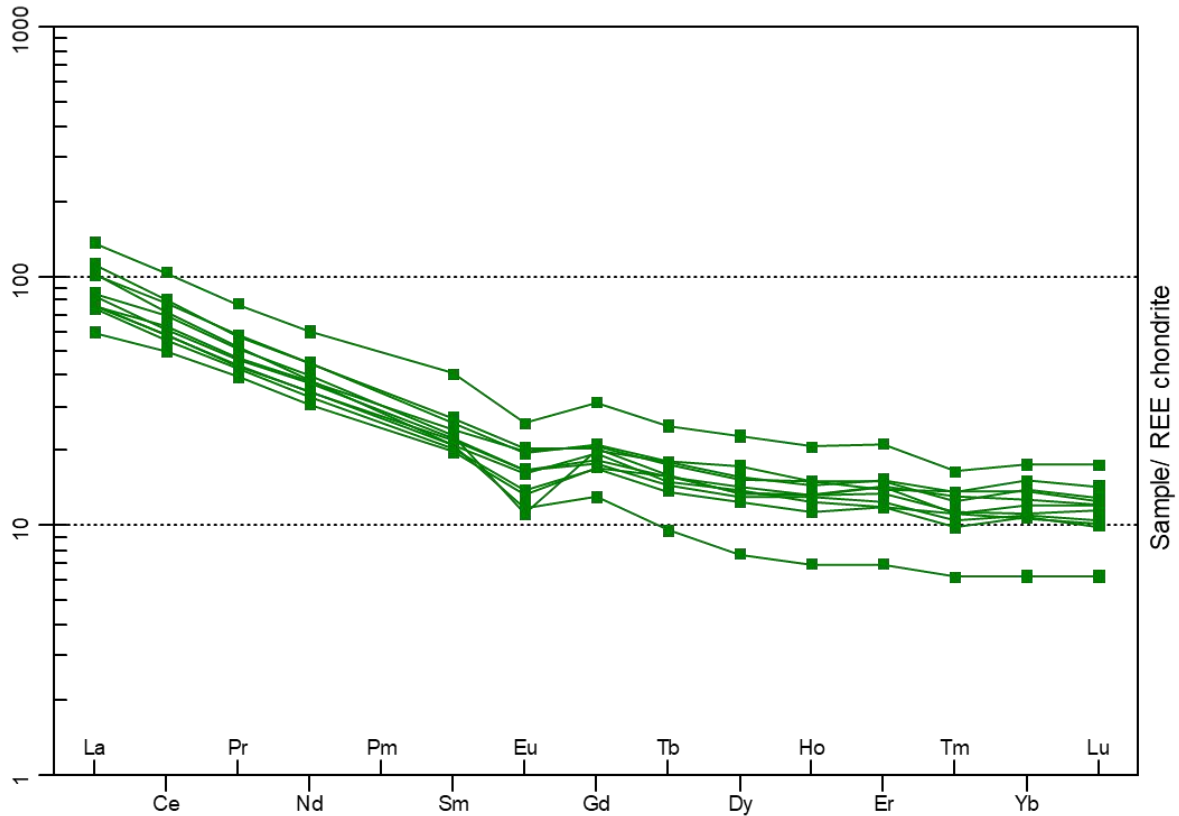


Figura 32 - *Spider diagram* - normalização em relação ao condrito (REE chondrite, Boynton, 1984).

O diagrama *spider* da **fig. 33** mostra os valores dos elementos terras raras – La (média de 27,2 ppm), Ce (média de 54,62 ppm), Nd (média de 23,76 ppm), Sm (média de 4,78), Eu (média de 1,26 ppm), Gd (média de 5,24 ppm), Tb (média de 0,79 ppm), Dy (média de 4,86 ppm), Y (média de 26,8 ppm), Er (média de 2,99 ppm), Tm (média de 0,39 ppm), Yb (média de 2,68 ppm) e Lu (média de 0,39 ppm) – ; e menores – Cs (média de 1,02 ppm), Ba (média de 327,59 ppm), Th (média de 7,68), U (média de 2,27 ppm), Ta (média de 0,74 ppm), Nb (média de 8,62 ppm), Pb, P, Zr (média de 168,3 ppm) e Ti (média de 0,08 ppm) - normalizados para N-MORB (depois de Pearce e Parkinson, 1993).

As amostras são caracterizadas por uma linha quase plana (~ 1) do elemento de Eu ao Lu, com valores próximos aos da norma. Do Sm ao Cs os dados são dispostos em uma linha com com teores acima da norma. Observa-se anomalias positivas de Cs e Pb; e negativas de Ba, Ta, Nb, Eu e Ti.

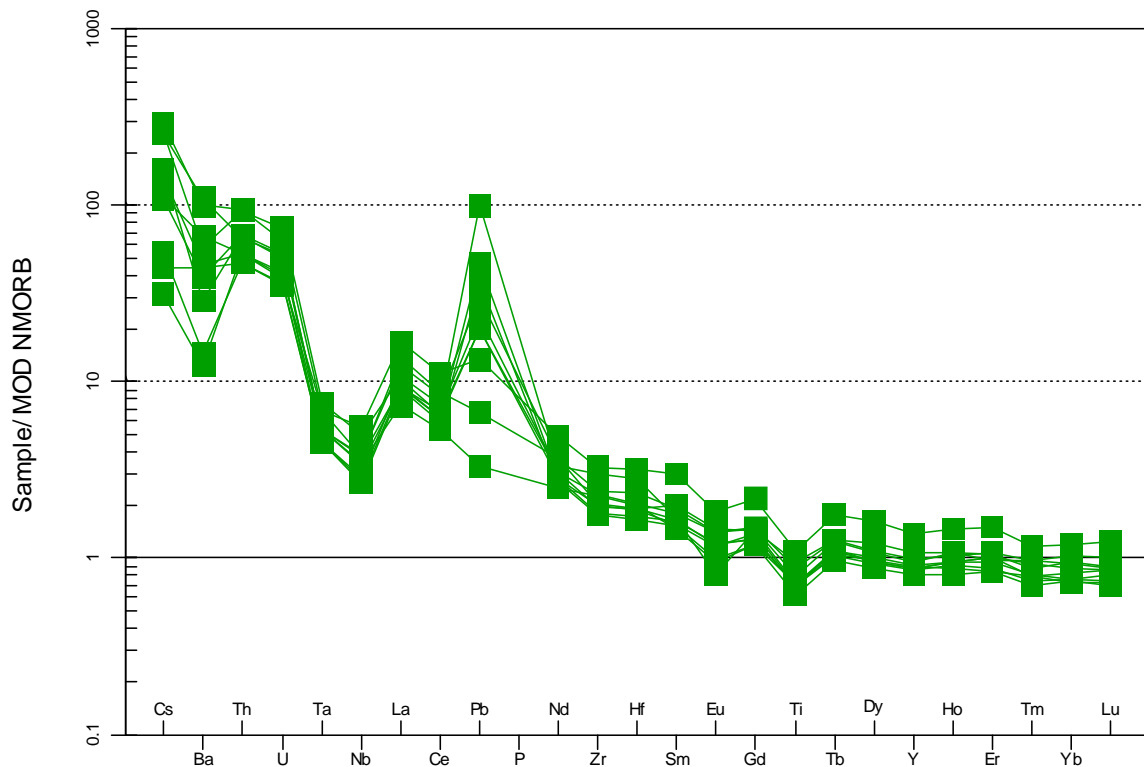


Figura 33 - Spider diagram – normalização para NMORB depois de Pearce e Parkinson, 1993.

5. DISCUSSÃO

5.1 Arcabouço estratigráfico e ambiente deposicional

O detalhamento da estratigrafia do alvo São Francisco revelou variações na evolução deposicional e estratigráfica da bacia.

Em relação ao conjunto A, o intervalo I caracteriza um período de atividade vulcânica dominante. Nesta porção foi reconhecido um litotipo inédito para a estratigrafia do *Greenstone Belt* Pitangui: rochas metavulcanoclásticas semelhantes à hialoclastitos (fig. 15). Segundo White e Houghton (2006), rochas vulcanoclásticas abrangem rochas clásticas compostas exclusivamente, ou em parte, por material vulcânico piroclástico, autoclástico e peperítico, por exemplo. Em análise macroscópica a rocha se assemelha a alguns litotipos vulcanoclásticos já publicados, como lapili tufo da região de Newfoundland no Canadá e hialoclastitos da Austrália, regiões de Gawler Range e Kalgoorlie (Simpson e Mc Avaney (2017); Pilote *et al.*, 2017; Steadman *et al.*, 2015 – fig.34).

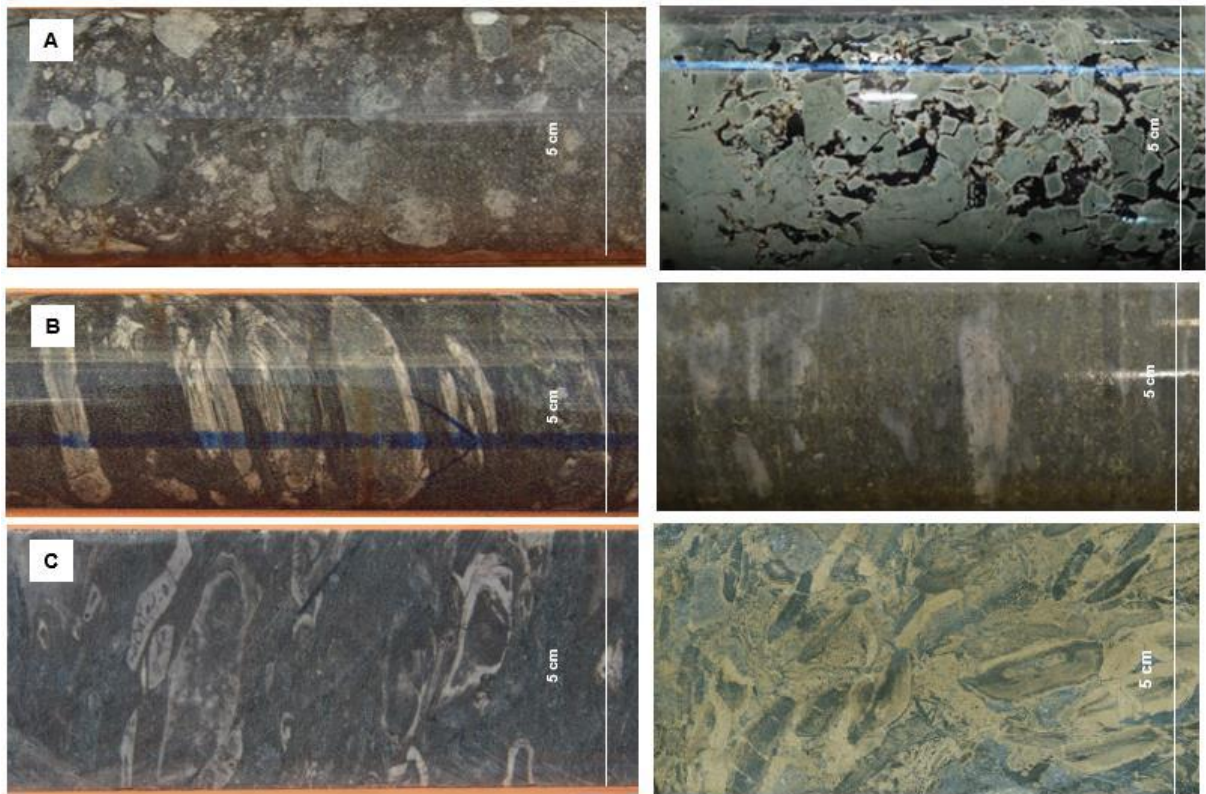


Figura 34 - Fotografias de testemunhos de sondagem: coluna da direita rochas do alvo São Francisco (a) Furo 005 – 248m; (b) Furo 005 – 299m; (c) Furo 005 – 374m; coluna da direita comparações com materiais apresentados por Simpson e McAvaney (2017), Pilote *et al.* (2017) e Steadman *et al.* (2015). Em (a) hialoclastitos encontrados na região de Gawler Range, Austrália; (b) Lapili félsica com fragmentos elipsoidais afaníticos de riodacito em uma matriz de quartzo-clorita-sericita fina encontrada na região de Newfoundland, Canadá; (c) hialoclastito rico em pirrotita da região de Kalgoorlie, oeste da Austrália

Na **fig. 34A** as rochas metavulcanoclásticas do alvo São Francisco estão ao lado de uma amostra de parte sucessão vulcânica encontrada na Península de Eyre na Austrália e descrita como hialoclastito por Simpson e McAvaney (2017). Hialoclastitos são agregados clásticos gerados pela fragmentação do fluxo de lava derretida em contato com água e/ou gelo (White *et al.*, 2015). É notável a semelhança entre elas. Os autores apontam que a maioria das unidades de fluxo de basalto exibem certo padrão em sua estrutura interna. Um desses padrões é a textura de brecha causada por fluxo magmático e incorporação de sedimentos no fluxo (também podem ocorrer texturas amidaloidais).

Na **fig. 34B** a comparação é feita com a brecha de tufo da região de Newfoundland, Canadá (Pilote *et al.*, 2017). Essa brecha é suportada por fragmentos de tamanho bomba (> 64 mm de diâmetro) e a matriz é composta por fragmentos irregulares de tamanho lapill (entre 2 e 64 mm de diâmetro). Sua origem é de fluxo sub-aquoso associado a colapso vulcânico.

Na **fig. 34C**, a rocha representa uma fácies de basalto que contém nódulos brechados de folhelho e pirrotita. São oriundos região de Kalgoorlie, oeste da Austrália (Steadman *et al.*, 2015) e foram ressedimentados e deformados. Clout (1989) se referiu a este tipo de rocha como hialoclastito rico em pirrotita.

De acordo com de Rosen-Spence *et al.* (1980) essas rochas podem indicar alternância entre fluxos magmáticos félsicos e máficos, com basaltos maciços formando cinturões brechados que mostram uma sequência de sedimentação e estruturas características de massas sub aquáticas. Os autores afirmam que brechas estratificadas e hialotufos são comumente observadas no topo de fluxos cálcio-alcalinos.

Em rochas vulcânicas do Arqueano, é comum que parte do vidro da lava cristalina tenha se devitrificado para uma rocha quartzo feldspática, muito silicosa. Cerca de 30-40% de fluxos arqueanos são compostos por quartzo e plagioclásio, e fenocristais de quartzo são frequentemente embaiados. São comuns texturas micrográficas de intercrescimento de albita e quartzo. Clorita, sericita, epidoto e minerais opacos (magnetita, pirita, pirrotita) estão dispersos em toda região microlítica, felsítica e esferulítica. Tremolita-actinolita fibrosa aparece em locais menos silicosos e que foram mais submetidos a fluxos metamórficos. Carbonatos estão presentes como porfiroblastos que substituem fenocristais de plagioclásio. Muitas estruturas são comumente destruídas pelo metamorfismo (de Rosen-Spence, 1980).

Apesar do aspecto textural semelhante com hialoclastitos das outras ocorrências citadas (**fig. 34**), não foram reconhecidas texturas de devitrificação nas rochas metavulcanoclásticas. No entanto, texturas esferulíticas foram observadas em rochas metavulcânicas intermediárias (**fig. 14**) em um nível estratigráfico similar ao das rochas supracitadas. Desta forma, as rochas metavulcanoclásticas do alvo São Francisco são denominadas como hialoclastito.

Os intervalos II, III e IV registram um período de ausência de atividade vulcânica e deposição de sedimentos clásticos predominantemente na fração areia nos intervalos II e IV. O intervalo III, caracterizado por filitos carbonosos com mais de 100 metros de espessura com intercalações de BIFs, registra um momento onde a bacia estava faminta de sedimentos (**fig. 28**).

Em seguida, no intervalo V, magmáticos é registrada a retomada da atividade vulcânica, em ambiente outra vez faminto de sedimentos, tendo em vista a presença de rochas (meta)sedimentares químicas (BIFs) intercaladas às rochas metavulcânicas.

No conjunto B, predominam registros de sedimentação clástica na fração areia. No topo do intervalo IV (e aproximadamente na porção mediana no I) há registro de condições de bacia faminta de sedimento, com BIFs e filitos negros, respectivamente. Nos intervalos II, IV, V e VI, há registros de atividade vulcânica, esporádica, em menor volume do que no conjunto I.

5.2 Afinidade geoquímica das rochas e ambiente tectônico

Em relação ao diagrama *spider* normalizado para condrito (**fig. 32**), o enriquecimento relativo de elementos terras raras leves quando comparado às terras raras pesadas pode indicar fonte mantélica evoluída. A anomalia negativa de Eu pode ser explicada por remoção de feldspato de um líquido devido a cristalização fracionada ou a fusão parcial de uma rocha na qual feldspato é retido na fonte.

O diagrama *spider* da **fig. 33** foi normalizado para N-MORB (depois de Pearce e Parkinson, 1993) e comparado com os padrões observados por Furnes *et al.* (2013) para a região de Barberton, África do Sul. Os padrões de alto conteúdo de Cs e negativo Nb e Ta destes elementos são tipicamente cálcio-alcálicos; altos valores de Cs e Ba, negativas anomalias de Nb, Ta e Ti podem refletir a derivação de diferentes fontes mantélicas, bem como diferentes quantidades de cristalização fracionada (Furnes *et al.*, 2013). O Cs, Pb e Ba podem ser transportados em uma fase volátil em um amplo intervalo de temperatura durante fases de subducção (Straub e Zellmer, 2012). O enriquecimento extremo de chumbo, pode refletir efeitos de subducção conforme proposto por McLennan e Taylor (1981).

A anomalia negativa de Nb pode ser resultante da interação magma-crosta (Pearce, 1973; 2008) e que segundo Baier *et al.*, (2008), pode estar relacionada ao transporte de elementos traço por fluidos sob baixas condições de pressão em zonas de subducção. Todo este conjunto de características indicam que as rochas do alvo São Francisco são provenientes de arco continental (**figs. 35 e 37**) e que os magmas a partir dos quais elas foram formadas sofreram contaminação crustal (**fig. 36**), como nos casos discutidos por Pearce (1982), Zhang *et al.* (2003) e Klausen *et al.* (2017).

Gordon e Schandl (2000) propuseram um diagrama Ta/Yb - Th/Yb para discriminação tectônica. As amostras do alvo São Francisco foram plotadas no campo de margem continental ativa (**fig. 35**). Pearce (2008) se baseia em dados de Th-Nb para classificação de basaltos oceânicos (**fig. 36**). As amostras do alvo São Francisco para o gráfico plotam no campo de arcos vulcânicos e refletem influência crustal.

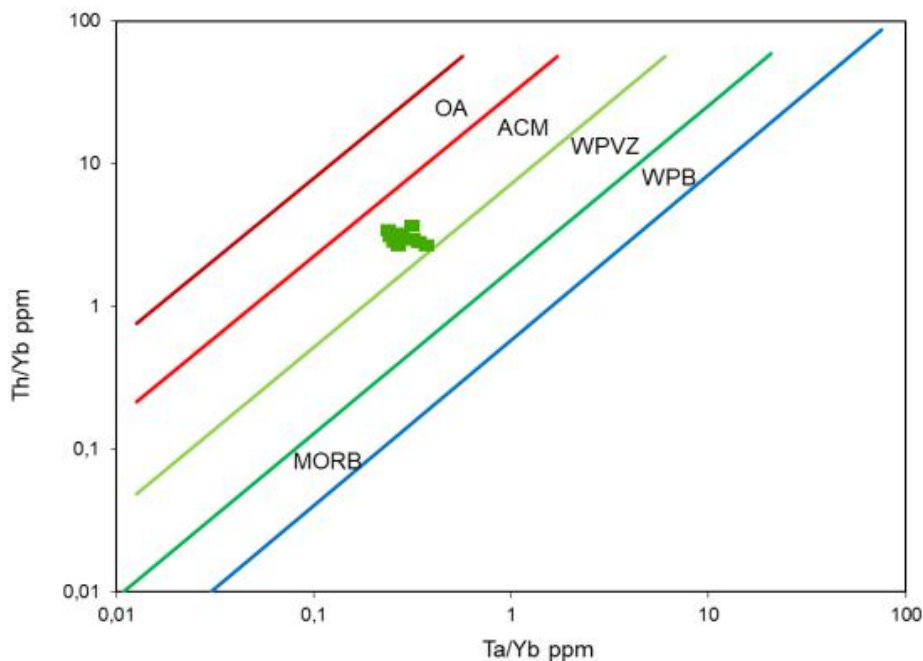


Figura 35 - Diagrama de classificação tectônica, Gordon e Schandl (2000). OA: Arco oceânico; ACM: margem continental ativa; (WPVZ: basaltos intraplaca associados a vulcanismo), WPB: basaltos intraplaca; e MORB: basaltos de cordilheiras mesoocênicas

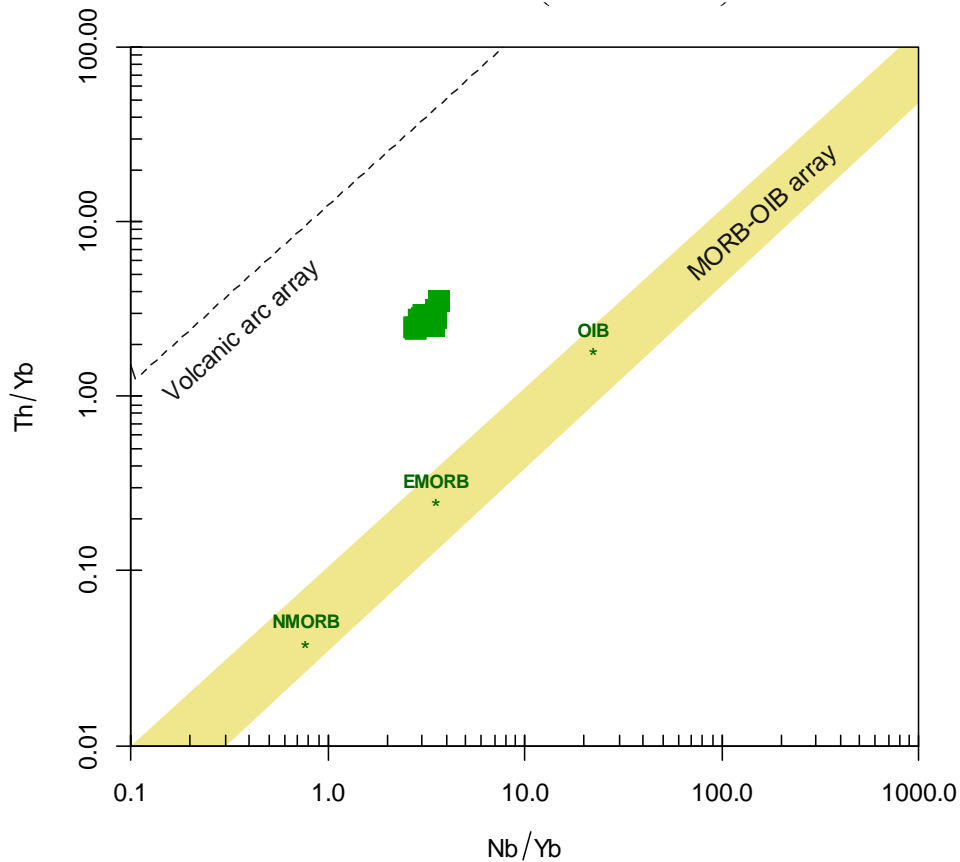


Figura 36 - Diagrama de classificação tectônica Nb/Yb vs Th/Yb de Pearce (2008). MORB= basaltos de cadeias mesoocênicas; NMORB= tipo “normal”; EMORB= tipo “enriquecido”; OIB= basaltos de ilha oceânica.

No diagrama La/Yb x Nb/La de Hollocher *et al.* (2012), (**fig. 37**) as amostras do alvo São Francisco foram classificadas como de arco continental.

Os autores afirmam ainda que bacias de *back-arc* possuem uma ampla gama de composição causada pela variação da região fonte do basalto entre N-MORB, ilha do oceânica, e os membros finais do manto de subducção enriquecido (arco subvulcânico). Essa variação composicional assemelha-se ao observado para o Pitangui, que possui rochas máficas e ultramáficas na Unidade Inferior e evolui para rochas intermediárias cálcio-alcálicas (Unidade Intermediária).

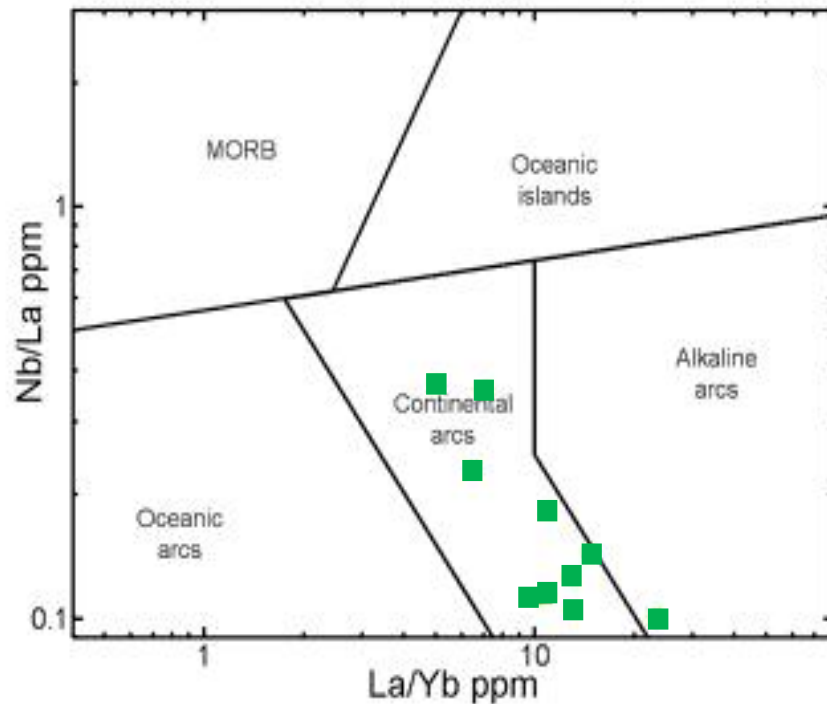


Figura 37 - Diagrama de classificação tectônica, Hollocher *et al.*, 2012.

5.3 Comparação com outras áreas dos *Greenstone Belts* Pitangui e Rio das Velhas

5.3.1 Estratigrafia

Brando Soares *et al.* (2017), propõem equivalência entre as unidades definidas para o *Greenstone Belt* Pitangui e os ciclos tectono-sedimentares (**fig. 4**) descritos por Baltazar e Zucchetti (2007) para o *Greenstone Belt* Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero. Para os autores, a Unidade Inferior se correlaciona ao ciclo 1, a Unidade Intermediária aos ciclos 2 e 3, e a Unidade Superior ao ciclo 4 (**figs. 6 e 38**).

O ciclo deposicional 1 (2,80 a 2,78 Ga) relata o estágio inicial de formação do *Greenstone Belt* num contexto tectônico extensional com fluxos de lava basáltica em fundo oceânico. Os ciclos 2 e 3 (2,78 ~ 2,67 Ga) registram a evolução geotectônica para um estágio compressional com formação de arcos continentais.



Figura 38 - Correlação estratigráfica entre os *Greenstone Belts* Rio das Velhas (Baltazar e Zucchetti, 2007) e o Pitangui (modificado de Brando Soares *et al.*, 2017) expandido, mostrando em detalhe os alvos São Francisco (este trabalho), São Sebastião (modificado de Brando Soares *et al.*, 2017) e Aparição (modificado de Santos, 2017). As rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas do alvo Aparição foram representadas por Santos (2017) como parte de um único conjunto.

O alvo São Francisco está localizado no intervalo transicional entre as Unidades Inferior e Intermediária (**fig. 38**) e desta forma, de acordo com a interpretação de Brando Soares *et al.* (2017), correlacionaria-se diretamente à interface entre os ciclos 1 (porção superior), 2 do *Greenstone Belt* Rio das Velhas. Os dados estratigráficos obtidos corroboram com o proposto. O final do ciclo 1 e o começo do ciclo 2 compreendem rochas sedimentares químicas e clásticas com associações metavulcânicas predominantes, fazendo-se bastante similar ao alvo São Francisco.

5.3.2 Geoquímica

Para uma melhor interpretação tectono-estratigráfica, o alvo São Francisco teve suas amostras de rochas metavulcânicas comparadas com as rochas do alvo Aparição (dados de Santos, 2017), do alvo São Sebastião (dados de Brando Soares *et al.*, 2017), do setor sudoeste do Pitangui (dados de Verma ., 2017) e do Rio das Velhas (dados de Zucchetti *et al.*, 2000). As amostras dos alvos São Sebastião e Aparição foram consideradas num mesmo conjunto (cor roxa) devido a as semelhanças litogeoquímicas das rochas máficas e ultramáficas representadas por komatitos e basaltos toleíticos (Santos, 2017)

No diagrama de Irvine e Baragar (1971) apresentado na **fig. 39**, o alvo São Francisco possui caráter cálcio-alcálico enquanto as outras rochas do *Greenstone Belt* Pitangui revelam-se predominantemente toleíticas. As rochas do Rio das Velhas plotam dominantemente no campo de rochas toleíticas, com algumas no campo cálcio-alcálico.

Para o diagrama de classificação de Jensen (1998), os alvos Aparição e São Sebastião formam uma tendência desde komatiitos até basaltos de alto Mg e alto Fe, além de uma pequena sobreposição com o campo das amostras do Rio das Velhas. As amostras do setor sudoeste do Pitangui não exibem afinidade komatiítica (Santos, 2017). As rochas do alvo São Francisco plotam no campo dos andesitos e basaltos andesitos e se sobrepõem em uma pequena parte com os campos das amostras do setor sudoeste e do *Greenstone Belt* Rio das Velhas (**fig. 40**).

No diagrama de Nb/Y - Zr/Ti, (Pearce, 1996), as amostras do Rio das Velhas e da parte sudoeste do *Pitangui* apresentam comportamento complementar. O campo dos alvos Aparição e São Sebastião mostram alguma semelhança com eles apesar de revelarem uma variedade composicional um pouco diferente, com maior variação da razão Nb/Y. Para as amostras do setor sudoeste, tem-se uma concentração exclusiva no campo dos basaltos (**fig. 41**). Nesse diagrama, as amostras do alvo São Francisco formam um aglomerado distinto dos outros conjuntos, plotadas exclusivamente no campo dos andesitos e basalto andesitos.

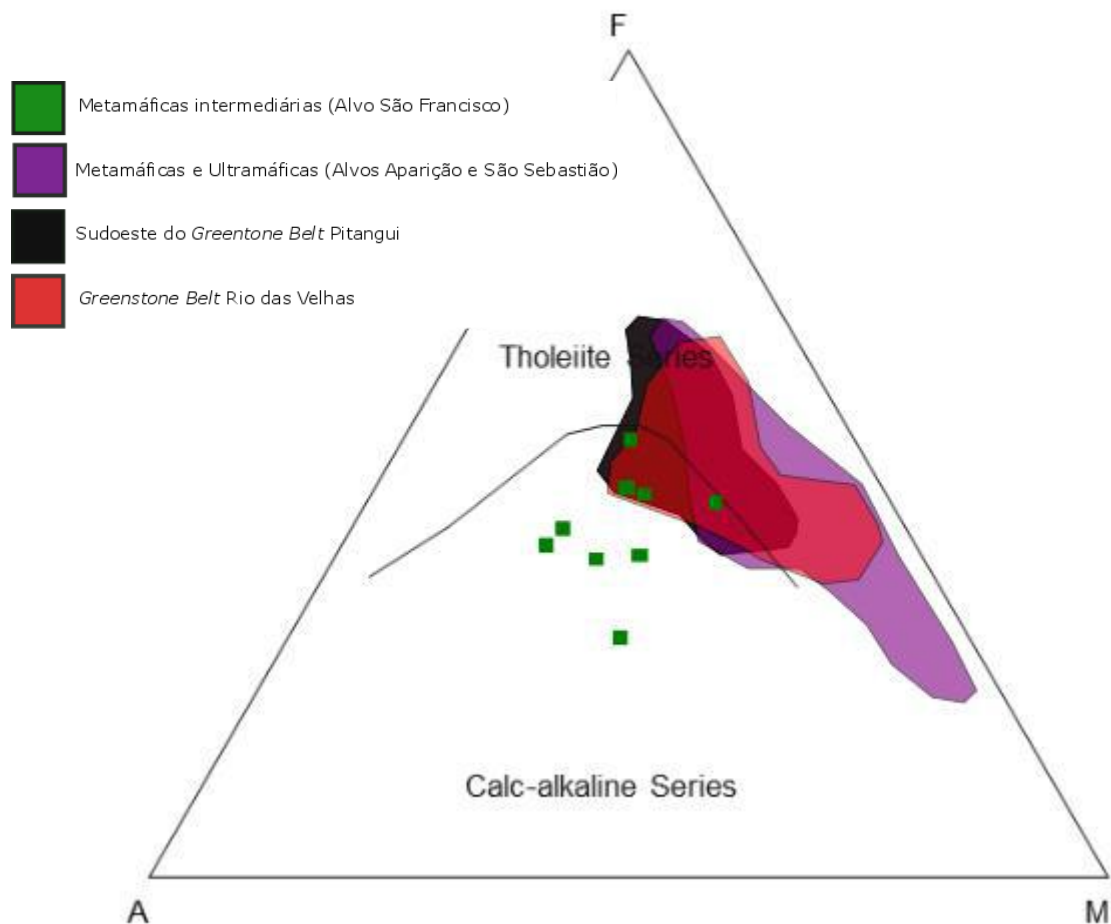


Figura 39 - Diagrama ternário AFM de Irvine & Baragar (1971) mostrando os campos sobrepostos dos *Greenstone Belts* Pitangui (alvos Aparição, São Sebastião, São Francisco e setor sudoeste) e Rio das Velhas.

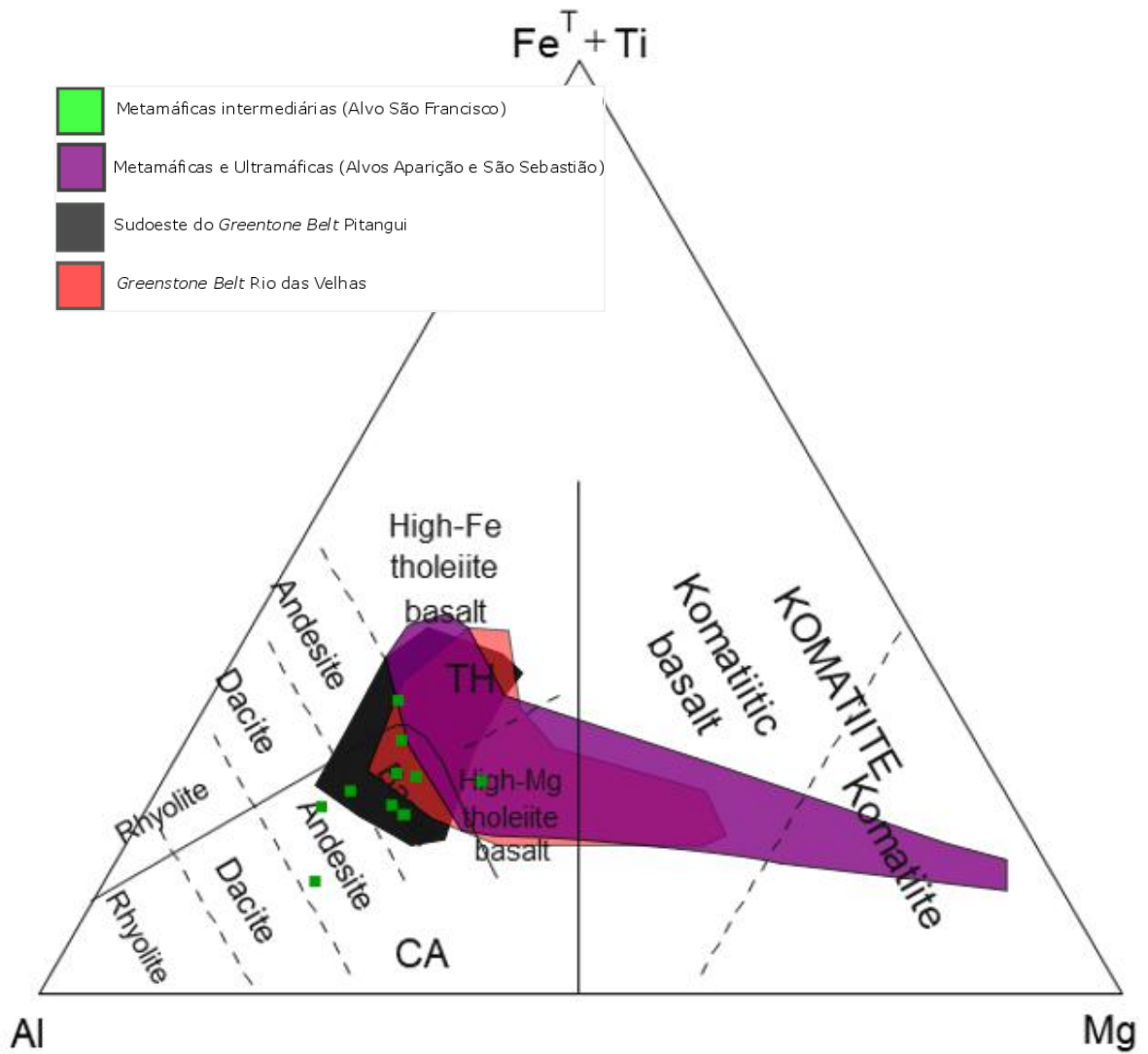


Figura 40 - Diagrama ternário de Jensen (1998) mostrando os campos sobrepostos dos *Greenstone Belts* Pitangui (alvos Aparição, São Sebastião, São Francisco e setor sudoeste) e Rio das Velhas.

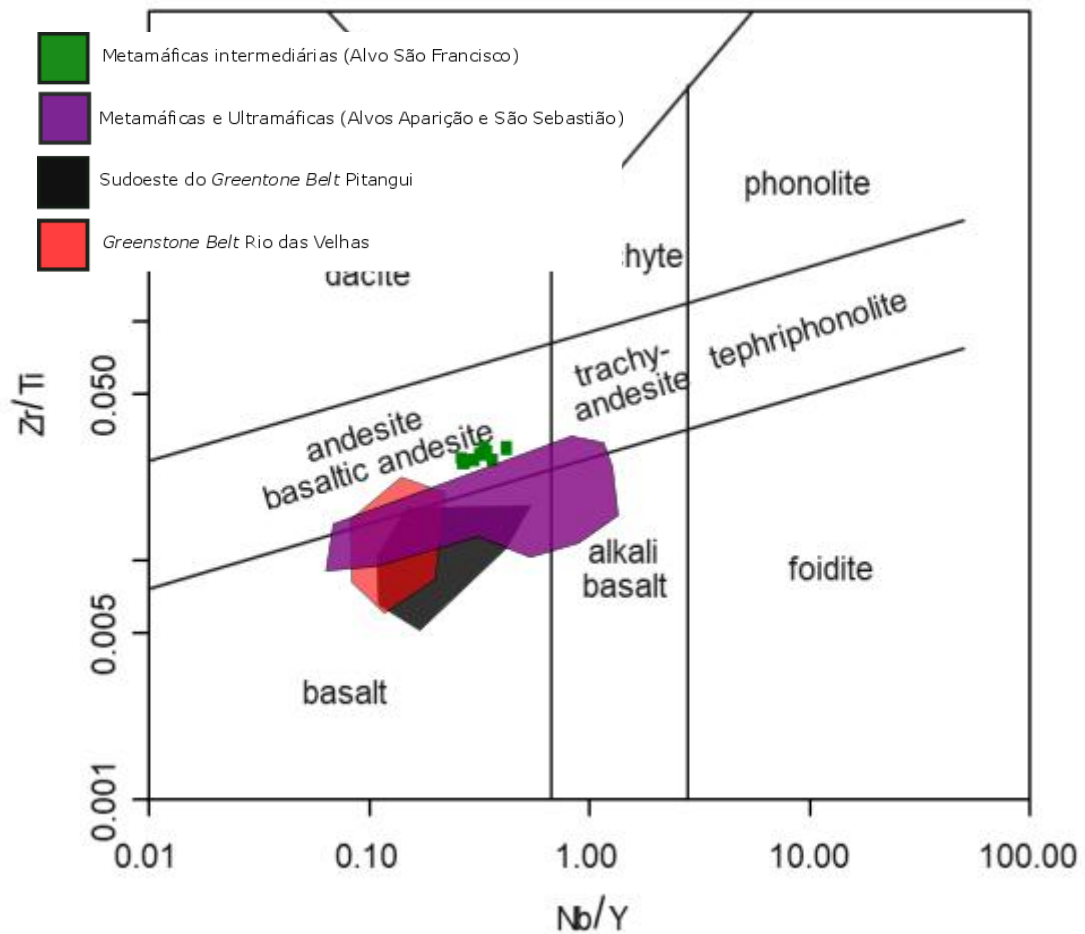


Figura 41 - Diagrama de Nb/Y - Zr/Ti, (Pearce, 1996), mostrando os campos sobrepostos do Greenstone Belt Pitangui (alvos Aparição, São Sebastião, São Francisco e setor sudoeste) e Rio das Velhas.

Nos diagramas mutielementares da **fig.42** estão plotados dados de elementos maiores (%) versus Zr (ppm) para rochas máficas e ultramáficas (alvos São Sebastião e Aparição) e para as cálcio-alcálicas (alvo São Francisco). Dois grupos podem ser delimitados de modo bastante consistente, mesmo em digramas que não mostram tendências. Isso corrobora o visto nos diagramas que indicaram haver séries de composições diferentes. As posições das amostras do alvo São Francisco ao longo dos *trends* positivos (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , TiO_2 e P_2O_5) e negativos (MgO , CaO e FeO_t), indicam que elas são mais evoluídas quimicamente do que as dos alvos São Sebastião e Aparição.

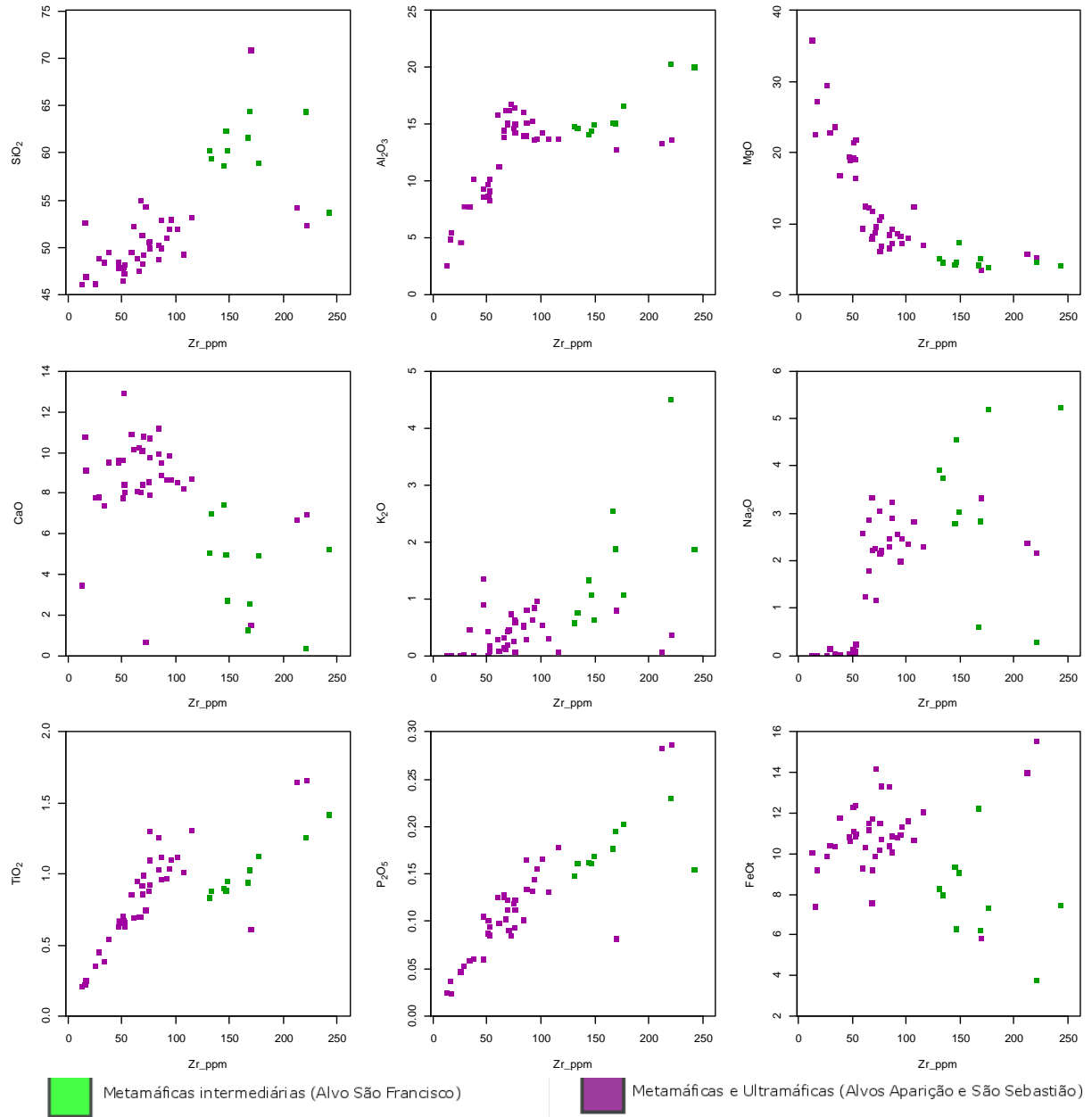


Figura 42 - *Multiplot* Zr (ppm) vs percentuais de elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , FeO_t).

Para as comparações realizadas em multiplots de elementos menores, os *trends* positivos (Th, Nb e La) assim como os negativos (Ni, Cr_2O_3) também ocupam posições distintas podem indicar fontes mantélicas distintas. Para Ta os valores se dispõem de forma contínua sobre um mesmo trend, característica de evolução de fonte mantélica similar. De qualquer forma, as rochas do alvo São Francisco confirmam-se mais evoluídas que as dos alvos São Sebastião e Aparição.

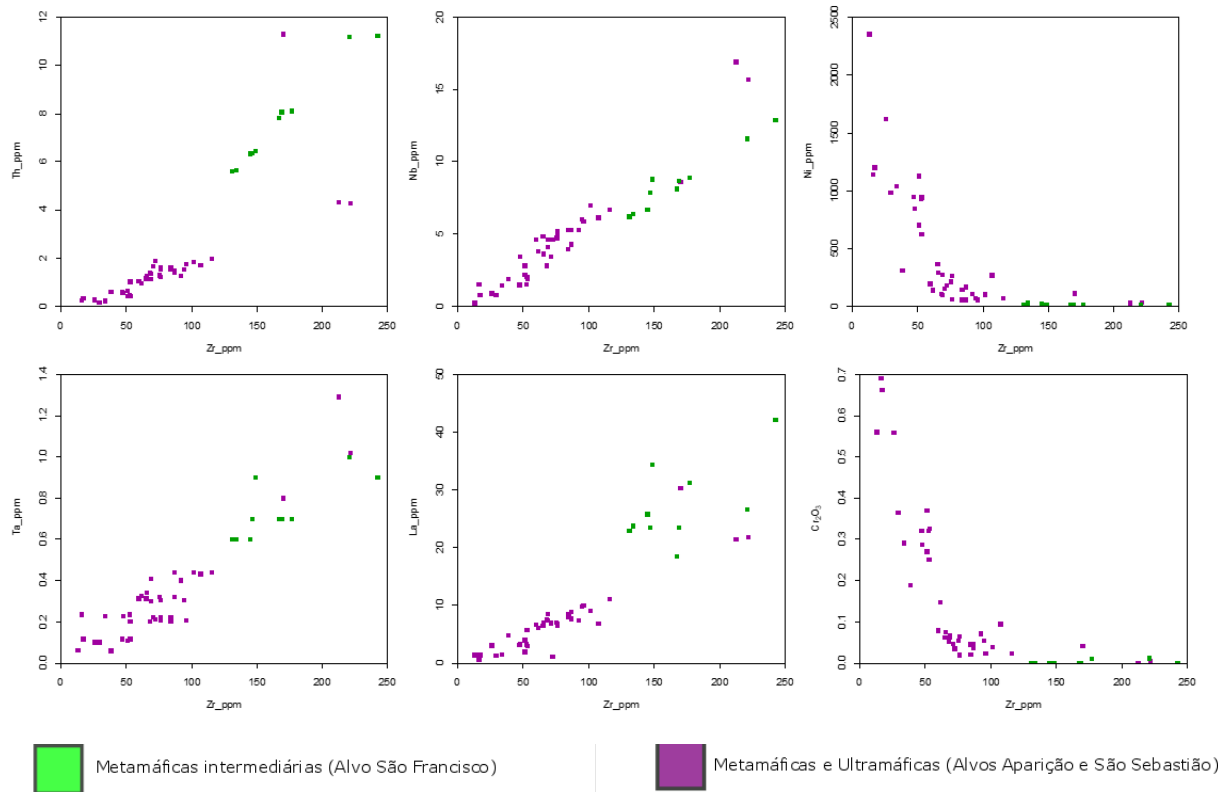


Figura 43 - Multiplot ppm Zr vs ppm de Th, Nb, Ni, Ta, La e Cr₂O₃.

No diagrama do tipo *spider* normalizado para condrito (Boynnton 1984), é possível observar uma grande equivalência entre os dados dos alvos Aparição, São Sebastião e setor sudoeste do Pitangui. Nota-se o conjunto de amostras dos alvos Aparição e São Sebastião onde as rochas komatiíticas apresentaram padrões planos, e os basaltos toleíticos padrões sutis de enriquecimento nos ETRL. Para o Rio das Velhas, tem-se uma ampla gama de sobreposições, onde o enriquecimento em ETRL pode superar os anteriormente analisados. As amostras do alvo São Francisco possuem, entretanto, padrões distintos, mais inclinados, com maior enriquecimento relativo de ETRL (**fig.44**). Esses últimos padrões apontam novamente para magmas mais evoluídos quando comparado aos padrões planos que acontecem nos basaltos e komatiitos dos alvos São Francisco, Aparição e setor sudoeste do *greenstone*.

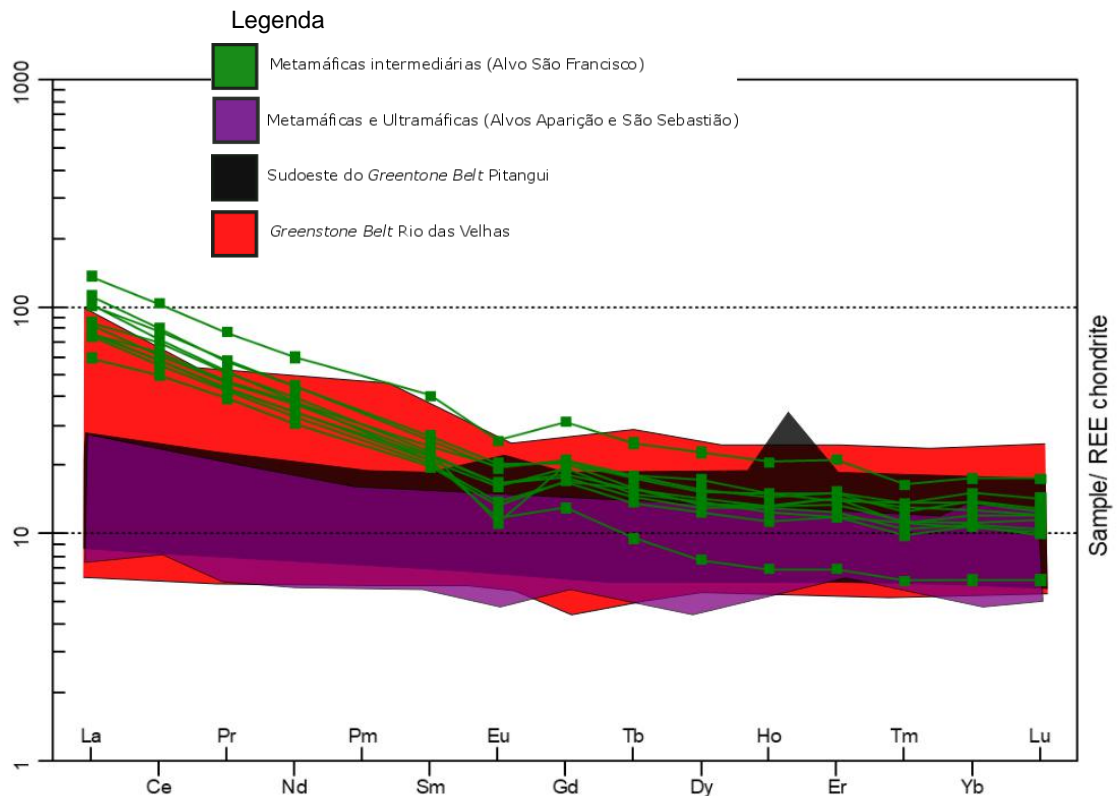


Figura 44 - Diagrama normalizado para o condrito (REE chondrite, Boynton, 1984), mostrando os campos sobrepostos dos *Greenstone Belts* Pitangui e Rio das Velhas comparados

No diagrama Nb/Yb x Th/Yb (Pearce 2008), observa-se sobreposição parcial dos campos das rochas metavulcânicas do alvo Aparição e do Depósito São Sebastião, do setor sudoeste do Pitangui e do Rio das Velhas. As rochas do Rio das Velhas e do setor sudoeste do Pitangui demonstram menos indícios de contaminação crustal quando comparadas às do alvo Aparição e do Depósito São Sebastião (Santos, 2017). As amostras do alvo São Francisco mostram maior influência de material crustal do que todas as outras (**fig.45**).

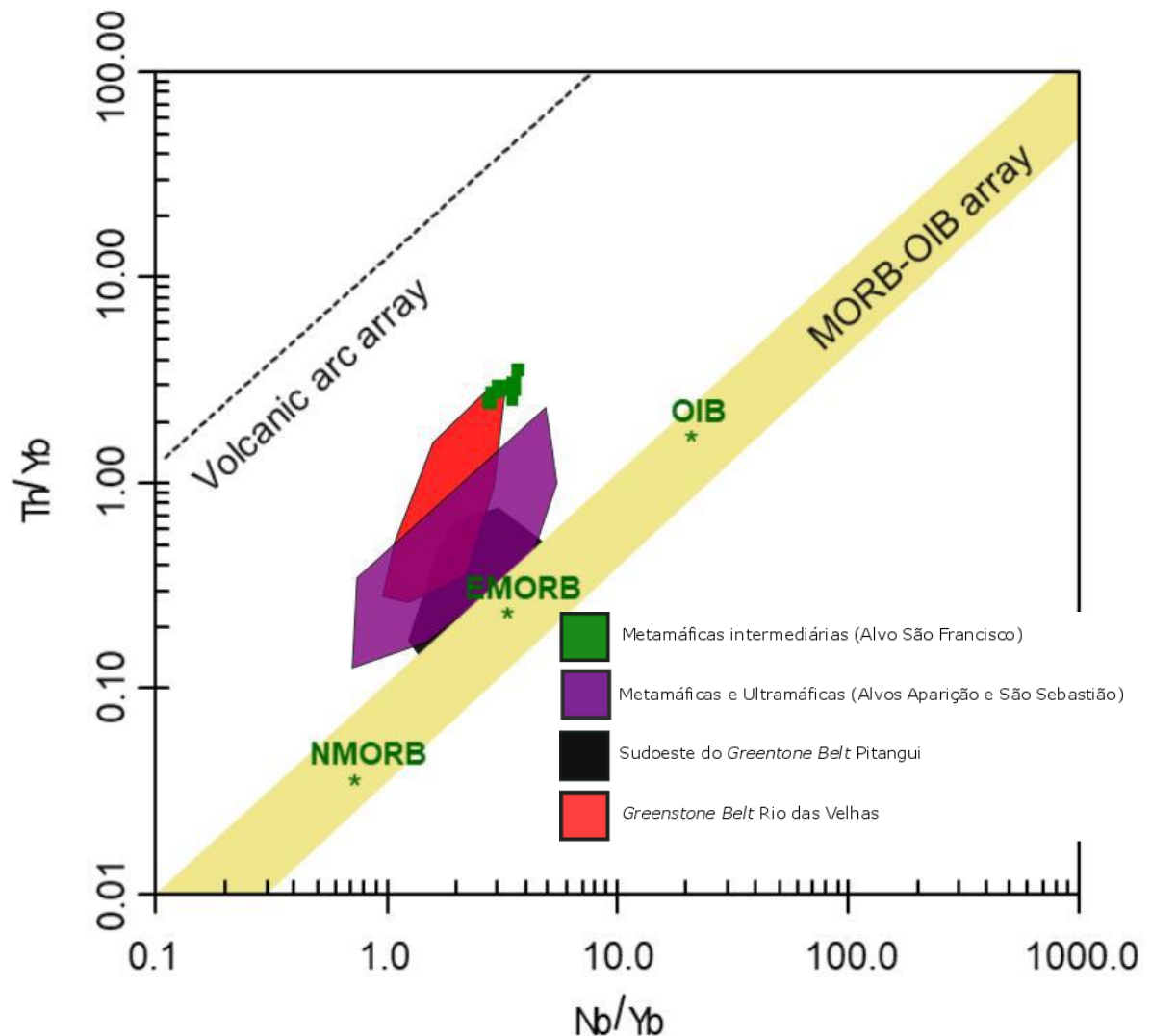


Figura 45 - Diagrama Nb/Yb x Th/Yb, Pearce (2008), mostrando os campos de sobreposição das rochas dos *Greenstone Belts* Pitangui (exceto pelo alvo São Francisco) e Rio das Velhas.

Na **fig. 46** estão plotados valores de $(La/Sm)_N$ versus $(Dy/Yb)_N$. Esta é uma expressão do fracionamento LREE/MREE-versus MREE/HREE que é comumente usada para ilustrar a influência da temperatura potencial da fonte mantélica. O decaimento desse parâmetro (T_p) tende a provocar o aumento nos valores de $(La/Sm)_N$ (Klausen *et al.* (2017)).

De acordo com as comparações gráficas, interpretações realizadas por Klausen *et al.* (2017) e referências citadas por esses autores, as suítes de rochas dos alvos São Francisco, São Sebastião e Aparição refletem duas tendências: empobrecida para as máficas e ultramáficas dos alvos Aparição e São Sebastião (valores relativamente baixos para La/Sm) e enriquecida para as intermediárias (valores de 3 a 5,5 para La/Sm). Esta característica de enriquecimento se correlaciona com o grau de diferenciação magmática.

A suíte toleítica mantém os padrões de elementos terras raras sem aumentos significativos enquanto a suíte cálcio-alcalina exhibe um *buffer* de variação maior. Toleítos devem variar mais em valores de $(Dy/Yb)_N$, o que consiste com sua fonte mantélica lhezorlítica depletada; e a cálcio-alcalina tem parâmetros $(Dy/Yb)_N$ fixados em ~1,0 e 1,2, mas variável $(La/Sm)_N$ entre aproximadamente de 2 a 6. Essas variações entre os valores de $(La/Sm)_N$ corroboram para a proposta de magmas mais enriquecidos Klausen *et al.* (2017).

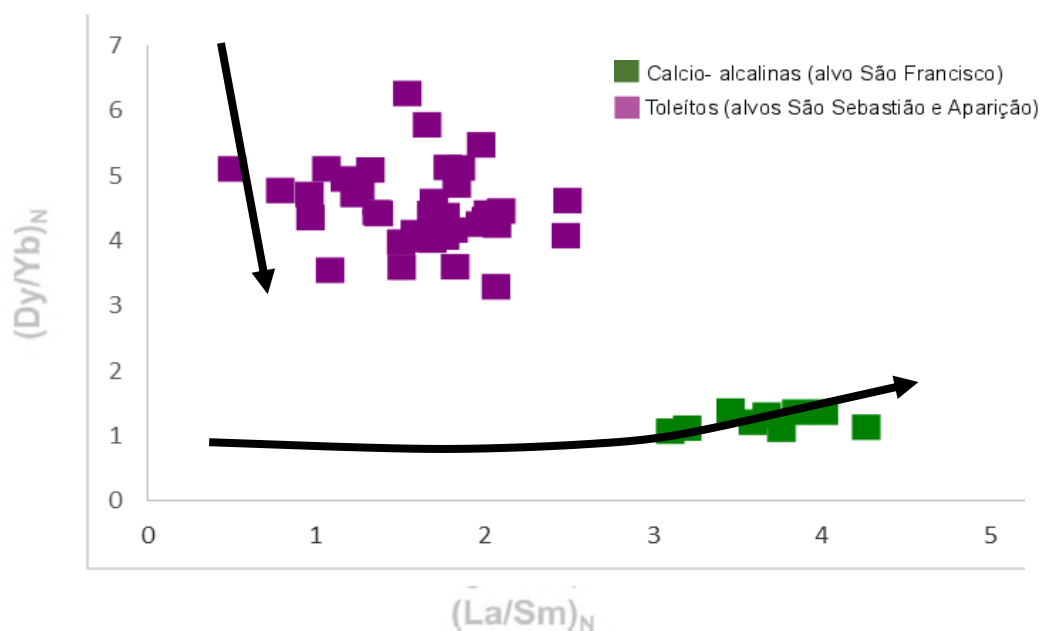


Figura 46 - a) Gráfico retirado de Klausen *et al.* (2017). Rochas máficas-ultramáficas e intermediárias do *Greenstone Belt* Pitangui. Dois grupos foram reconhecidos: um menos enriquecido composto por basaltos toleíticos e komatiitos e outro conjunto mais enriquecido com altos valores de $(La/Sm)_N$ composto por basaltos andesitos e andesitos.* Normalização de acordo com Sun e McDonough (1989) para manto primitivo.

O gráfico da **fig. 47** também retirado de Klausen *et al.* (2017) mostra a relação entre os parâmetros de Nb/Nb^* e $(La/Sm)_N$. Diminuindo gradualmente Nb/Nb^* as amostras dos alvos São Sebastião Aparição e São Francisco parecem refletir progressivamente uma maior incorporação de um "componente de zona de subducção" característico de manto parcialmente fundido. Outra hipótese para a variação destes parâmetros é que o "componente" tenha sido adquirido numa fase posterior, através de assimilação crustal

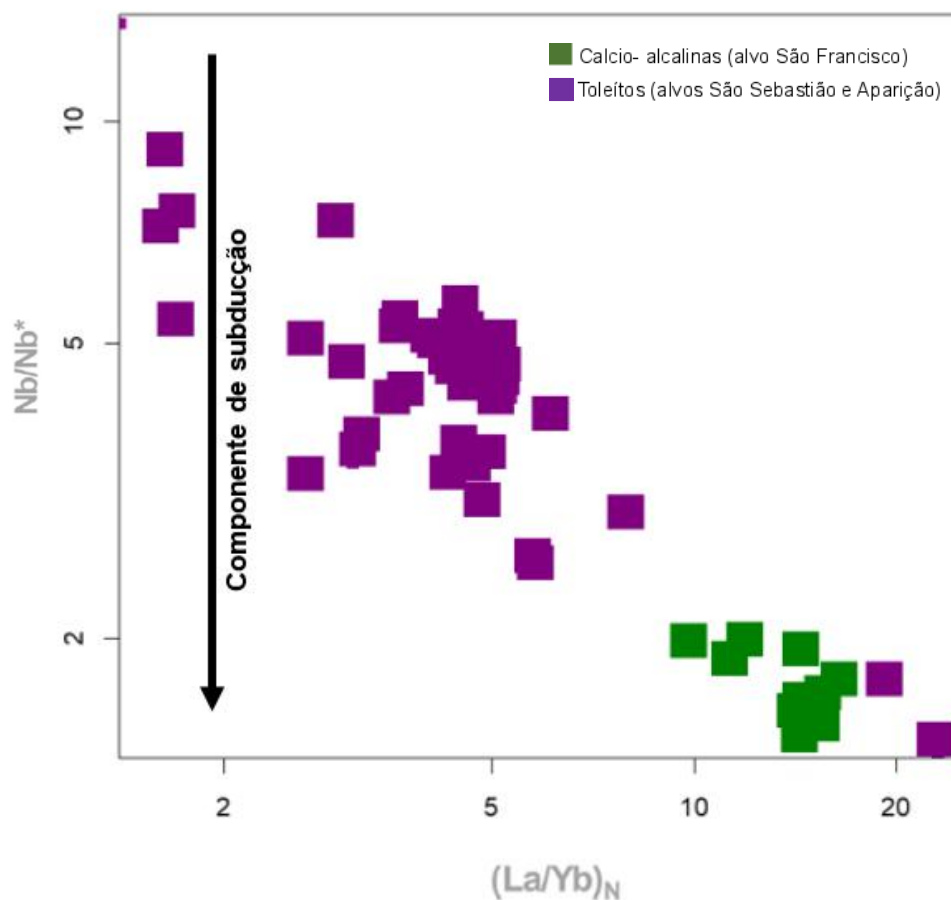


Figura 47 - a) diagrama retirado de Klausen *et al.* (2017) utilizado para região da Groenlândia mostrando a razão Nb/Nb^* [$=Nb_N / \sqrt{(Th_N \times La_N)}$] e $(La/Yb)_N$ normalizados para condrito (Boyton, 1984). Os autores reconheceram 4 grupos de rochas: I- anfibolitos; II – boninitos; III - picritos basaltos e basaltos enriquecidos; IV picritos basaltos; b) comparação com os dados de Klausen, onde o componente de subducção aumenta com o decréscimo de Nb/Nb^* e aumento de $(La/Yb)_N$.

A **fig. 48** expõe uma ideia da evolução tectônica e deposicional do Pitangui relacionando os dados obtidos neste trabalho e os realizados recentemente (Brando Soares *et al.*, 2017; Santos, 2017). Estes dados também foram comparados com a proposta de evolução tectono-sedimentar de Baltazar e Zucchetti para o Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero. O ciclo 1, se relaciona a um período tectônico extencional com rochas meta máficas e ultramáficas, correspondente a Unidade inferior do Pitangui. Este ciclo revela indícios de quietude tectônica com espessos pacotes de BIFs. O ciclo 2 associa-se a um período compressional com evolução de arcos magmáticos continentais e rochas cálcio-alcálinas que são sobrepostas por arenitos e conglomerados de leques turbidíticos distais.

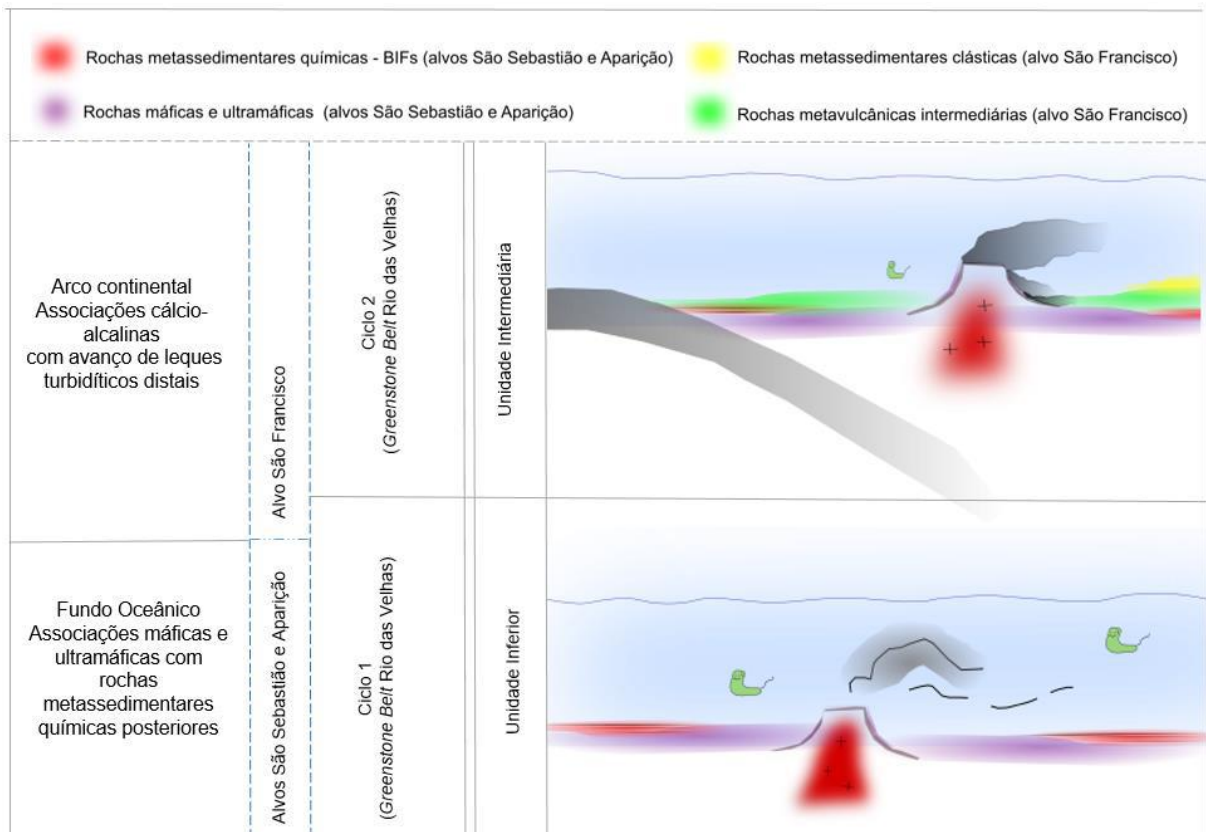


Figura 48 - Modelo sintético de evolução tectono-sedimentar para o *Greenstone Belt* Pitangui. Dados comparados com o modelo de Baltazar e Zucchetti (2007) para o *Greenstone Belt* Rio das Velhas.

6 CONCLUSÕES

A estratigrafia descrita para o alvo São Francisco consiste em rochas metavulcânicas calcio-alcálicas classificadas como basaltos, andesitos e basaltos andesíticos além de metavulcanoclásticas no conjunto A e rochas metassedimentares clásticas no conjunto B.

As rochas andesíticas do alvo São Francisco são provenientes de arco continental (**figs. 35 e 37**) e de acordo com os diagramas de classificação, os magmas a partir dos quais elas foram formadas sofreram contaminação crustal (**fig.36**).

A comparação dos dados litogeoquímicos com os alvos São Sebastião e Aparição exhibe claramente dois conjuntos magmáticos distintos. As rochas da Unidade Inferior se mostraram menos evoluídas que as do alvo São Francisco. Isto pode ser explicado por evolução magmática associada a tectônica na qual um ambiente de fundo oceânico (rochas máficas e ultramáficas) evolui para ambiente de arco continental (rochas cálcio-alcálicas).

Com relação ao setor sudoeste do Pitangui, as amostras possuem um caráter litogeoquímico mais evoluído se comparado aos alvos Aparição e São Sebastião, sendo mais semelhantes ao alvo São Francisco. Sugere-se aqui que as amostras estudadas pertencem à um nível estratigráfico similar ao do setor sudoeste do Pitangui.

A proposta de correlação entre os *Greenstones Belts* Pitangui e Rio das Velhas é reforçada com base nas comparações lito-estratigráficas e litogeoquímicas estabelecidas com os detalhamentos do alvo São Francisco. Este alvo ocupa o intervalo entre as Unidades Inferior e Intermediária do Pitangui e corresponde ao final do ciclo tectono-sedimentar 1 e 2 anteriormente propostos para o Rio das Velhas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, C., FARINA, F., LANA, C., STEVENS, G., STOREY, C., GERDES, A., e DOPICO, C. M. **Archean crustal evolution in the Southern São Francisco craton, Brazil: Constraints from U-Pb, Lu-Hf and O isotope analyses.** *Lithos*, p. 64-86, 2016.
- ALKMIM, F.; MARSHAK, S. **Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero.** *Precambrian Research*, v. 90, p. 29-58, 1998
- ALMEIDA, F e HASUI, Y. **O Pré-Cambriano do Brasil.** São Paulo, Editora Edgard Blücher, p. 349-365, 1984.
- ANGELI, G. **Arcabouço estrutural e contribuição à estratigrafia do Grupo Maquiné, Quadrilátero Ferrífero–Minas Gerais.** Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, 129p., 2016.
- BAIER, J; AUDÉTAT, A; KEPPLER, H. **The origin of the negative niobium tantalum anomaly in subduction zone magmas.** *Earth and Planetary Science Letters*, v. 267, n. 1, p. 290-300, 2008.
- BALTAZAR, O. F.; ZUCCHETTI, M. **Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits.** *Ore Geology Reviews*, v. 32, n. 3, p. 471-499, 2007.
- BOYNTON, W.V. **Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies.** *Developments in Geochemistry*, p. 63-114, 1984.
- BRANDO SOARES, M., NETO, A. V. C., ZEH, A., CABRAL, A. R., PEREIRA, L. F., DO PRADO, M. G. B., ... e SCHLICHTA, T. M. **Geology of the Pitangui Greenstone Belt, Minas Gerais, Brazil: Stratigraphy, geochronology and BIF geochemistry.** *Precambrian Research*, v. 291, p. 17-41, 2017.
- CABRAL, A. R., e NETO, A. V. C. **Empirical Bi_8Te_3 and Bi_2Te From the São Sebastião Gold Deposit, Brazil: Implications For Lode-Gold Mineralization In Minas Gerais.** *The Canadian Mineralogist*, p.1061-1072, 2016.
- CARNEIRO, M. **O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, MG): Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano.** Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 258p., 1992.
- CHEMALE, F; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. **The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.** *Precambrian Research*, v. 65, n. 1-4, p.25-54, 1994.

CLOUT, J.M.F., **Structural and isotopic studies of the Golden Mile goldtelluridedeposit, Kalgoorlie, WA**: Ph.D. thesis, Melbourne, Australia, Monash University, 352p., 1989.

CONDIE, K. C.; NUTER, Janet A. **Geochemistry of the Dubois greenstone succession: An early Proterozoic bimodal volcanic association in west-central Colorado**. Precambrian Research, v. 15, n. 2, p.131-155, 1981.

CORREA NETO, A. V., DE ALMEIDA, A. M. e GUERRERO, J. C. **Alteração hidrotermal em zona de cisalhamento associada ao Lineamento Congonhas, sul do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 35(2), p. 55-64, 2012.

DA SILVA, W. **Evolução tectonotermal e processos multifásicos de mineralização de ouro no Depósito Turmalina, Quadrilátero Ferrífero, Brasil: geologia, análise estrutural, geotermometria e isótopos de enxofre**, 108p., 2016.

DIMROTH, E; LICHTBLAU, A. P. **Metamorphic evolution of Archean hyaloclastites, Noranda area, Quebec, Canada. Part I: Comparison of Archean and Cenozoic sea-floor metamorphism**. Canadian Journal of Earth Sciences, v. 16, n. 7, p. 1315-1340, 1979.

DE ROSEN-SPENCE, A. F., PROVOST, G., DIMROTH, E., GOCHNAUER, K., and OWEN, V. **Archean subaqueous felsic flows, Rouyn-Noranda, Quebec, Canada, and their Quarternary equivalents**. Precambrian Research, p.43-77, 1980.

DE WIT, M. J. **Gliding and overthrust nappe tectonics in the Barberton greenstone belt**. Journal of Structural Geology, v. 4, n. 2, p. 117-136, 1982.

DORR, J. V. N.; II, Gair. JB, and Ryneerson. **A revisão estratigráfica pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero**, Rio de Janeiro:DNPM/DFPM, 31p., 1957.

DORR, John Van Nostrand. **Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. US Government Printing Office, 110p., 1969.

ELBURG, M. A., VAN BERGEN, M., HOOGEWERFF, J., FODEN, J., VROON, P., ZULKARNAIN, I., & NASUTION, A. **Geochemical trends across an arc-continent collision zone: magma sources and slab-wedge transfer processes below the Pantar Strait volcanoes, Indonesia**. Geochimica et Cosmochimica Acta, p. 2771-2789, 2002.

ENDO, I. **Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozoico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 237p., 1997.

EWART, A.; HERGT, J. M.; HAWKINS, J. W. 29. **Major element, trace element, and isotope (Pb, Sr, and Nd) geochemistry of Site 839 basalts and basaltic andesites: implications for arc volcanism.** In: Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results. 519p., 1994.

FARINA, F.; ALBERT, C.; LANA, C.. **The Neoproterozoic transition between medium- and high-K granitoids: Clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil).** Precambrian Research, v. 266, 375-394p., 2015.

FUCK, R. A., DANTAS, E. L., PIMENTEL, M. M., BOTELHO, N. F., ARMSTRONG, R., LAUX, J. H., ... e PRAXEDES, I. F. **Paleoproterozoic crust-formation and reworking events in the Tocantins Province, central Brazil: A contribution for Atlantica supercontinent reconstruction.** Precambrian Research, v. 244, p. 53-74 2014.

FURNES, H.; DE WIT, M.; ROBINS, B. **A review of new interpretations of the tectonostratigraphy, geochemistry and evolution of the Onverwacht Suite, Barberton Greenstone Belt, South Africa.** Gondwana Research, v. 23, n. 2, p. 403-428, 2013.

GAIR, J. **Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil.** Geological survey professional paper 341-A, 67p, 1962.

GIBSON, W. **The geology of the gold-bearing and associated rocks of the southern Transvaal.** Quarterly Journal of the Geological Society, v. 48, n. 1-4, p. 404-437, 1892.

GUADAGNIN, F., CHEMALE, F., MAGALHÃES, A. J., SANTANA, A., DUSSIN, I., e TAKEHARA, L. **Age constraints on crystal-tuff from the Espinhaço Supergroup—Insight into the Paleoproterozoic to Mesoproterozoic intracratonic basin cycles of the Congo–São Francisco Craton.** Gondwana Research, 27(1), 363-376, 2015.

GORTON, M. P.; SCHANDL, E. S. **From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks.** The Canadian Mineralogist, v. 38, n. 5, p. 1065-1073, 2000.

HARTMANN, L. A., ENDO, I., SUITA, M. T. F., SANTOS, J. O. S., FRANTZ, J. C., CARNEIRO, M. A., ... E BARLEY, M. E. **Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U–Pb isotopes.** Journal of South American Earth Sciences, v. 20(4), p. 273-285, 2006.

Hollocher, K., Robinson, P., Walsh, E., e Roberts, D. **Geochemistry of amphibolite-facies volcanics and gabbros of the Støren Nappe in extensions west and southwest of Trondheim, Western Gneiss Region, Norway: a key to correlations and paleotectonic settings.** American Journal of Science, 312(4), p. 357-416, 2012.

HUSSAK, E. **O palladio e a platina no Brasil:** Escola de Minas de Ouro Preto Annaes, v. 8. 1906

IRVINE, T. N. J.; BARAGAR, W. R. A. F. **A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks.** Canadian journal of earth sciences, v. 8, n. 5, p. 523-548, 1971.

JANOŠEK, V.; FARROW, C. M.; ERBAN, V. **Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit).** Journal of Petrology, v. 47, n. 6, p. 1255-1259, 2006.

JENNER, G. A., CAWOOD, P. A., RAUTENSCHLEIN, M., E WHITE, W. M. **Composition of back-arc basin volcanics, Valu Fa Ridge, Lau Basin: evidence for a slab-derived component in their mantle source.** Journal of Volcanology and Geothermal Research, 32(1-3), 209-222. 1987

JENSEN, L. S. **A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks.** Ministry of Natural Resources, 1976.

JENSEN, Sven Monrad. **Tertiary mineralization and magmatism, East Greenland: lead isotope evidence for remobilization of continental crust.** Chemical Geology, v. 150, n. 1, p. 119-144, 1998

KLAUSEN, M. B., SZILAS, K., KOKFELT, T. F., KEULEN, N., SCHUMACHER, J. C., & BERGER, A. **Tholeiitic to calc-alkaline metavolcanic transition in the Archean Nigerlikasik Supracrustal Belt, SW Greenland.** Precambrian Research, 302, 50-73, 2017.

KOGLIN, N., ZEH, A., CABRAL, A. R., GOMES, A. A. S., NETO, A. V. C., BRUNETTO, W. J., e GALBIATTI, H. **Depositional age and sediment source of the auriferous Moeda Formation, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil: New constraints from U–Pb–Hf isotopes in zircon and xenotime.** Precambrian Research, 255, 96-108, 2014.

LADEIRA, E. A. **Primeiras lavas com almofadas pillows encontradas no Supergrupo Rio das Velhas, de idade arqueana, no Quadrilátero Ferrífero e no distrito de Pitangui, Minas Gerais.** Ciências da Terra, v. 1, p. 122-14, 1981.

LANA, C., ALKMIM, F. F., ARMSTRONG, R., SCHOLZ, R., ROMANO, R., & NALINI, H. A. **The ancestry and magmatic evolution of Archean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero Province, Southeast Brazil.** Precambrian Research, 231, 157-173. 2013.

LOBATO, L., RIBEIRO-RODRIGUES, L., ZUCCHETTI, M., NOCE, C., BALTAZAR, O., DA SILVA, L., & PINTO, C. **Brazil's premier gold province. Part I: The tectonic, magmatic, and structural setting of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero.** Mineralium Deposita, 36(3), 228-248. 2001.

LOFGREN, G. **Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glass.** Geological Society of America Bulletin, v. 82, n. 1, p. 111-124, 1971.

MACHADO, N.; CARNEIRO, M. **U–Pb evidence of late Archean tectono-thermal activity in the southern São Francisco shield, Brazil.** Canadian Journal of Earth Sciences, v. 29, n. 11, p. 2341-2346, 1992.

LOBATO, L., RIBEIRO-RODRIGUES, L., ZUCCHETTI, M., NOCE, C., BALTAZAR, O., DA SILVA, L., e PINTO, C. **Brazil's premier gold province. Part I: The tectonic, magmatic, and structural setting of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero.** Mineralium Deposita, 36(3), 228-248. 2001.

MACHADO, N., SCHRANK, A., NOCE, C. M., & GAUTHIER, G. **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 and Planetary Science Letters, 141(1-4), 259-276. 1996

MARSHAK, S; ALKMIM, F. **Proterozoic contraction/extension tectonics of the southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil.** Tectonics, v. 8, n. 3, p. 555-571, 1989.

MCLENNAN, Scott M.; TAYLOR, S. R. **Role of subducted sediments in island-arc magmatism: constraints from REE patterns.** Earth and Planetary Science Letters, v. 54, n. 3, p. 423-430, 1981.

MOREIRA, H.; LANA, C.; NALINI, H. A.. **The detrital zircon record of an Archaean convergent basin in the Southern São Francisco Craton, Brazil.** Precambrian Research, v. 275, p. 84-99, 2016

MUELLER, W.; WHITE, J. DL. **Felsic fire-fountaining beneath Archean seas: pyroclastic deposits of the 2730 Ma Hunter Mine Group, Quebec, Canada.** Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 54, n. 1-2, p. 117-134, 1992.

NOCE, C. M.; TASSINARI, C.; LOBATO, L. M. **Geochronological framework of the Quadrilátero Ferrífero, with emphasis on the age of gold mineralization hosted in Archean Greenstone Belts.** Ore Geology Reviews, v. 32, n. 3, p. 500-510, 2007.

Noce, C. M., Zuccheti, M., Baltazar, O. F., Armstrong, R., Dantas, E., Renger, F. E., e Lobato, L. M. **Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the evolution of the Neorchean Rio das Velhas Greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil): U–Pb zircon dating of volcanoclastic graywackes.** Precambrian Research, 141(1), 67-82. 2005

OPLUŠTIL, S; MARTÍNEK, K; TASÁRYOVÁ, Z. **Facies and architectural analysis of fluvial deposits of the Nýřany Member and the Týnec Formation (Westphalian D–Barruelian) in the Kladno-Rakovník and Pilsen basins.** Bulletin of Geosciences, v. 80, n. 1, p. 45-66, 2005.

O'ROURKE, J. E. **The stratigraphy metamorphic rocks of the Rio das Pedras and Gandarela Quadrangles, Minas Gerais, Brazil.** University of Wisconsin, EUA. Tese de Doutorado. PhD Thesis, 106p. 1957

PEARCE, J.A., CANN, J.R., Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.* Vol. 19 (2), 290–300. 1973

PEARCE, J. A. **Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries.** *Andesites*, v. 8, p. 525-548, 1982.

PEARCE, J. A.; PARKINSON, I. J. **Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis.** Geological Society, London, Special Publications, v. 76, n. 1, p. 373-403, 1993.

PEARCE, J. A. **A user's guide to basalt discrimination diagrams. Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration.** Geological Association of Canada, Short Course Notes, v. 12, n. 79, p. 113, 1996.

PEARCE, J. A. **Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust.** *Lithos*, v. 100, n. 1, p. 14-48, 2008.

PICHLER, H.. **Acid hyaloclastites.** *Bulletin Volcanologique*, v. 28, n. 1, p. 293-310, 1965.

PILOTE, J.-L.; PIERCEY, S. J.; MERCIER-LANGEVIN, P.. **Volcanic and Structural Reconstruction of the Deformed and Metamorphosed Ming Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Canada: Implications for Ore Zone Geometry and Metal Distribution.** *Economic Geology*, v. 112, n. 6, p. 1305-1332, 2017.

PINTO, C.P., SILVA, M.A.,. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais.** CODEMIG, Governo de Minas, CPRM, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, Governo Federal do Brasil. 2014

REAGAN, M. K., ISHIZUKA, O., STERN, R. J., KELLEY, K. A., OHARA, Y., BLICHERT-TOFT, J., ... e HICKEY-VARGAS, R. **Fore-arc basalts and subduction initiation in the Izu-Bonin-Mariana system.** *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(3). 2010

REIS, N. J., TEIXEIRA, W., HAMILTON, M. A., BISPO-SANTOS, F., ALMEIDA, M. E., & D'AGRELLA-FILHO, M. S. **Avanavero mafic magmatism, a late Paleoproterozoic LIP in the Guiana Shield, Amazonian Craton: U–Pb ID-TIMS baddeleyite, geochemical and paleomagnetic evidence.** *Lithos*, 174, 175-195. 2013

RIBEIRO-RODRIGUES, L.; DE OLIVEIRA, C. G.; FRIEDRICH, G.. **The Archean BIF-hosted Cuiabá Gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Ore Geology Reviews, v. 32, n. 3, p. 543-570, 2007.

ROMANO, A. **Programa Geologia do Brasil. Folha Pará de Minas. SE-23-Z-CI**. Escala 1: 100.000, relatório final. UFMG-CPRM, Belo Horizonte. 72p, 2007.

ROMANO, R., LANA, C., ALKMIM, F. F., STEVENS, G., & ARMSTRONG, R. **Stabilization of the southern portion of the São Francisco craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism**. Precambrian Research, 224, 143-159. 2013

RPA Consulting and Jaguar Mining Inc.. **Technical Report on the Turmalina Mine, Minas Gerais State, Brazil**, 175p. 2017

SANTOS, K. N. D. S. **Caracterização estratigráfica e geoquímica das rochas metavulcânicas do alvo Aparição, Onça do Pitangui - Mg** / Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Trabalho Final de Curso, 71 p, 2017.

SCROPE, G. P.. **The geology and extinct volcanos of central France**. J. Murray, Livro, 1858.

SILVA S. L., MONTEIRO E. A., BALTAZAR O. F., Estratigrafia. In: Silva S. L., Baltazar O. F. Zucchetti M. (eds.) **Projeto APA Sul RMBH: geologia, mapa geológico, escala 1:50.000 em 3 partes**. Belo Horizonte, CPRM, 61p. 2005.

SILVA, C. M. G. **Aplicação de isótopos radiogênicos na mineralização de ouro da mina Cuiabá, Greenstone Belt Rio das Velhas (MG)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 138p, 2006.

SILVA, F. R. **A paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG: Potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 144p. 2007.

SILVA, P. D. M. **Evolução meso e neoarqueana do Greenstone belt de Pitangui e seu embasamento, sul do Cráton do São Francisco (MG): petrografia, geoquímica e geocronologia**. Programa de Pós-graduação em Geologia, Unicamp, Campinas – SP, 93p, 2016.

SIIVOLA, J.; SCHMID, R. **List of mineral abbreviations. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the systematics of metamorphic rocks**. 2007.

SIMPSONCAROL, E STACEYMCVANEY; **Gawler Range Volcanics at Six Mile Hill.**, Drilling Program (MSDP), MESA Journal 84 – V. 3; 7p, 2017.

SRK CONSULTING AND IAMGOLD CORPORATION. **Independent Technical Report for the São Sebastião Gold Deposit, Pitangui Project**, Brazil. 84p, 2014.

STEADMAN, J. A., LARGE, R. R., MEFFRE, S., OLIN, P. H., DANYUSHEVSKY, L. V., GREGORY, D. D., ... & HOLDEN, P. (2015). **Synsedimentary to early diagenetic gold in black shale-hosted pyrite nodules at the Golden Mile Deposit, Kalgoorlie, Western Australia**. *Economic Geology*, 110(5), p.1157-1191, 2015.

STEWART, A. L.; MCPHIE, J.. **Internal structure and emplacement of an Upper Pliocene dacite cryptodome, Milos Island, Greece**. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 124, n. 1, p. 129-148, 2003.

STRAUB, S. M.; ZELLMER, G. F. **Volcanic arcs as archives of plate tectonic change**. *Gondwana Research*, v. 21, n. 2, p. 495-516, 2012.

SUN, S., MCDONOUGH, W.F., **Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes**. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 42, p.313–345. 1989.

TEIXEIRA, W., CARNEIRO, M. A., NOCE, C. M., MACHADO, N., SATO, K., & TAYLOR, P. N.. **Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archaean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco Craton, Brazil**. *Precambrian Research*, v. 78, p. 151-164. 1996.

TEIXEIRA, W., ÁVILA, C. A., DUSSIN, I. A., NETO, A. C., BONGIOLO, E. M., SANTOS, J. O., & BARBOSA, N. S. **A juvenile accretion episode (2.35–2.32 Ga) in the Mineiro belt and its role to the Minas accretionary orogeny: Zircon U–Pb–Hf and geochemical evidences**. *Precambrian Research*, 256, 148-169. 2015.

VELÁSQUEZ. **Evolução termocronológica e metalogenética da mineralização aurífera do depósito turmalina, Quadrilátero Ferrífero-MG**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 148p, 2011.

VERMA, S. K., OLIVEIRA, E. P., SILVA, P. M., MORENO, J. A., & AMARAL, W. S. **Geochemistry of komatiites and basalts from the Rio das Velhas and Pitangui greenstone belts, São Francisco Craton, Brazil: Implications for the origin, evolution, and tectonic setting**. *Lithos*, 284, 560-577. 2017.

ZALÁN, P.V. & SILVA, P. C. R.. **Bacia do São Francisco**. In: Y. Hasui, C. D. R. Carneiro; F. F. M. de Almeida; A. Bartorelli. *Geologia do Brasil*. São Paulo, Beca-BALL Edições Ltda, p. 245-247. 2012.

ZHANG, H. F., SUN, M., ZHOU, X. H., ZHOU, M. F., FAN, W. M., & ZHENG, J. P. **Secular evolution of the lithosphere beneath the eastern North China Craton: evidence from Mesozoic basalts and high-Mg andesites**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 4373-4387. 2003.

ZUCCHETTI, M.; LOBATO, L. M.; BAARS, F. J. **Genetically diverse basalt geochemical signatures developed in the Rio das Velhas Greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.** Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 3, p. 397-402, 2000.

WHELLER, G. E., VARNE, R., FODEN, J. D., & ABBOTT, M. J. **Geochemistry of Quaternary volcanism in the Sunda-Banda arc, Indonesia, and three-component genesis of island-arc basaltic magmas.** Journal of Volcanology and Geothermal Research, 32(1), 137-160. 1987.

WHITE, J. D. L.; HOUGHTON, B. F. **Primary volcanoclastic rocks.** Geology, v. 34, n. 8, p. 677-680, 2006.

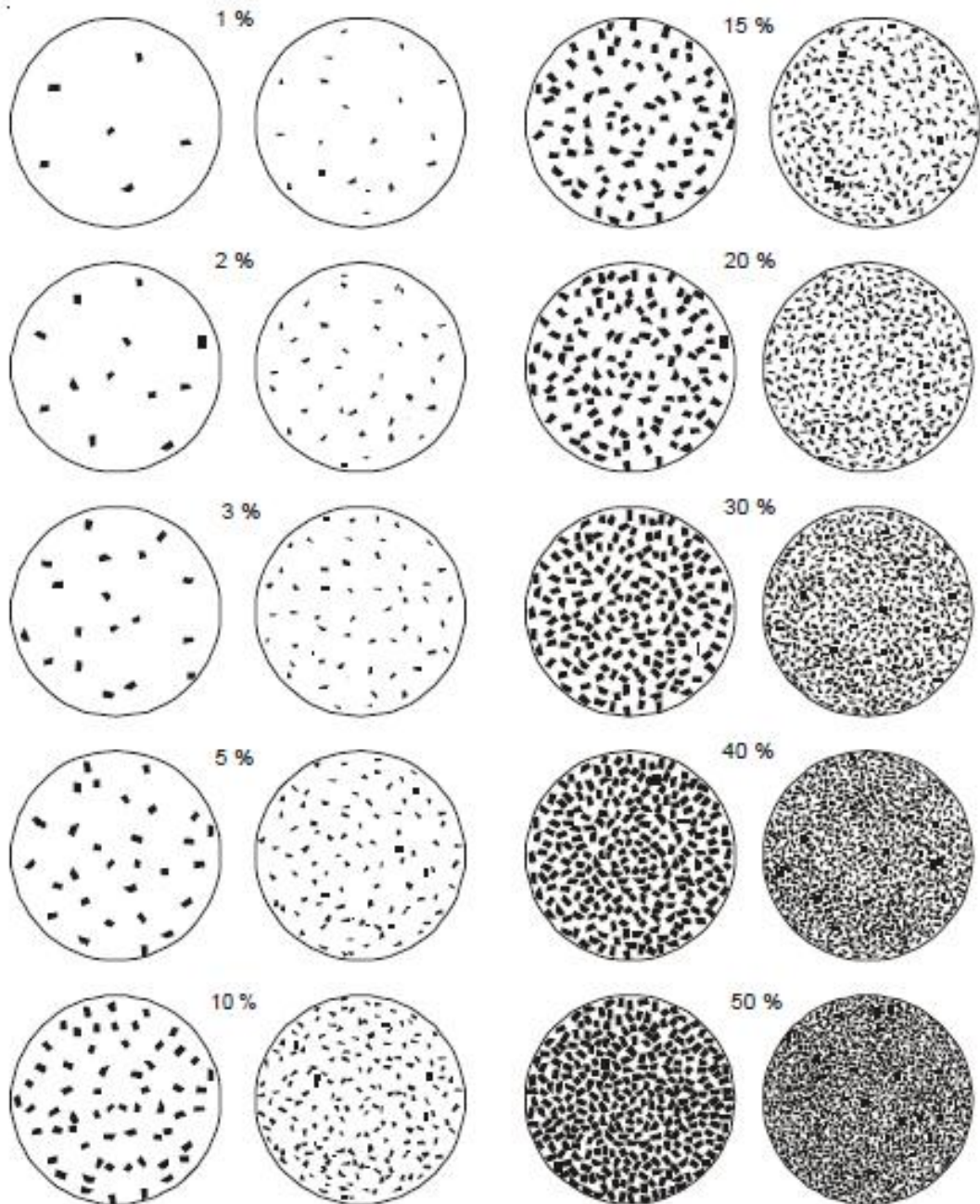
WHITE, J. D. L.; MCPHIE, J.; SOULE, S. A. **Submarine lavas and hyaloclastite.** The Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press Ltd, H Sigurdsson, B Houghton, H Rymer, J Stix, S McNutt (ed), Londonp.363-375, 2015.

WOOD, David A. **The application of a Th,Hf,Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province.** Earth and planetary science letters, v. 50, n. 1, p. 11-30, 1980.

8 ANEXOS

Anexo A - Listagem das amostras coletadas para confecção de lâminas delgadas

Furo	Prof.	Litotipos afaníticos	Furo	Profundidade	Litotipos afaníticos
FSF002	62,51	meta-ígne intermediária	FSF005	344,53	meta-ígne intermediária
FSF003	122,26	meta-ígne intermediária	FSF005	361,0	meta-ígne intermediária
FSF003	152,20	meta-ígne intermediária	FSF005	372,0	metavulcanoclás tica
FSF003	336,38	meta-ígne intermediária	FSF005	373,0	metavulcanoclás tica
FSF003	359,59	metavulcanoclástica	FSF005	390,0	meta-ígne intermediária
FSF003	363,27	metavulcanoclástica	FSF006	116,0	meta-ígne intermediária
FSF003	389,85	meta-ígne intermediária	FSF006	191,47	meta-ígne intermediária
FSF005	199,13	meta-ígne intermediária	FSF006	198,4	meta-ígne intermediária
FSF005	214,75	meta-ígne intermediária	FSF006	206,67	meta-ígne intermediária
			FSF006	207,44	meta-ígne intermediária
FSF005	253,83	meta-ígne intermediária	* Local de produção das amostras de rocha delgadas: Laboratório de Laminação M3GL * Local de leitura: Laboratório de Petrologia Sedimentar da UFRJ, LAGESED		
FSF005	262,68	meta-ígne intermediária			

Anexo B - Folha padrão para análise modal semi-quantitativa por visada

Anexo C - Tabela de abreviações dos minerais segundo recomendação do IUGS

Mineral	Abreviatura
Actinolita	Act
Arsenopirita	Apy
Biotita	Bt
Carbonato	Cb
Clinosoizita	Czo
Clorita	Chl
Cloritóide	Cld
Epidoto	Ep
Feldspato	Fsp
Magnetita	Mag
Muscovita	Ms
Pirita	Py
Pirrotita	Po
Plagioclásio	Pl
Quartzo	Qtz
Titanita	Ttn
Tremolita	Tr

Anexo D - alvo São Francisco - Resultados de análises químicas

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Furo	FSF005	FSF005	FSF005	FSF005	FSF005	FSF005	FSF006	FSF006	FSF006	FSF006
Profundidade (m)	204,85	214,93	2060,15	273,2	364,22	389,64	111,16	191,11	208,47	331,03
Wt (%)	0,28	0,28	0,74	0,3	0,54	0,5	0,27	0,27	0,24	0,22
(%)										
SiO ₂	60,151	62,304	64,390	60,192	58,617	59,377	61,553	53,733	58,856	64,286
Fe ₂ O ₃	10,046	7,001	6,901	9,165	10,358	8,831	13,572	8,255	8,108	4,202
Al ₂ O ₃	14,906	14,423	15,102	14,864	14,094	14,639	15,154	19,996	16,529	20,282
MgO	7,301	4,510	5,089	5,098	4,220	4,476	4,132	3,999	3,882	4,588
CaO	2,693	4,982	2,529	5,046	7,390	6,969	1,228	5,240	4,903	0,334
K ₂ O	0,631	1,055	1,874	0,569	1,333	0,751	2,540	1,866	1,051	4,505
Na ₂ O	3,030	4,560	2,826	3,919	2,776	3,745	0,583	5,240	5,186	0,282
MnO	0,126	0,121	0,072	0,169	0,151	0,170	0,125	0,103	0,152	0,031
TiO ₂	0,947	0,884	1,024	0,832	0,899	0,881	0,937	1,415	1,122	1,251
P ₂ O ₅	0,168	0,161	0,195	0,147	0,162	0,160	0,177	0,154	0,202	0,229
Cr ₂ O ₃	<0.01	<0.02	<0.03	<0.04	<0.05	<0.06	<0.07	<0.08	0,010	0,010
SrO	0,010	0,030	0,010	0,020	0,040	0,030	0,010	0,040	0,030	0,010
BaO	<0.01	0,040	0,010	<0.01	0,010	0,020	0,060	0,050	0,010	0,030
Total	100,010	100,070	100,020	100,020	100,050	100,050	100,070	100,090	100,040	100,040

Anexo E - alvo São Francisco - Resultados de análises químicas

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Furo	FSF005	FSF005	FSF005	FSF005	FSF005	FSF005	FSF006	FSF006	FSF006	FSF006
Profundidade (m)	204,85	214,93	2060,15	273,2	364,22	389,64	111,16	191,11	208,47	331,03
(ppm)										
W	2	1	1	1	1	1	4	1	2	3
Y	24,4	24,8	26,5	22,5	25,6	24	24,4	38,2	29,8	27,8
Yb	2,53	2,24	2,88	2,25	2,32	2,29	2,65	3,65	2,83	3,16
Zr	149	147	169	131	145	134	167	243	177	221
Ag	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cd	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Co	32	40	33	37	33	38	30	35	39	38
Cu	1	29	20	13	8	58	1	1	58	<1
Li	40	20	40	30	20	10	50	40	20	40
Mo	1	1	3	1	<1	<1	<1	1	1	1
Ni	13	15	11	19	23	29	11	12	14	15
Pb	2	14	7	11	6	6	<2	4	9	30
Sc	27	29	29	28	29	29	26	37	32	35
Zn	126	105	72	139	100	107	95	106	136	32
As	0,4	7,2	4,1	1,6	0,6	1	0,3	0,6	1,6	22,8
Bi	<0.01	0,1	0,18	0,04	<0.01	0,03	0,01	0,04	0,06	0,1
	<0.00	<0.00		<0.00	<0.00		<0.00	<0.00		0,00
Hg	5	5	0,01	5	5	0,005	5	5	0,01	6
			0,03						0,02	0,00
In	0,052	0,026	6	0,04	0,014	0,016	0,028	0,032	1	7
		<0.00	0,00			<0.00	<0.00		0,00	0,00
Re	0,001	1	1	0,001	0,001	1	1	0,002	2	1
										<0.0
Sb	0,06	0,44	0,23	0,11	0,21	0,42	<0.05	0,14	0,17	5
Sc	21,2	5	18,2	25,1	6,1	5,3	10,6	12,3	6,9	3,7
Se	<0.2	0,3	0,5	0,4	<0.2	0,2	<0.2	0,5	0,6	0,3
			<0.0						<0.0	
Te	<0.01	<0.01	1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1	0,01
Tl	<0.02	0,09	0,09	0,03	0,18	0,04	0,11	0,11	0,02	0,09

Anexo F - Relação de amostras submetidas a análises químicas

Origem da amostra	Profundidade de seleção (m)	Litotipo (def. macroscópica)
FSF005	204.85	metavulcânica
FSF005	214.93	metavulcânica
FSF005	260.15	metavulcânica
FSF005	273.20	metavulcânica
FSF005	364.22	metavulcânica
FSF005	389.64	metavulcânica
FSF006	111.36	metavulcânica
FSF006	191.11	metavulcânica
FSF006	208.47	metavulcânica
FSF006	331.03	metavulcânica

* As amostras foram analisadas no laboratório ALS Global, em Belo Horizonte, Minas Gerais.

* Análises submetidas: (1) ICPME, para elementos maiores; (2) ICPMS, para elementos traço.