



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Cibele Tunussi

**INTEGRAÇÃO DE DADOS MULTIFONTE PARA
CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS DE ALTERAÇÃO
HIDROTERMAL ASSOCIADAS ÀS MINERALIZAÇÕES DE
OURO NO *GREENSTONE BELT* ANDORINHAS, PROVÍNCIA
MINERAL DE CARAJÁS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 304

**Brasília – DF
2012**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Cibele Tunussi

**INTEGRAÇÃO DE DADOS MULTIFONTE PARA
CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS DE ALTERAÇÃO
HIDROTERMAL ASSOCIADAS ÀS MINERALIZAÇÕES DE
OURO NO *GREENSTONE BELT* ANDORINHAS, PROVÍNCIA
MINERAL DE CARAJÁS.**

Dissertação de Mestrado nº 304

Área de Concentração: Geologia Econômica e Prospecção Mineral

Orientador:

Prof. Dra. Adalene Moreira Silva (UnB)

Co-orientador:

Prof. Dra. Catarina Labouré Bemfica Toledo (UnB)

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Adalene Moreira Silva (UnB)

Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira (UFPR)

Prof. Dra. Márcia Abrahão Moura (UnB)

**Brasília – DF
2012**

*Aos queridos Eduardo, Carlos e Paulo (in memoriam)
com carinho.*

AGRADECIMENTOS

Desde o início, diversas pessoas colaboraram muito para que eu pudesse chegar até aqui!

Agradeço primeiramente à Deus e à minha família. Em especial ao Carlos que me apoiou em todos os momentos, segurando a onda como pai e mãe diversas vezes nesses anos, pelas discussões geológicas e não geológicas, pelo carinho e por agüentar todos os desequilíbrios e insanidades de uma pessoa terminando uma dissertação! E ao Eduardo, o amor da minha vida! Duco, obrigada por ser sempre essa criança tão especial e carinhosa. Aguentando firme a minha ausência. Você me deu muita força para continuar! Amo muito vocês!

Ao meu querido pai Paulo (*in memorian*) que sempre me incentivou e me apoiou em minhas decisões. Paizinho, obrigada por ter sido sempre maravilhoso, pelas conversas, companhia e pelos ensinamentos de vida. Ao meu irmão Renan e à Elaine que nos abençoaram este ano com a pequena Julia, a tia está muito longe, mas tem vocês no coração!! Seja bem vinda! E à minha irmã Carla e minha mãe Regina (*in memorian*). À minha Nona Ângela (*in memorian*) sempre muito sábia e carinhosa.

À Maria Izabel por toda a ajuda nesses anos e pelas orações e força. À Ellen e Andrea e seus respectivos esposos Joaquim e Delson obrigada por me receberem tão bem na família e torcerem por mim. E à querida Juju, a tia te ama!

Às Professoras Adalene Moreira Silva e Catarina L. B. Toledo pela confiança em me orientar, pelos ensinamentos e por dar todo o apoio para a realização e conclusão deste trabalho.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de mestrado.

À empresa Reinarda Mineração Ltda./Troy Brasil Ltda. pelo apoio à pesquisa e liberação dos dados utilizados nesta dissertação nas pessoas dos geólogos Augusto Mol, Rodrigo Cortez e Ezequiel Costa e Silva. À toda equipe de exploração do Projeto Andorinhas por darem todo o suporte de que precisava em Rio Maria, ao Ezequiel Costa e Silva e Rodrigo Cortez por toda ajuda e acompanhamento em campo, e aos auxiliares Daniel Pereira de Souza, Jonildo Marques de Souza, Luismar Nascimento da Silva e Jaime Soares da Silveira pelo acompanhamento em campo e grande ajuda na aquisição dos dados de propriedades

físicas e organização da amostragem. E à equipe da Geologia de mina todos muito solícitos em minha estada no projeto.

Ao Instituto de Geociências pela disponibilização dos equipamentos geofísicos e laboratórios para desenvolvimento da pesquisa. Aos funcionários e professores do instituto.

À UFG campus Catalão (GO) na pessoa do professor Henrique Senna Diniz pela disponibilização do laboratório de microscopia óptica nas minhas idas e vindas.

Ao geofísico de exploração João Paulo de Souza por estar na hora e no lugar certo! Idéias trocadas no boteco em Rio Maria e auxílio no *target*.

Às minhas queridas amigas do coração Jana, Joaquina, Julia, Lu e Naná! Muito obrigada pela energia positiva sempre, pelas conversas, apoio e pela nossa amizade! Julieta (e Jonas), muito obrigada também pelo abrigo em sua morada! Foi sempre muito divertido e de grande ajuda!

À Kênia e Carlão pelo incentivo! Nunca vou esquecer o que fizeram por mim!

À Prof. Adriana Chatack Carmelo pela sensibilidade e disposição em ajudar.

Aos amigos que fiz aqui em Brasília: Rapha e Eduardo, Icília “o universo conspira a nosso favor!”, Lara, Martinha, Giana, Jéssica, Lorena, Moeme, Milton, Hudson, Allany, Ana, Heriscart, Artur, Marcelo e Christopher. Obrigada pela ajuda e companhia.

Aos meus amigos da “Cataluña” Dri (valeu toda a força, amizade e energia positiva!!!) Pampers (pelas discussões geológicas), Matheus (pela ajuda, pelas chamadas e amizade), Gláucia, Leidi, Thales e Família Lupa, pelos momentos de descontração, conversas e cervejinhas e Joyce pela ajuda com o inglês.

À Tina por “segurar a barra” lá em casa.

Aos professores Francisco José Fonseca Ferreira e Márcia Abrahão Moura por aceitarem o convite para participação da banca examinadora e pelas contribuições para o trabalho.

À Geologia por ser sempre um desafio!!

E finalmente ao bom e velho Rock’n Roll!!!! Que fez das inúmeras horas solitárias de estrada momentos mais agradáveis.

INTEGRAÇÃO DE DADOS MULTIFONTE PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL ASSOCIADAS ÀS MINERALIZAÇÕES DE OURO NO *GREENSTONE BELT* ANDORINHAS, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS.

RESUMO

A Província Mineral de Carajás (PMC) está localizada na parte oriental do Cráton Amazônico. Ao Sul dessa província, no Domínio Rio Maria, há depósitos de ouro tipo *lode* hospedados nas sequências vulcanossedimentares mesoarqueanas do tipo *greenstone belt*. A área de estudo está localizada no *greenstone belt* Andorinhas próximo à cidade de Rio Maria onde há ocorrências e depósitos auríferos e a mina de ouro do Mamão atualmente em atividade. A mineralização está hospedada em metabasaltos intensamente hidrotermalizados, podendo ocorrer intercalações de formações ferríferas e rochas metassedimentares. Esta pesquisa objetivou o estudo dos halos de alteração hidrotermal em metabasaltos e das zonas mineralizadas a partir de dados petrográficos, geoquímicos e de propriedades físicas de rocha.

Para realização desse estudo, foi realizado trabalho de campo, descrição de furos de sondagem e coleta de amostras de três furos que cortam diferentes corpos mineralizados, dois deles explorados na Mina do Mamão (corpo Melechete e corpo M2) e o outro corpo considerado subeconômico (Luiza). Medidas de propriedades físicas de rocha (susceptibilidade magnética e variação dos radioelementos K, eU e eTh) nos testemunhos foram realizadas visando o detalhamento da região próxima à mineralização. Imagens gamaespectrométricas e magnetométricas gradiométricas auxiliaram na identificação de zonas de alteração hidrotermal e estruturas relacionadas à mineralização de ouro.

Como resultados da petrografia foram identificadas zonas de alteração hidrotermal chamadas neste estudo de zona distal, onde há o predomínio de cloritização, zona intermediária, com predominância de carbonatação e zona proximal, que está associada principalmente à presença de biotita e sulfetos, indicando transformações mineralógicas, potassificação e sulfetação associada ao sistema hidrotermal e à formação dos veios de quartzo mineralizados.

A análise geoquímica visou o estudo da mobilidade dos álcalis no sistema hidrotermal por meio de um índice de alteração utilizando a razão $((Cs+Rb)/Th)_N$. Para a região do *greenstone belt* Andorinhas, valores da razão $((Cs+Rb)/Th)_N$ que estão acima de 2 foram considerados enriquecidos em álcalis e indicativos da passagem de fluídos hidrotermais.

Próximos das regiões mineralizadas, o valor dessa razão aumenta, sendo eficaz na identificação da mineralização, nos testemunhos de sondagem estudados, além da alteração potássica visível (presença de biotitização).

O estudo das propriedades físicas permitiu caracterizar, a partir de análises estatísticas, anomalias de K utilizando a razão K/eTh , o fator F e K anômalo correspondentes com a localização das anomalias auríferas nos testemunhos estudados. A susceptibilidade magnética apresenta baixos valores associados à zona proximal das mineralizações.

Com a análise integrada das diferentes ferramentas, conseguiu-se uma relação positiva de que a mobilidade dos álcalis pode ser utilizada como ferramenta para monitorar zonas mineralizadas em sistemas hidrotermais auríferos e de que as propriedades físicas refletem o aumento de K e baixos valores de susceptibilidade magnética nessas zonas. Os resultados dessa pesquisa mostram a eficácia da aplicação de dados geofísicos e geoquímicos na identificação de zonas de alteração hidrotermal associadas às mineralizações de ouro no *Greenstone Belt* Andorinhas.

Palavras-chave: *Greenstone Belt* Andorinhas. Mineralização de ouro tipo lode. Alteração hidrotermal. Mobilidade de álcalis. Levantamento aeromagnetométrico gradiométrico. Aerolevantamento Gamaespectrométrico. Propriedades Físicas de Rocha.

MULTISOURCE DATA INTEGRATION FOR CHARACTERIZATION OF HYDROTHERMAL ALTERATION ZONES ASSOCIATED TO GOLD MINERALIZATION AT ANDORINHAS GREENSTONE BELT, CARAJÁS MINERAL PROVINCE.

ABSTRACT

Carajás Mineral Province (PMC) is located in the eastern part of the Amazon craton. To the south of this province, at Rio Maria Domain, lode-type gold deposits are hosted in mesoarchean volcanosedimentary sequences of greenstone belt type. The area studied is located in the Andorinhas greenstone belt near the town of Rio Maria where gold occurrences and deposits and the currently active Mamão gold mine are located. The mineralization is hosted in intensely hydrothermalized metabasalts and interbedded iron formations and metasedimentary rocks can also occur. This research aimed to study hydrothermal alteration halos in metabasalts and mineralized zones based on petrographic and geochemical data and physical properties of rocks.

To make this study, fieldwork, description of boreholes and sampling of three different holes cutting mineralized bodies, two of them exploited at Mina do Mamão (Melechete and M2 bodies) and the other considered subeconomic (Luiza body) were conducted. Measurements of physical properties of rocks (magnetic susceptibility and variation of radioelements K, eU and eTh) were performed in drill holes aiming to detail the region around the mineralization. Gamma-ray spectrometric and magnetometric gradiometric images helped identifying hydrothermal alteration zones and structures related to gold mineralization.

As result of the petrographic analysis were identified hydrothermal alteration zones, here called distal zones, with predominance of chloritization, an intermediate zone with predominance of carbonation and a proximal zone mainly associated with the presence of biotite and sulphides, which indicate the presence of mineralogical transformations, potassification and sulphidation associated with the hydrothermal system and the formation of mineralized quartz veins.

The geochemical analysis aimed at studying the alkali mobility in the hydrothermal system using an alteration index of $((R_s + R_b)/Th)$ N ratio. For the region of Andorinhas greenstone belt $((Cs + Rb)/Th)$ N ratio values above 2 may be considered alkalis enriched and indicate the passage of hydrothermal fluids. Near the mineralized regions this ratio increases,

which is effective both to identify mineralizations in the drill holes studied, and the visible potassic alterations (presence of biotitization).

Studying the physical properties and based on statistical analyzes, it was possible to characterize K anomalies using K/eTh ratio, factor-F and anomalous K corresponding to the location of the gold anomalies in the drill holes studied. The magnetic susceptibility shows lower values associated with the proximal zone of mineralizations.

With an integrated analysis of these tools, it was possible to obtain a positive relation that alkalis mobility can be used to monitor mineralized zones in gold hydrothermal systems and that physical properties do reflect the increase of K and low values of magnetic susceptibility in such areas. The results of this survey demonstrate the effectiveness of applying geophysical and geochemical data to identify hydrothermal alteration zones associated to gold mineralization in the Andorinhas Greenstone Belt.

LISTA DE FIGURAS

Parte I: Introdução

- Figura I.1:** Mapa geológico integrado, baseado na análise e interpretação dos dados aerogeofísicos de alta resolução espacial, bem como no conhecimento geológico disponível. 18
- Figura I.2:** Mapa ilustrando alvos selecionados com alta favorabilidade para a região do Projeto Andorinhas destacando a potencialidade aurífera, considerando o somatório dos vetores de exploração definidos por Costa-Silva (2011). 19
- Figura I.3:** Mapa de localização da área de estudo. 21
- Figura I.4:** A figura apresenta os furos de sondagem estudados e localização das amostras coletadas para a confecção de lâminas delgadas e análises químicas. 26
- Figura I.5:** (A) Equipamento MPP-EM2S+ (*Multi Parameter Probe*) desenvolvido pela *GDD INSTRUMENTATION INC*; (B) Equipamento Gamaespectrômetro GR-320, fabricado pela *Exploranium*. 28

Parte II: Vetores de Mapeamento Geoquímico e de Propriedades Físicas de Rochas para exploração de ouro no *Greenstone Belt* Andorinhas, Província Mineral de Carajás.

Capítulo 2. Contexto Geológico

- Figura 2.1:** Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico segundo Tassinari & Macambira (2004). Província Carajás (Santos *et al.*, 2000) em destaque. 35
- Figura 2.2:** Domínio Rio Maria (DRM) (Modificado de Vasquez *et al.*, 2008). 38
- Figura 2.3:** Mapa Geológico da Área de Estudo (modificado de Vasquez *et al.*, 2008). 39

Capítulo 3. Materiais e Métodos

- Figura 3.1:** Modelo digital de terreno em tons de cinza, sobreposto ao contorno das sequências do tipo *greenstone belt* da região de Rio Maria e adjacências, com destaque para a região de estudo. 43
- Figura 3.2:** A figura apresenta os furos de sondagem estudados e localização das amostras coletadas para a confecção de lâminas delgadas e análises químicas. 44
- Figura 3.3:** (A) Equipamento MPP-EM2S+ (*Multi Parameter Probe*) desenvolvido pela *GDD INSTRUMENTATION INC*; (B) Equipamento Gamaespectrômetro GR-320, fabricado pela *Exploranium*. 45

Capítulo 4: Mapeamento de zonas de alteração hidrotermal através da Análise e Interpretação dos Dados Aerogeofísicos

- Figura 4.1:** Fluxograma das transformações lineares do campo magnético anômalo. 47
- Figura 4.2:** Imagem do campo magnético anômalo gerada para a área de estudo. 48
- Figura 4.3:** Produtos transformados a partir do campo magnético anômalo, a saber: (A) gradiente medido em x (Gx); (B) gradiente medido em y (Gy); (C) primeira derivada vertical (Dz); e (D) inclinação do sinal analítico (ISA). 50
- Figura 4.4:** Mapa da amplitude do gradiente horizontal total (AGHT) do CMA calculada a partir dos gradientes medidos Gx e Gy. 51
- Figura 4.5:** Mapa da amplitude do sinal analítico (ASA) do CMA de ordem zero. 51
- Figura 4.6:** A : Mapa de lineamentos magnéticos. 53
- Figura 4.7:** Fluxograma ilustrando os produtos gamaespectrométricos. 54

Figura 4.8: Imagens gamaespectrométricas para a área de estudo. (A) janela correspondente à contagem total; (B) K, (C) eTh; e (D) eU	55
Figura 4.9: Composição ternária RGB (KeTheU), sobreposta ao modelo digital de terreno gerado pelo levantamento aerogeofísico com exagero vertical de 5x.	56
Figura 4.10: Imagem das variáveis gamaespectrométricas: (A) imagem do K anômalo; (B) imagem do fator F; (C) imagem da razão K/eTh.	58
Figura 4.11: Integração das variáveis gamaespectrométricas com lineamentos magnéticos, ocorrências auríferas e localização dos furos de sonda estudados.	60

Capítulo 5. Mapeamento de zonas de alteração hidrotermal usando dados geoquímicos e propriedades físicas de rocha

Figura 5.1: (A) Modelo digital de terreno em tons de cinza, sobreposto ao contorno das sequências do tipo <i>greenstone belt</i> da região de Rio Maria e adjacências. (B) Localização dos furos de sondagem no contexto do <i>greenstone belt</i> Andorinhas sobreposto à imagem ternária gamaespectrométrica.	62 e 63
Figura 5.2: A figura apresenta a descrição dos furos de sondagem estudados, bem como uma descrição detalhada das zonas de alteração hidrotermal identificadas nesse trabalho.	64
Figura 5.3: Amostras de testemunhos de sondagem representando outros litotipos encontrados.	69
Figura 5.4: Testemunhos de sondagens mostrando as zonas de alteração hidrotermal identificadas na região da mineralização.	73
Figura 5.5: Esquema representativo da assembléia mineral das rochas metabásicas da zona do metamorfismo regional até a zona proximal da mineralização na região da Mina do Mamão, <i>Greenstone Belt</i> Andorinhas.	86
Figura 5.6: Diagrama Álcalis Total <i>versus</i> SiO ₂ (Le Bas <i>et al.</i> , 1986). Classificação química dos litotipos observados nos furos de sondagem estudados.	88
Figura 5.7: Diagramas ternários para classificação das rochas metavulcânicas da região de estudo. A: AFM (Irvine & Baragar, 1971) e B: Diagrama catiônico de Jensen (Jensen, 1976).	90
Figura 5.8: Padrões de Elementos terras raras (ETR) normalizados ao condrito C1 de Boynton, (1984) para os diferentes litotipos estudados.	90
Figura 5.9: Diagrama de elementos traço normalizados ao manto primitivo de Sun & McDonough (1989) para as amostras dos metabasaltos do <i>greenstone belt</i> Andorinhas.	94
Figura 5.10: Histograma da razão ((Cs+Rb)/Th) _N para as amostras dos três furos de sondagem e amostra fora da zona mineralizada.	96
Figuras 5.11: Seção esquemática N40E, mostrando a localização das amostras de metabasaltos analisadas nos furos MMD001 e MMD049 e seus respectivos valores do índice de alteração expressado pela razão ((Cs+Rb)/Th) _N	98
Figuras 5.12: Seção esquemática N40E, mostrando a localização das amostras de metabasaltos analisadas no furo BBD014 e seus respectivos valores do índice de alteração expressado pela razão ((Cs+Rb)/Th) _N	99
Figura 5.13: Histogramas dos dados de propriedades físicas coletados nos furos de sondagem em metabasaltos. Valores de K (%), U (ppm), Th (ppm) e Susceptibilidade Magnética (SI*10 ⁻³).	104
Figura 5.14: Razão K/Th, Potássio Anômalo e Fator F para os três furos estudados.	105

Capítulo 6. Análise integrada dos dados multifonte

Figura 6.1: Integração dos dados petrográficos, geoquímicos e de propriedades físicas nos testemunhos de sondagem MMD049.	109
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Figura 6.2: Integração dos dados petrográficos, geoquímicos e de propriedades físicas nos testemunho de sondagem MMD001.	110
Figura 6.3: Integração dos dados petrográficos, geoquímicos e de propriedades físicas nos testemunho de sondagem BBD014.	111

LISTA DE PRANCHAS FOTOGRÁFICAS

Parte II: Vetores de Mapeamento Geoquímico e de Propriedades Físicas de Rochas para exploração de ouro no *Greenstone Belt* Andorinhas, Província Mineral de Carajás.

Capítulo 5. Mapeamento de zonas de alteração hidrotermal usando dados geoquímicos e propriedades físicas de rocha

Prancha 1: Fotomicrografias: (A) metabasalto apresentando pseudomorfos de piroxênio totalmente substituídos por actinolita. No canto inferior direito, observa-se fenocristal de plagioclásio substituído por carbonato indicado pela seta branca. Matriz fina composta por plagioclásio recristalizado e diminutos cristais de epidoto; (C) Aspecto geral do metabasalto com cristais de actinolita substituídos na borda por clorita e epidoto; (D) idem foto C, nicóis cruzados; (E) cristal de actinolita estirado parcialmente substituído por clorita; (F) idem foto E, nicóis cruzados. 67

Prancha 2: Fotomicrografias: (A) textura intergranular em metabasalto fora da zona mineralizada. Cristais de plagioclásio prismáticos em meio a cristais anhedrais de clinopiroxênio. No canto superior direito placas de clorita; (B) idem foto C, nicóis cruzados; (C) textura subofítica em basalto fora da zona mineralizada. Cristal de piroxênio englobando parcialmente cristal prismático de plagioclásio. Na parte superior, placa de clorita; (D) idem foto E, nicóis cruzados. 68

Prancha 3: Fotomicrografias: Diques andesíticos: (A) porfiroblasto de plagioclásio com núcleo saussuritizado em matriz recristalizada com plagioclásio, clorita e epidoto; (B) idem foto A, nicóis cruzados; e (C) porfiroblastos de actinolita envoltos por matriz constituída de plagioclásio e epidoto anhedrais. Dique de diabásio: (D) textura porfírica do dique de diabásio, apresentando microfenocristais de plagioclásio em matriz muito fina e amígdalas preenchidas por clorita e quartzo; (E) detalhe de microfenocristais de plagioclásio apresentando textura de resfriamento rápido "rabo de andorinha" e cristais de plagioclásio com textura tipo *sieve*; e (F) cristal de magnetita esquelética. 71

Prancha 4: Fotomicrografias de metagabros: (A) textura intergranular pseudomórfica; (B) textura micrográfica caracterizada pelo intercrescimento de feldspato alcalino e quartzo; (C) fenocristal de piroxênio totalmente transformado em actinolita; e (D) idem foto C, nicóis cruzados. 72

Prancha 5: As fotomicrografias ilustram mudanças texturais e mineralógicas nos metabasaltos na zona distal (A) intercalações de bandas ricas em plagioclásio e bandas de actinolita e clorita; (B) intensa deformação em zona de cisalhamento com porfiroblastos de clorita e epidoto (setas); e (C) dobra fechada marcada por plagioclásio, clorita e epidoto. (D) metabasalto apresentando alternância de bandas cloríticas, albíticas com clorita intersticial e bandas carbonáticas. Agregados de clorita marcam a foliação, cristais de albita e carbonato apresentam-se estirados. Na parte superior cristal de magnetita; (E) intensa cloritização marcada por placa de clorita com cristais de quartzo no interior; e (F) vênula em metabasalto da zona distal com clorita e cristais de epidoto prismáticos e arredondados.78

Prancha 6: Fotomicrografias: **Zona distal:** (A) A fotomicrografia mostra cloritização em metabasalto. No canto superior direito vênula de carbonato, presença de plagioclásio e carbonato entre clorita; (B) metabasalto na zona distal com bandas ricas em clorita e epidoto, com cristais de magnetita euedrais e bandas ricas em plagioclásio recristalizado e

porfiroblastos de carbonato estirados com cristais de epidoto. Na zona intermediária : (C) bandas de clorita e albita, bandas carbonáticas. Aumento da quantidade modal de carbonatos; (D) idem foto C, nicóis cruzados; (E) "olhos" de quartzo bordejados por carbonato, foliação marcada por clorita e plagioclásio recristalizado. Vênula tardia de carbonato cortando a foliação; e (F) Vênula de quartzo e carbonato e faixa de clorita com magnetita.	79
Prancha 7: Fotomicrografias ilustrando a zona Intermediária : (A) Porção com intensa carbonatação. Cristais de calcita estirados com clorita intersticial e cristais de quartzo; e (B) sobrecrecimento de biotita em clorita na zona intermediária com carbonato e quartzo. Zona proximal : (C) detalhe de cristal de clorita sobrecrecido por biotita envolto por quartzo; (D) biotitização; (E) intensa substituição de clorita por biotita; e (F) idem foto E, nicóis cruzados.	80
Prancha 8: Fotomicrografias dos minerais opacos presentes nas zonas de alteração: (A) cristais de magnetita disseminados na zona distal; (B) cristais de magnetita, pirita, pirrotita e calcopirita em zona intermediária; (C) cristal de pirita englobado magnetita. Calcopirita no canto inferior direito. Zona distal; (D) cristal de pirrotita estirado com borda de magnetita. Cristal de pirita anedral; (E) Zona proximal com bandas ricas em cristais de pirita envoltos por clorita substituída por biotita; (F) idem foto E, nicóis cruzados.	81
Prancha 9: (A) testemunho de sondagem com intensa sulfetação na borda do veio mineralizado; (B): testemunho de sondagem apresentando ouro livre em veio de quartzo mineralizado juntamente com pirita; Fotomicrografias: (C) banda sulfetada, pirita com inclusões de clorita e carbonato na zona proximal; e (D): cristal de pirita estirado na zona proximal com ilmenita estirada e porfiroblasto maior de pirita.	82
Prancha 10: Fotomicrografias: (A) cristais de ilmenita estirados; (B) cristal de calcopirita (amarelo) e pirita estirada com ilmenita (cinza); (C) pirita em charneira de dobra e inclusões de ilmenita (cinza); e (D): ouro livre nos interstícios dos grãos de quartzo com pirita deformada.	83
Prancha 11: Fotos do interior da Mina do Mamão, Corpo Melechete , frente de lavra em 2011. Em (A) veio de quartzo mineralizado e zona proximal muito evidente, com intensa sulfetação e biotitização; (B) veio de quartzo e limites aproximados (linhas tracejadas em amarelo) das zonas de alteração hidrotermal. proximal, com intensa sulfetação e potassificação, zona intermediária e interface intermediária/distal com aumento de clorita e carbonato; (C) veio de quartzo centimétrico mineralizado em zona proximal; e (D) detalhe do ouro livre em veio de quartzo leitoso.	84

LISTA DE TABELAS

Parte I: Introdução

Tabela I.1: Elementos químicos e seus respectivos limites de detecção realizados no <i>ACME ANALYTICAL</i>	24
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Parte II: Vetores de Mapeamento Geoquímico e de Propriedades Físicas de Rochas para exploração de ouro no *Greenstone Belt* Andorinhas, Província Mineral de Carajás.

Capítulo 5. Mapeamento de zonas de alteração hidrotermal usando dados geoquímicos e propriedades físicas de rocha

Tabela 5.1: Valores da estatística das propriedades físicas para os metabasaltos no <i>greenstone belt</i> Andorinhas e dos diques máficos (diques de diabásio)..	102
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO	16
<i>I.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVAS</i>	17
<i>I.2 OBJETIVOS</i>	20
<i>I.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO A ÁREA</i>	21
<i>I.4 MATERIAIS E MÉTODOS</i>	22
1.4.1 Materiais	22
1.4.1.1 <i>Dados cartográficos</i>	22
1.4.1.2 <i>Dados aerogeofísicos da região do Domínio Rio Maria</i>	22
1.4.1.3 <i>Lâminas delgadas polidas</i>	23
1.4.1.4 <i>Análises químicas de elementos maiores, menores e traço em rocha total</i>	23
1.4.2 Métodos de Trabalho	24
1.4.2.1 <i>Pesquisa bibliográfica</i>	24
1.4.2.2 <i>Análise de dados aerogeofísicos</i>	24
1.4.2.3 <i>Seleção dos testemunhos de sondagem e métodos de amostragem petrográfica e geoquímica</i>	25
1.4.2.4 <i>Estudo petrográfico</i>	26
1.4.2.5 <i>Tratamento de dados Geoquímicos</i>	27
1.4.2.6 <i>Coleta das propriedades físicas de rocha</i>	27
<i>I.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</i>	29
II. CARACTERIZAÇÃO DE ZONAS HIDROTERMAIS ASSOCIADAS À MINERALIZAÇÃO DE OURO NO GREENSTONE BELT ANDORINHAS, RIO MARIA (PA) A PARTIR DE PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE ROCHA	30
RESUMO	31
ABSTRACT	32
1. INTRODUÇÃO	33
2. CONTEXTO GEOLÓGICO	34
<i>2.1 SUPERGRUPO ANDORINHAS</i>	36
<i>2.2 MINERALIZAÇÕES DE OURO E ALTERAÇÃO HIDROTERMAL</i> ..	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS	42

4. MAPEAMENTO DE ZONAS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL ATRAVÉS DA ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS	46
4.1 PRODUTOS GERADOS	46
4.1.1 Gradientes medidos e produtos derivados do campo magnético anômalo	46
4.1.2 – Interpretação dos dados aeromagnéticos	52
4.1.3 Dados Gamaespectrométricos	54
5. CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS HOSPEDEIRAS E ENCAIXANTES DAS MINERALIZAÇÕES DE OURO E DAS ZONAS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL UTILIZANDO MOBILIDADE DE ÁLCALIS E PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHA	61
5.1 PETROGRAFIA	64
5.1.1 Metabasaltos	64
5.1.2 Outros Litotipos Observados	68
5.1.2.1 Diques Intermediários	69
5.1.2.2 Diques de diabásio	70
5.1.2.3 Metagabros	70
5.1.3 Zonas de alteração hidrotermal	72
5.1.3.1 Zona Distal	74
5.1.3.2 Zona Intermediária	75
5.1.3.3 Zona Proximal	76
5.1.4 Veios de quartzo - Zona Mineralizada	82
5.1.5 Discussão	85
5.2 GEOQUÍMICA	86
5.2.1 Classificação Química	87
5.2.2 Mobilidade dos Alcalis	91
5.2.2.1 Análise de elementos-traço	92
5.2.2.2 Definição do índice de alteração hidrotermal	95
5.2.2.3 Mapeamento das zonas enriquecidas em álcalis utilizando o índice de alteração $((Cs+Rb)/Th)_N$	96
5.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHA	99
5.3.1 Caracterização das Zonas de Alteração Hidrotermal	102
6. ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS MULTIFONTE	107
III. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	113
IV. REFERÊNCIAS	116

ANEXOS	123
Anexo A: Análises de Anfibólio de metabasaltos do greenstone Andorinhas.	124
Anexo B: Análises de Rocha Total dos testemunhos no greenstone belt Andorinhas. Amostras de metabasaltos, veios de quartzo, metaandesito, diabásio e metagabros. Além da amostra fora da zona mineralizada.	126
Anexo C: Propriedades Físicas - Dados Gamaespectrométricos.	136
Anexo D: Propriedades Físicas: Dados de Susceptibilidade Magnética.	140

I. INTRODUÇÃO

I. INTRODUÇÃO

I.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVAS

A Província Mineral de Carajás está situada na parte oriental do Cráton Amazônico, no Leste-Sudeste do Estado do Pará, e é considerada uma das principais províncias minerais do mundo, com produção e potencial crescentes para Fe, Mn, Cu, Au, Ni, U, Ag e platinóides, (Pd, Pt e Os), entre outros (Dardenne & Schobbenhaus 2001, Tassinari & Macambira 2004). A província é subdividida em dois domínios distintos: Rio Maria (Mesoarqueano) e Carajás (Neoarqueano).

A área de estudo faz parte da Província Rio Maria e é constituída por sequências supracrustais do tipo *greenstone belt* e granitóides, ambos de idade arqueana, sendo intrudidos por diques e *sills* de idade paleoproterozóica. As sequências vulcanossedimentares do tipo *greenstone belt*, agrupadas sob a denominação Supergrupo Andorinhas, representam a unidade mais antiga da região e é composta predominantemente por metakomatiitos e metabasaltos toleíticos, na base, e rochas metassedimentares clásticas intercaladas com metavulcânicas intermediárias ácidas, no topo. Os metabasaltos hospedam pequenos depósitos de ouro do tipo *lode* (Mamão, Babaçu, Diadema, Serrinha, Seringa, etc), enquanto outros depósitos estão associados à metagrauvacas (Lagoa Seca) ou às intrusões calci-alcalinas, como é o caso do depósito Au-Cu-Bi-Mo Cumarú (Huhn, 1992; Oliveira 1993; Oliveira *et al.*, 1995; Souza, 1999; Tassinari & Macambira, 1999; Tassinari *et al.*, 2000; Dardenne & Schobbenhaus, 2001).

Costa-Silva (2011), por meio do processamento, análise e interpretação de produtos derivados de dados aerogeofísicos de alta resolução, discriminou vários domínios lito-estruturais e zonas de alteração hidrotermal potenciais para hospedar mineralização aurífera (Figura I.1), onde foram gerados novos alvos que foram validados em campo e/ou comparados com as ocorrências de ouro já conhecidas (mina do Mamão, depósitos Lagoa Seca e Babaçu). Regionalmente, um total de 81 novos alvos com potencial aurífero foram identificados dentro do terreno granito-*greenstone* Rio Maria, sendo que essa técnica também identificou com sucesso várias ocorrências já conhecidas (Figura I.2).

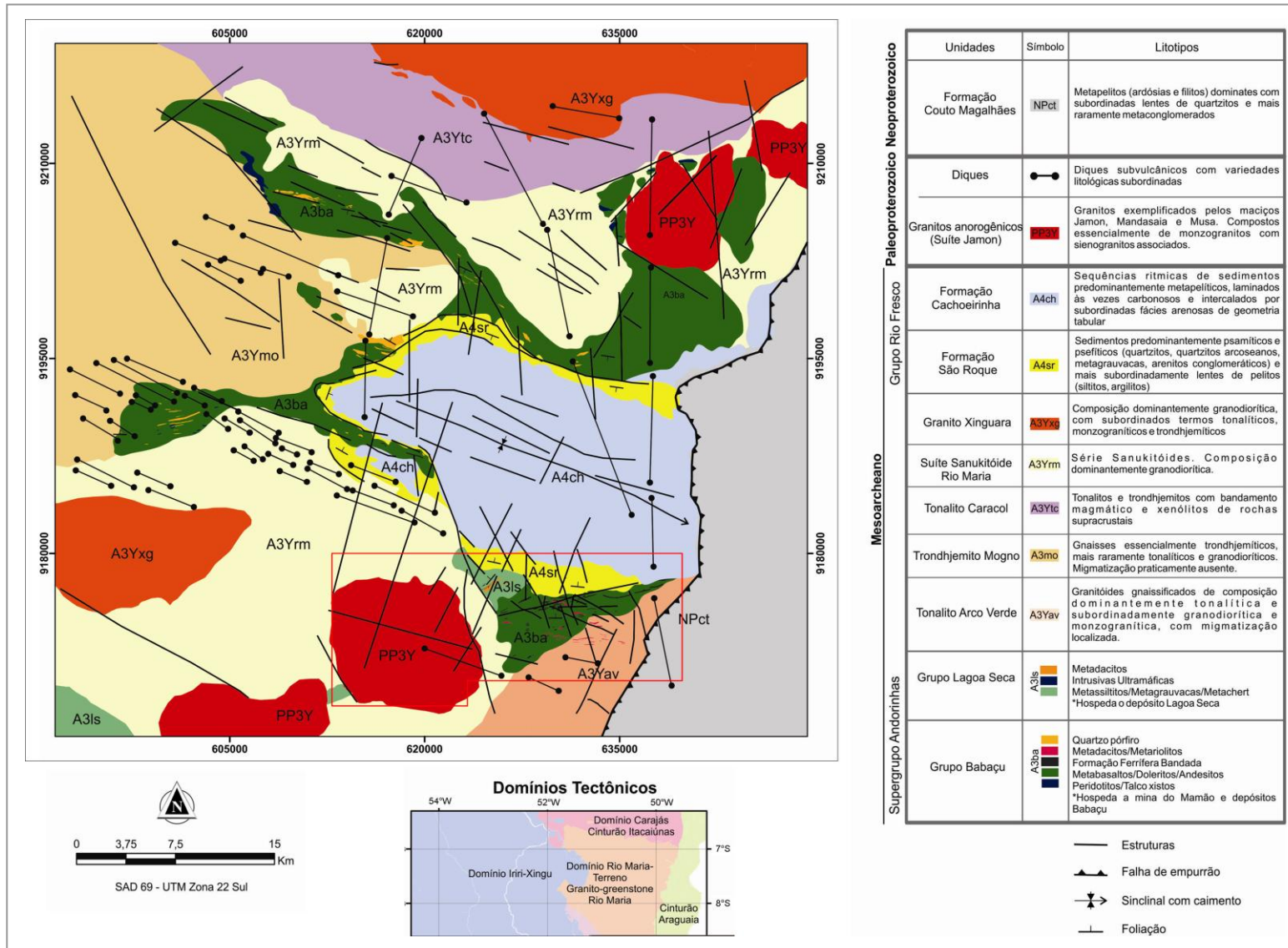


Figura I.1: Mapa geológico integrado, baseado na análise e interpretação dos dados aerogeofísicos de alta resolução espacial, bem como no conhecimento geológico disponível. Polígono vermelho mostra a área de estudo (modificado de Costa-Silva, 2011).

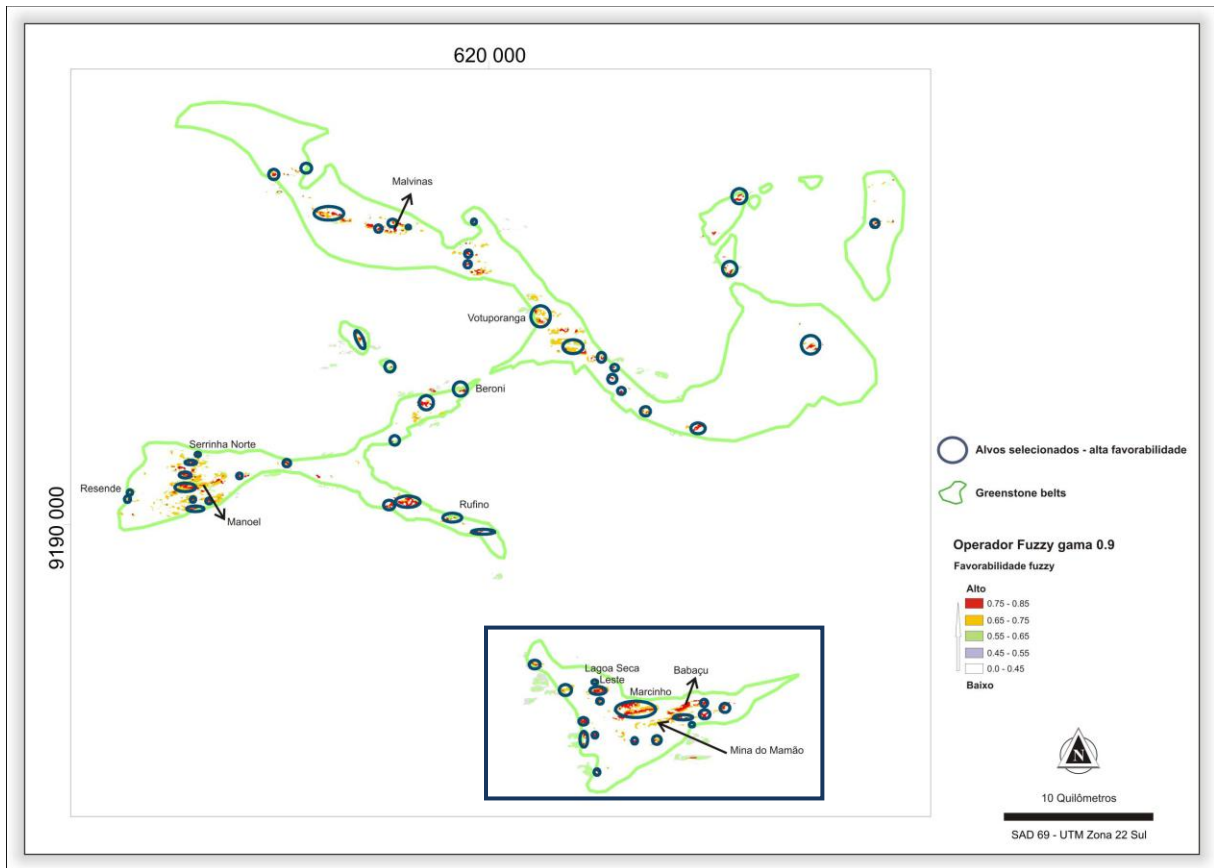


Figura I.2: Mapa ilustrando alvos selecionados com alta favorabilidade para a região do Projeto Andorinhas destacando a potencialidade aurífera, considerando o somatório dos vetores de exploração definidos por Costa-Silva (2011). O polígono em azul mostra a região da área piloto selecionada para a presente pesquisa e a localização da Mina do Mamão.

Vários dos novos alvos associados com mineralização do tipo *lode-gold* detectados no contexto do Projeto Andorinhas foram inicialmente checados no campo com mapeamento geológico de reconhecimento e amostragem de rochas. Os denominados alvos Marcinho, Resende e Votuporanga foram posteriormente acompanhados com avaliações de campo mais sistemáticas consistindo em mapeamento geológico de detalhe e malhas de solo programadas com base nas análises geoquímicas de amostras de rocha (Figura I.2).

Apesar da integração de dados mostrar vetores prospectivos-chave na área de interesse, objetivou-se refinar os alvos mapeados com novas técnicas que pudessem otimizar o processo exploratório ou mesmo incrementar o procedimento de seleção e entendimento dos alvos selecionados. Optou-se por testar técnicas que pudessem auxiliar no entendimento de zonas alteração hidrotermal em metabasaltos, e na descoberta de outros alvos semelhantes à Mina do Mamão e que refletisse o potencial aurífero atual do Projeto Andorinhas.

Dados da literatura mostram que é possível documentar a presença de halos enriquecidos em álcalis (Kerrich, 1983) e que esse enriquecimento ocorre conjuntamente com a mineralização de ouro. Xu (1999) identificou um halo de enriquecimento em álcalis bem maior que a alteração visível no depósito de Vitória em Kambalda, Oeste da Austrália. Heath & Campbell (2004) testaram a hipótese de que a mobilidade de álcalis pode ser utilizada como uma ferramenta para monitorar o fluxo de fluidos associados a sistemas hidrotermais que contêm ouro e representam um vetor geoquímico para a procura de novos depósitos auríferos.

Este estudo propõe que após a identificação de alvos ou zonas prospectivas potenciais através da aerogeofísica de alta resolução, associadas com zonas de alteração hidrotermal em metabasaltos, sejam mapeados a presença ou não de halos enriquecidos em álcalis utilizando dados geoquímicos em furos-chave selecionados na área de interesse e dados de propriedades físicas de rocha. Pretende-se, a partir da integração desses dados geoquímicos e geofísicos, gerar novos critérios prospectivos que auxiliem na definição de áreas favoráveis à exploração de ouro na região de Rio Maria.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo fundamental desta pesquisa é o estudo dos halos de alteração hidrotermal e das zonas mineralizadas visando caracterizar as variações mineralógicas e texturais, a mobilidade química de alguns elementos solúveis em sistemas hidrotermais e as propriedades físicas das rochas hospedeiras nestas zonas mineralizadas.

Como objetivos específicos, propõem-se:

- entender o comportamento dos radioelementos (K, eU e eTh) com base nos dados de gamaespectrometria, analisando sua distribuição e o padrão de concentração nas zonas mineralizadas;
- identificar e mapear estruturas associadas com a mineralização utilizando dados aerogeofísicos;
- descrição petrográfica das lâminas dos furos de sondagem para determinação das assembléias minerais dos halos de alteração hidrotermal;
- aquisição de dados de propriedades física de rocha (susceptibilidade magnética, condutividade elétrica, variação dos radioelementos (K, eTh e eU) em furos de

sondagem, visando a caracterização da zona mineralizada e sua correlação com os dados aéreos e geoquímicos;

- análise geoquímica das zonas de alteração que envolvem a porção mineralizada, buscando compreender a mobilidade dos álcalis no sistema hidrotermal mineralizante da área.

1.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO A ÁREA

A área de estudo está localizada no Cráton Amazônico a Sudeste do Estado do Pará, norte do Brasil, entre as coordenadas $49^{\circ}70'W$ e $50^{\circ}40'W$ e $7^{\circ}S$ e $7^{\circ}60'S$ (Figura I.3), ao Sul da Província Mineral de Carajás, e dista aproximadamente 260 km a Sudoeste de Marabá, ao longo da PA – 150 e 20 km da cidade de Rio Maria.

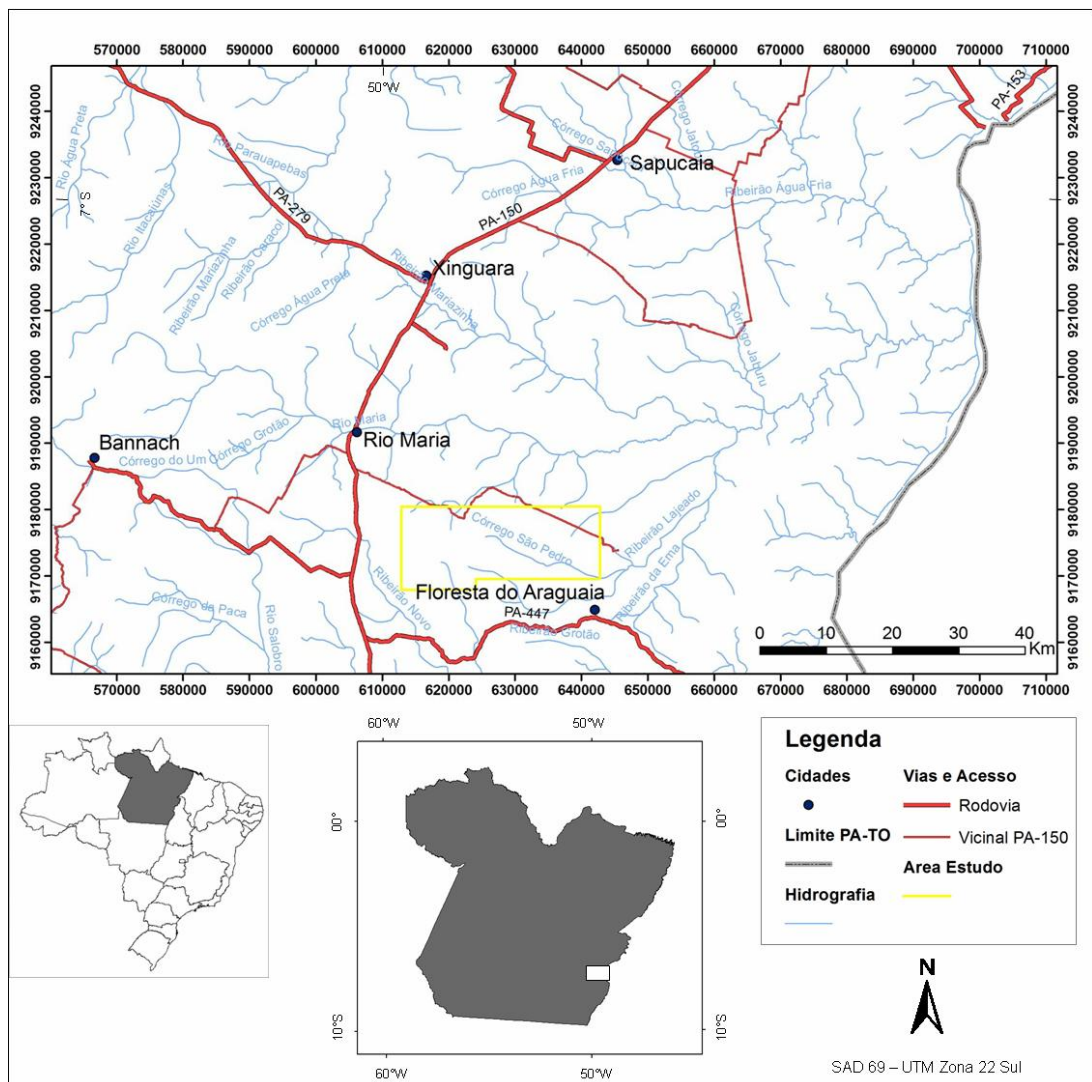


Figura I.3: Mapa de localização da área de estudo, incluindo as principais vias de acesso, rede de drenagem e a área investigada nessa dissertação (modificado de Vasquez et al. 2008).

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nesta dissertação de mestrado compreendem dados cartográficos, geofísicos aéreos, lâminas delgadas e análises químicas. Os métodos utilizados na amostragem, na seleção de amostras para petrografia e geoquímica e na coleta de dados de propriedades físicas de rocha serão apresentados em conjunto com os métodos de trabalho descritos no item 1.4.2.

1.4.1 Materiais

1.4.1.1 Dados cartográficos

A base cartográfica utilizada nesta pesquisa foi a folha topográfica Xinguara (SB.22-Z-C) em escala 1:250.000, além do mapa geológico e metalogenético, ambos provenientes da CPRM (2008). Também foram utilizados mapas geológicos de detalhe da Troy/Reinarda Mineração na escala 1:10.000.

1.4.1.2 Dados aerogeofísicos da região do Domínio Rio Maria

O levantamento aeromagnetométrico gradiométrico e gamaespectrométrico da área de estudo foi realizado entre 16 de novembro a 20 de dezembro de 2007, pela empresa LASA Engenharia e Prospecções S.A., contratada pela Reinarda Mineração (Grupo Troy). A altura média de vôo do aerolevanteamento é de 100m, com linhas de vôo de direção N-S espaçadas de 125 metros e linhas de controle de direção E-W espaçadas de 1500 metros, perfazendo uma área de 1952 km² (LASA, 2008; Costa-Silva, 2011).

A aeronave foi Cessna, modelo 208 – Grand Caravan, prefixo PR-FAZ equipada com magnetômetro de bombeamento ótico constituído por três sensores de vapor de césio Scintrex, modelo CS-2, com resolução de 0,001 nT e com gamaespectrômetro da EXPLORANIUM, modelo GR-280, de 256 canais espectrais e sistema de navegação DGPS, com receptor Trimble AgGPS 132, de 12 canais. O intervalo entre as medições geofísicas foi de 0,1 segundo para o magnetômetro e 1,0 segundo para o gamaespectrômetro (LASA, 2008, Costa-Silva, 2011).

1.4.1.3 *Lâminas delgadas polidas*

Foram coletadas amostras em três testemunhos de sondagem selecionados com base na distribuição do minério nesses furos, dados estes disponibilizados pela equipe de exploração da Reinarda Mineração Ltda. Dois destes furos acusam alto teor de ouro, um interceptando o corpo já explorado na mina do Mamão (M2) e outro o corpo que atualmente vem sendo explorado (Melechete). O terceiro furo intercepta o alvo subeconômico denominado Luiza. No furo que intercepta o corpo M2 (furo MMD 049) foram coletadas 30 amostras para petrografia. O furo MMD 001 (alvo Melechete) totaliza 20 lâminas e no furo que intercepta o corpo subeconômico BBD 014, foram coletadas 11 amostras para laminação, totalizando 61 lâminas delgadas nos três furos.

1.4.1.4 *Análises químicas de elementos maiores, menores e traço em rocha total*

Foram coletadas e selecionadas para este trabalho 61 amostras para análise química de elementos maiores, menores e traços das zonas mineralizadas e entorno, incluindo amostras das zonas estéreis para comparação da mobilidade química associada ao sistema hidrotermal mineralizante. As amostras foram enviadas ao laboratório *ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD* (Vancouver, Canadá). A tabela I.1 mostra os elementos químicos que foram dosados, bem como os limites de detecção adotados no *ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD*, Vancouver, Canadá.

Para dosagem dos óxidos principais e vários elementos menores (Sc, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Nb e Ba) foi utilizado o *ICP-emission spectrometry* (ICP-ES) em 0,2g de amostra fundida em meta/tetraborato de lítio e aberta em HNO_3 . Os elementos terras raras, V, Co, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Th, U, Sn, Ta, W, Be, Cs e Hf foram determinados por *ICP-mass spectrometry* (ICP-MS) após fusão com meta/tetraborato de lítio e digestão em HNO_3 de 0,2g de amostra.

Para detecção de metais preciosos e metais base (As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Au, Hg, Tl, Bi, Ni, Cu, Zn, Pb), 0,5g de amostra são separadas e diluídas em Aqua Regia (95°C) e analisadas por *ICP-mass spectrometry* (ICP-MS) (AcmeLabs Schedule of Services & Fees, 2011).

Tabela I.1: Elementos químicos e seus respectivos limites de detecção realizados no *ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD*, Vancouver, Canadá.

Elemento	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃
Limite de Detecção (%)	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002
Elemento	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ta	Th	Pb	Ga	Zn
Limite de Detecção (ppm)	1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.5	1
Elemento	Cu	Ni	V	Hf	Cs	Co	U	W	La	Sc	Sn
Limite de Detecção (ppm)	0.1	0.1	8	0.1	0.1	0.2	0.1	0.5	0.1	1	1
Elemento	Be	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
Limite de Detecção (ppm)	1	0.1	0.02	0.3	0.05	0.02	0.05	0.01	0.05	0.02	0.03
Elemento	Tm	Yb	Lu	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sb	Hg	Tl
Limite de Detecção (ppm)	0.01	0.05	0.01	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.1
Elemento	Bi	Au									
Limite de Detecção	0.1 ppm	0.5 ppb									

1.4.2 Métodos de Trabalho

Para o desenvolvimento desta pesquisa, seguiram-se as seguintes etapas e seus respectivos métodos de trabalho:

1.4.2.1 Pesquisa bibliográfica

Nesta etapa foi realizado um levantamento da bibliografia disponível da região do Domínio Rio Maria, principalmente relacionada à geologia do *greenstone belt* Andorinhas, bem como um levantamento bibliográfico sobre os temas que são abordados neste trabalho.

1.4.2.2 Análise de dados aerogeofísicos

Para a análise dos dados geofísicos foi utilizado o *software* GEOSOFT Inc. OASIS Montaj TM (versão 7.2.1). Para esta pesquisa, efetuou-se um recorte do banco de dados, enfocando a região da Mina do Mamão e adjacências (Figura I.1).

A redução dos dados de magnetometria e gamaespectrometria em malha regular foi efetuada através da interpolação utilizando mínima curvatura e o método bi-direcional com tamanho de célula da malha de ¼ do espaçamento entre linhas de vô. Após

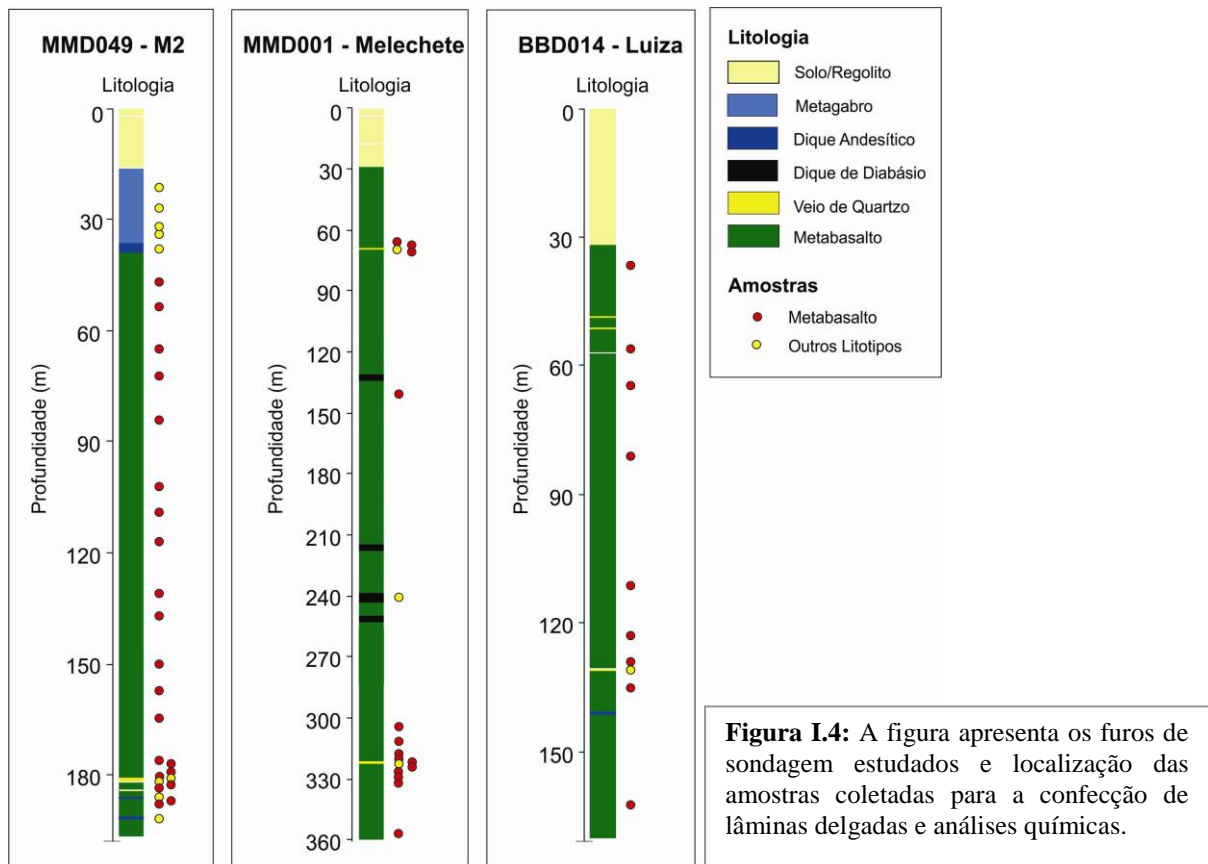
análise dos resultados gerados a partir do campo magnético anômalo verificou-se uma melhor eficiência do método bidirecional. Os dados gamaespectrométricos foram interpolados utilizando curvatura mínima com tamanho de célula da malha de $\frac{1}{4}$ do espaçamento entre linhas de vôo, não mostrando resultados satisfatórios quando da utilização do método bidirecional.

1.4.2.3 *Seleção dos testemunhos de sondagem e métodos de amostragem petrográfica e geoquímica*

Com o intuito de caracterizar o comportamento mineralógico, químico e as propriedades físicas das zonas mineralizadas da região foram selecionados três furos distribuídos ao longo da direção N40E que interceptam corpos mineralizados posicionados em diferentes níveis estratigráficos e com diferentes teores de ouro, sendo dois deles localizados na mina do Mamão e um em corpo subeconômico, conforme já descrito. Esse procedimento segue o estudo metodológico proposto por Health & Campbell (2004). Foi efetuada uma descrição detalhada dos testemunhos de sondagem do *greenstone belt* Andorinhas e com isso feita a escolha das amostras a serem laminadas, englobando detalhadamente a zona mineralizada e rochas não mineralizadas ao longo dos furos (Figura I.4).

O furo analisado em maior detalhe foi o MMD 049, que intercepta um corpo de minério importante da mina do Mamão (corpo M2). Este furo foi amostrado em intervalos irregulares visando abranger todas as mudanças texturais e mineralógicas perceptíveis na descrição macroscópica, e mais detalhadamente na zona mineralizada, onde o espaçamento de amostragem foi de aproximadamente 1 metro. O furo MMD 001 também está localizado na região da mina do Mamão e foi amostrado em dois intervalos mineralizados. O intervalo de maior profundidade representa outro corpo importante que vem sendo lavrado atualmente na mina do Mamão (corpo Melechete), e o intervalo superior representa a continuidade do corpo M2 que, segundo dados da empresa Reinarda Mineração LTD, também poderia ter expressão neste furo. No restante do furo foi amostrado o metabasalto com menor grau de alteração hidrotermal na descrição macroscópica e uma amostra de dique de diabásio. O furo subeconômico BBD 014 foi amostrado de dois em dois metros na zona mineralizada e em intervalos irregulares ao longo do furo levando em consideração suas variações na descrição macroscópica. As descrições dos três furos foram realizadas a partir da rocha fresca. Nos mesmos intervalos dos testemunhos onde foram confeccionadas as lâminas delgadas foram também coletadas amostras para análise química, tomando o devido cuidado para coleta de

amostras com a menor quantidade possível de venulações nas faixas hidrotermalmente alteradas.



1.4.2.4 Estudo petrográfico

Foram realizados estudos petrográficos de luz transmitida e refletida de lâminas delgadas polidas, utilizando o microscópio Olympus modelo BX60FS (*Olympus Optical Co. Ltd.*) disponibilizado pelo Laboratório de Microscopia da Universidade de Brasília e utilizadas técnicas e critérios tradicionais de petrografia, visando à identificação e caracterização das zonas de alteração hidrotermal e da mineralização.

Análises de química mineral foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências (UnB). O aparelho utilizado foi o modelo Jeol JXA 8230. A voltagem utilizada foi 15 kV e 20kV. Foram analisados minerais específicos, quando necessário, para verificação da composição mineral com o objetivo de auxiliar na descrição petrográfica e no melhor entendimento dos minerais que compõem as zonas de alteração hidrotermal (dados de análise de anfibólio no anexo A).

1.4.2.5 Tratamento de dados Geoquímicos

O tratamento dos dados geoquímicos e confecção dos diagramas foram realizados utilizando os programas Microsoft Excel (Microsoft), SPSS 10.01 (IBM) e GCDkit 2.3 (Janoušek *et. al.*, 2006).

Foi realizada a confecção de diagramas de classificação química e diagramas ternários, para se determinar as variações nos litotipos encontrados, e diagramas de variação multielementos e histogramas para se analisar a distribuição e mobilidade dos álcalis, testando a hipótese de que esta mobilidade possa ser utilizada para localização de novos depósitos de ouro e para monitorar os fluidos associados com sistemas hidrotermais (Heath e Campbell, 2004).

Estes autores demonstraram que a razão $(Cs + Rb)/Th$, normalizada para o manto primitivo, pode ser utilizada para distinguir zonas de enriquecimento em álcalis de zonas empobrecidas nestes elementos, em rochas basálticas que hospedam mineralizações de ouro na região de Kalgoorlie e Kambalda (Austrália). O enriquecimento em álcalis nessas zonas mineralizadas se dá por meio da interação com fluidos hidrotermais, de forma que zonas empobrecidas em Cs e Rb não são interessantes para prospecção e zonas de enriquecimento sim.

Ao aplicar essa nova técnica nos dados do *greenstone belt* Andorinhas e integrá-los com os outros dados disponíveis neste trabalho, pretende-se gerar novos critérios prospectivos em regiões de depósitos auríferos hidrotermais arqueanos.

1.4.2.6 Coleta das propriedades físicas de rocha

Foram coletados em campo dados de propriedades físicas das rochas hospedeiras nas zonas mineralizadas e não mineralizadas, tais como: susceptibilidade magnética, condutividade elétrica e radiação gama. Para a aquisição dos dados de susceptibilidade magnética e condutividade foi utilizado o equipamento MPP-EM2S+ (*Multi Parameter Probe*), desenvolvido pela *INSTRUMENTATION GDD INC.* (Figura I.5A), que consiste em uma sonda com forma de pistola ligada a uma unidade de leitura (PDA) e possibilita a determinação da susceptibilidade magnética (10^{-3} SI) e valores de condutividade elétrica relativa e absoluta (Mhos/m) em amostras. Os parâmetros do equipamento são: taxa de amostragem de 10 vezes por segundo e taxa apresentada a cada 0,5 segundo.

Para a coleta dos radioelementos K, eTh e eU, foi utilizado o gamaespectrômetro portátil de 256 canais GR-320, fabricado pela *Exploranium* (Figura I.5B), que consiste de um espectrômetro e um canhão de iodeto de sódio ativado a tálio para medições. O equipamento foi calibrado pela LASA Engenharia e Prospecção S.A e permite medidas da radiação gama tanto em % de K quanto ppm de eU e eTh como em cintilações por segundo (cps).

Ambos os equipamentos foram disponibilizados para esta pesquisa pelo Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

As medidas de susceptibilidade foram realizadas de 1m em 1m, deixando, a cada leitura, o susceptibilímetro exposto ao ar por 5 segundos para diminuir o erro de leitura e o equipamento programado para reiniciar a cada 60 segundos. Todos os intervalos amostrados foram serrados ao meio para que a medida fosse tirada com o aparelho em maior contato possível com a superfície da rocha.



Figura I.5: (A) Equipamento MPP-EM2S+ (*Multi Parameter Probe*) desenvolvido pela *GDD INSTRUMENTATION INC* utilizado para aquisição dos dados de susceptibilidade magnética e condutividade; (B) Equipamento Gamaespectrômetro GR-320, fabricado pela *Exploranium* utilizado para aquisição dos dados radiométricos.

A variação dos radioelementos K, eTh e eU nos furos de sondagem foi amostrada de 5 m em 5 m ao longo dos testemunho de alto teor e do subeconômico e de 10 m em 10 metros ao longo do furo não econômico, adensando a amostragem ao longo da zona mineralizada para 1 m em 1 metro. Segundo IAEA (2003), o tempo de amostragem necessário para uma medição depende da radioatividade da fonte e da precisão necessária. Para Lovborg & Mose (1987), um tempo de amostragem de 2 minutos para rochas altamente radioativas e de 6 minutos para rochas de baixa radioatividade é considerado aceitável de acordo com testes realizados para um detector de 350 cm³ de NaI(Tl) com uma precisão de 10% .

Para o presente trabalho, efetuaram-se testes com 5 minutos e com 6 minutos. Como não se obteve nenhuma diferença substancial, optou-se pelo tempo de amostragem de 5 minutos. As medidas foram coletadas ao ar livre, para que diminuísse a influência de radiação externa (telhados de galpões, equipamentos, etc.), utilizando-se uma caixa de madeira limpa para apoio da amostra. A medição foi realizada com o aparelho em contato com a superfície da amostra a ser medida.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação de mestrado está estruturada em três partes. A primeira apresenta a motivação para o desenvolvimento da pesquisa, os objetivos e a localização da área de estudo. A segunda parte está organizada em formato de artigo e intitula-se “CARACTERIZAÇÃO DE ZONAS HIDROTERMAIS ASSOCIADAS À MINERALIZAÇÃO DE OURO NO *GREENSTONE BELT* ANDORINHAS, RIO MARIA (PA) A PARTIR DE PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE ROCHA.”. As discussões e considerações são apresentadas na parte III e objetivam sumarizar os resultados obtidos, bem como as aplicações em outras áreas onde ocorrem mineralizações auríferas associadas com metabasaltos em ambiente do tipo *greenstone belt*.

**II. CARACTERIZAÇÃO DE ZONAS
HIDROTERMAIS ASSOCIADAS À
MINERALIZAÇÃO DE OURO NO
GREENSTONE BELT ANDORINHAS,
RIO MARIA (PA) A PARTIR DE
PROPRIEDADES FÍSICAS E
QUÍMICAS DE ROCHA.**

II. CARACTERIZAÇÃO DE ZONAS HIDROTERMAIS ASSOCIADAS À MINERALIZAÇÃO DE OURO NO *GREENSTONE BELT* ANDORINHAS, RIO MARIA (PA) A PARTIR DE PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE ROCHA.

RESUMO

No Domínio Rio Maria ocorrem depósitos de ouro tipo *lode*, hospedados nas rochas da seqüência vulcanossedimentar do tipo *greenstone belt* e agrupadas sob a denominação de Supergrupo Andorinhas. Os depósitos de ouro estão hospedados em veios de quartzo associados a corredores de cisalhamento transcorrentes ENE-WSW, que interceptam metabasaltos hidrotermalizados. Os produtos derivados de dados aerogeofísicos magnetométricos e gamaespectrométricos de alta resolução, adquiridos pela Reinarda Mineração Ltda./Troy Brasil Ltda. mapeiam anomalias de potássio ao longo de zonas de cisalhamento com intensa potassificação. A fim de investigar a mobilidade de álcalis e a variação da resposta dos radioelementos K, eU e eTh e suas relações com os valores de susceptibilidade magnética (SM), foram realizadas análises sistemáticas em amostras de três furos de sondagem. Dois furos de sondagem cortam corpos mineralizados explorados na Mina do Mamão conhecidos como M2 e Melechete (econômicos), e o terceiro furo corta um corpo subeconômico denominado Luiza. Análises geoquímicas para elementos maiores, menores e traços foram efetuadas considerando a variação hidrotermal ao longo dos três furos. A amostragem radiométrica ao longo dos testemunhos foi realizada utilizando um gamaespectrômetro portátil de 256 canais GR-320, SAIC *Exploranium*, com intervalo de amostragem 5 metros, adensado para 1 metro ao longo de 20 metros que englobam a mineralização aurífera. Por se tratarem de rochas com baixos teores em radioelementos, o tempo de amostragem foi estabelecido em 5 minutos. As medidas de SM foram coletadas com o equipamento MPP-EM2S+ (*Multi Parameter Probe*) com intervalo de amostragem de 1 metro. Nos três furos, a variação da resposta radiométrica indica um aumento na concentração de potássio na zona mineralizada. Os furos MMD049 e MMD001 que cortam os principais corpos de minério (M2 e Melechete respectivamente) apresentaram um decréscimo da SM, indicando desmagnetização na zona mineralizada. A análise dos dados geoquímicos demonstrou que os altos valores da razão dos álcalis coincidem com a localização da alteração hidrotermal nos três furos amostrados, além de indicar a alteração hidrotermal no que seria a continuação do corpo M2 no furo MMD001. Esta relação confirma a hipótese de que a mobilidade dos álcalis possa ser utilizada como ferramenta para monitorar zonas mineralizadas, em sistemas hidrotermais auríferos, e como vetor geoquímico para a localização de novos depósitos de ouro. Os resultados obtidos nesta pesquisa mostram a eficácia da aplicação de dados geofísicos e geoquímicos na identificação de zonas de alteração hidrotermal associadas às mineralizações de ouro no *greenstone belt* Andorinhas.

II. CHARACTERIZATION OF HYDROTHERMAL AREAS ASSOCIATED TO ANDORINHAS GREENSTONE BELT GOLD MINERALIZATION AT RIO MARIA (PA), BASED ON PHYSICAL AND CHEMICAL ROCK PROPERTIES

ABSTRACT

At Rio Maria Domain there are Lode-type gold deposits hosted in greenstone belt volcano-sedimentary sequence rocks and grouped under the name of Andorinhas Supergroup. Gold deposits are hosted in quartz veins associated with ENE-WSW transcurrent shear corridors that meet hydrothermalized metabasalts. Products derived from high-resolution airborne geophysical magnetometric, gradiometric and gamma-ray spectrometric data, acquired by Reinarda Mining Ltda./Troy Brasil Ltda. map potassium anomalies along potassium-rich shear zones. In order to investigate the mobility of alkalis and the response variation of radioelements K, eU and eTh and their relations with magnetic susceptibility (MS) values, samples from three boreholes were systematically analyzed. Two drill holes cross mineralized bodies exploited at Mina do Mamão, known as M2, and Melechete (economic), and a third drill hole intercepts a subeconomic body called Luiza. Geochemical analyzes of major, minor and trace elements were performed considering the hydrothermal variation along the three holes. Radiometric sampling along the drill holes was performed using a SAIC Exploranium GR-320 256 channel portable gamaespectrometer in a 5-meter interval, which was reduced to a 1-meter interval along the 20 meters where the gold mineralization occurs. Since these rocks present low levels of radioelement, samples were collected within a 5-minute time range. MS measures were obtained using MPP-EM2S+ Multi Parameter Probe at 1-meter intervals. In the three holes, the variation of the radiometric response points out to an increase in potassium concentration in the mineralized zone. Holes MMD049 and MMD001 cutting the main ore bodies (M2 and Melechete, respectively) showed a decrease of MS, indicating a demagnetization in the mineralized zone. Geochemical data analysis showed that high values of alkali ratio coincide with the location of hydrothermal alteration in all three holes sampled, and point out to a hydrothermal alteration in what would be the continuation of the M2 body in hole MMD001. This relation confirms the hypothesis that alkali mobility may be used as a tool to monitor mineralized zones in gold-bearing hydrothermal systems and as geochemical vector for locating gold deposits. The results obtained in this study show the effectiveness of using geophysical and geochemical data to identify hydrothermal alteration zones associated with gold mineralization at Andorinhas Greenstone Belt.

1. INTRODUÇÃO

As demandas atuais em exploração mineral requerem o emprego de tecnologias avançadas e eficientes. Vários métodos geofísicos vêm sendo aplicados no Brasil com sucesso e permitem identificar alvos potenciais tanto em *greenfield* quanto em *brownfield* otimizando todo o processo exploratório. Porém, a necessidade de acomodar ou gerar novas tecnologias que permitam o refinamento de alvos pre-selecionados se reveste de importância estratégica para o Brasil.

O *greenstone belt* Andorinhas é uma área chave para o desenvolvimento deste tipo de pesquisa, devido à identificação de alvos potenciais mapeados através de dados aeromagnéticos gradiométricos e gamaespectrométricos de alta resolução (Costa-Silva *et al.*, 2012). Vários dos novos alvos associados com mineralização do tipo *lode-gold* detectados pelo Projeto Andorinhas foram inicialmente checados em campo com mapeamento geológico de reconhecimento e amostragem de rochas. Os denominados alvos Marcinho, Resende e Votuporanga foram posteriormente acompanhados com avaliações de campo mais sistemáticas consistindo em mapeamento geológico de detalhe e malhas de solo programadas com base nas análises geoquímicas de amostras de rocha (Figura I.2) (Costa-Silva *et al.*, 2012).

Apesar da integração de dados mostrar vetores prospectivos chaves na área de interesse, objetivou-se refinar os alvos mapeados com novas técnicas que pudessem otimizar o processo exploratório ou mesmo incrementar o procedimento de seleção e entendimento dos alvos selecionados. Optou-se por procurar técnicas que pudessem auxiliar no entendimento de zonas alteração hidrotermal em metabasaltos, e na descoberta de outro alvo semelhante à Mina do Mamão e que refletisse o potencial aurífero atual do Projeto Andorinhas.

Estrategicamente, optou-se por testar, de forma inédita no Brasil, a hipótese de Heath & Campbell (2004). Os autores advogam que a mobilidade de álcalis pode ser utilizada como uma ferramenta para monitorar o fluxo de fluidos associados a sistemas hidrotermais que contêm ouro e representam um vetor geoquímico para a procura de novos depósitos auríferos. Segundo Xu (1999), os halos mapeados pelos álcalis são maiores que os halos de alteração visíveis. Se a premissa é verdadeira e aplicável tem terrenos do tipo *greenstone belt* arqueanos, ela pode ser aplicada no contexto da área de estudo. É importante ressaltar que a aplicabilidade do método foi testada em rochas máficas e em contexto bem similar ao da Mina do Mamão.

O principal objetivo deste artigo é apresentar o estudo dos halos de alteração hidrotermal e das zonas mineralizadas visando caracterizar as variações mineralógicas e texturais, a mobilidade química de alguns elementos solúveis em sistemas hidrotermais e as propriedades físicas das rochas hospedeiras nestas zonas mineralizadas.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A região de Rio Maria situa-se no Leste/Sudeste do Estado do Pará e está inserida na parte Oriental do Cráton Amazônico, bordejado a Leste, Sul e Sudeste pelas faixas móveis neoproterozóicas Araguaia e Paraguai (Almeida, 1981).

A evolução geológica do Cráton Amazônico vem sendo explicada na literatura segundo duas grandes linhas de concepção evolutiva. A primeira defende que o cráton foi formado desde o Arqueano até o Paleoproterozóico e que durante o Mesoproterozóico ocorreram apenas processos de reativação e/ou retrabalhamento de rochas pré-existentes (Hasui *et al.*, 1984; Costa & Hasui, 1997). A segunda concepção defende a estabilização de um núcleo mais antigo no final do Arqueano e formação de uma sucessão de arcos magmáticos envolvendo a geração de material juvenil, e também processos de retrabalhamento crustal até o Mesoproterozóico, tornando-se estável no final do mesoproterozóico, por volta de 1Ga (Teixeira *et al.*, 1989; Tassinari & Macambira, 1999, Tassinari & Macambira, 2004).

Para um melhor entendimento dos processos de evolução crustal e suas implicações tectônicas, alguns autores propõem, com base em estudos isotópicos, a divisão do cráton em Províncias Geocronológicas (Amaral, 1974; Cordani *et al.*, 1979; Teixeira *et al.* 1989; Tassinari, 1996; Tassinari & Macambira, 1999; Santos *et al.*, 2000; Santos, 2003; Tassinari & Macambira, 2004). Tassinari & Macambira (1999), seguiram o conceito de Província Geocronológica, definida por Stockweel (1961), como sendo grandes zonas dentro de áreas cratônicas, onde predomina certo padrão geocronológico, litológico, geoquímico e isotópico sendo o limite entre essas províncias traçados com base nas idades de seu embasamento metamórfico.

Santos *et al.* (2000) propõem a divisão em sete Províncias Geocronológicas são elas, Carajás: 2,5-3,1; Transamazonas: 2,25-2,0; Amazônia Central: 2,6-1,7; Tapajós-Parima: 2,1-1,87; Rio Negro: 1,86-1,52; Rondônia- Juruena: 1,81-1,52; e Sunsás: 1,45-0,99. Já Tassinari & Macambira (2004) propõem a seguinte compartimentação:

Amazônia Central >2,5; Maroni-Itacaiunas 2,2-1,95; Ventuari-Tapajós 1,95-1,8; Rio Negro-Juruena 1,8-1,55; Rondoniana-San Inácio 1,55-1,3; e Sunsás 1,3-1,0. (Figura 2.1). Ambos os autores colocam a Província Carajás em domínio Arqueano, sendo denominada de Província Carajás por Santos *et al.* (2000) e de Província Amazônia Central – Bloco Carajás por Tassinari & Macambira (2004).

A Província Carajás (Santos *et al.*, 2000) tem sido explorada desde 1968, quando foram descobertos gigantescos depósitos de ferro. Hoje representa a principal província mineral do País – Província Mineral de Carajás (PMC), com depósitos de Fe, Cu-Au, Ni, Mn, Cr, Al e tem como características principais sua idade predominantemente arqueana e estruturação disposta segundo WNW–ESE (Santos, 2003).

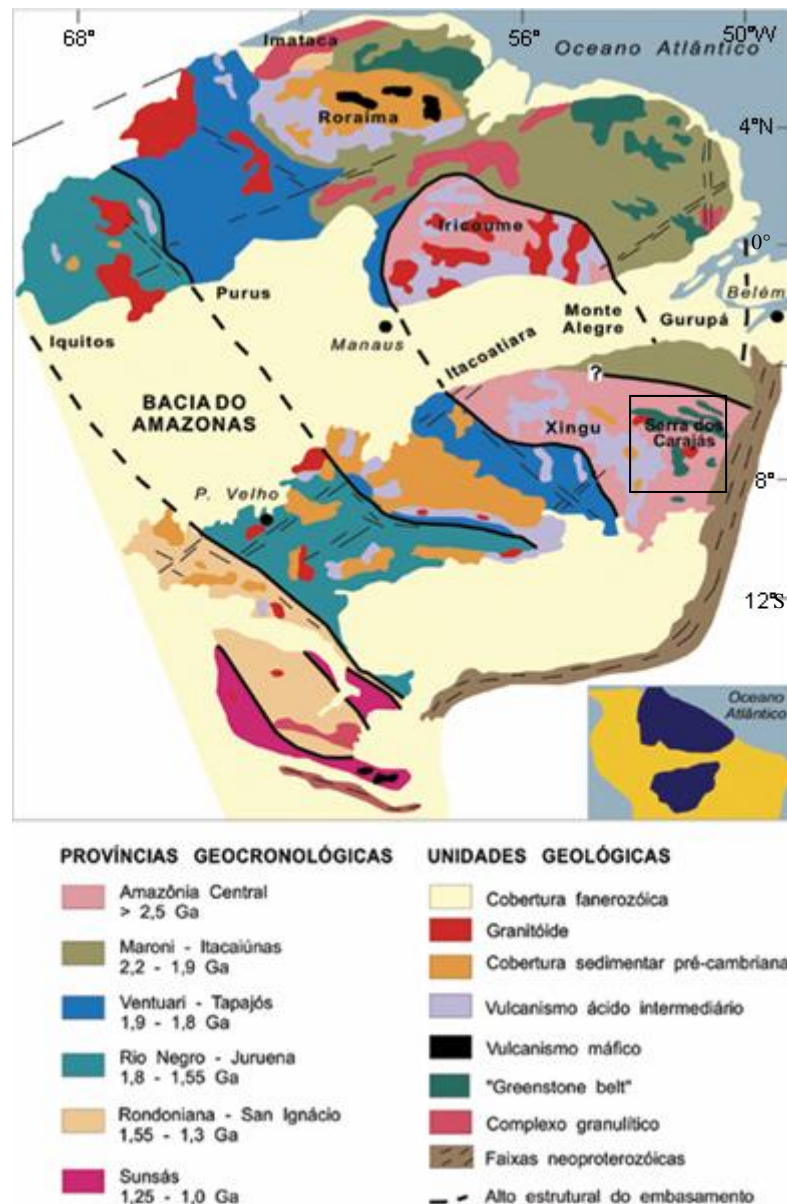


Figura 2.1: Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico segundo Tassinari & Macambira (2004). Província Carajás (Santos *et al.*, 2000) em destaque.

A Província Carajás é dividida em dois domínios distintos: Domínio Rio Maria (mesoarqueano) a Sul, com predomínio de terrenos granito-*greenstone* (com idades na faixa de 2,85-3,05 Ga), e Domínio Carajás (neoarqueano), a Norte, caracterizado por sequências metavulcano-sedimentares e granitóides gerados principalmente no intervalo de 2,76-2,55Ga. (Figura 2.1). Ambos fazem limite a Leste com o Cinturão Araguaia.

O Domínio Rio Maria consiste na região mais antiga do núcleo arqueano do Sul do Cráton Amazônico, sendo caracterizado como um típico terreno granito-*greenstone* arqueano constituído de *greenstone belts* mesoarqueanos, intrudidos por granitóides e ortognaisses tipo TTG, sanukitóides com alto Mg, granitos de alto K e por complexos máfico-ultramáficos e coberturas sedimentares tardi-arqueanas (Grupo Rio Fresco). Também ocorrem granitos, diques félsicos e máficos relacionados a um magmatismo anorogênico associado ao sistema extensivo-termal no Paleoproterozóico. (Vasquez *et al.*, 2008 e Tassinari *et al.* 2000).

Os *greenstone belts* mesoarqueanos estão distribuídos como faixas de orientações E-W, NW-SE e NE-SW e compreendem as rochas do *greenstone belt* Andorinhas, objeto de estudo deste trabalho, além das seqüências vulcanossedimentares da Serra do Inajá, de Gradaús, de Sapucaia, Tucumã e Identidade (Figura 2.2). As seqüências vulcanossedimentares que compõem estes diversos seguimentos do tipo *greenstone belts* foram agrupadas sob a denominação de Supergrupo Andorinhas (DOCEGEO, 1988).

2.1 SUPERGRUPO ANDORINHAS

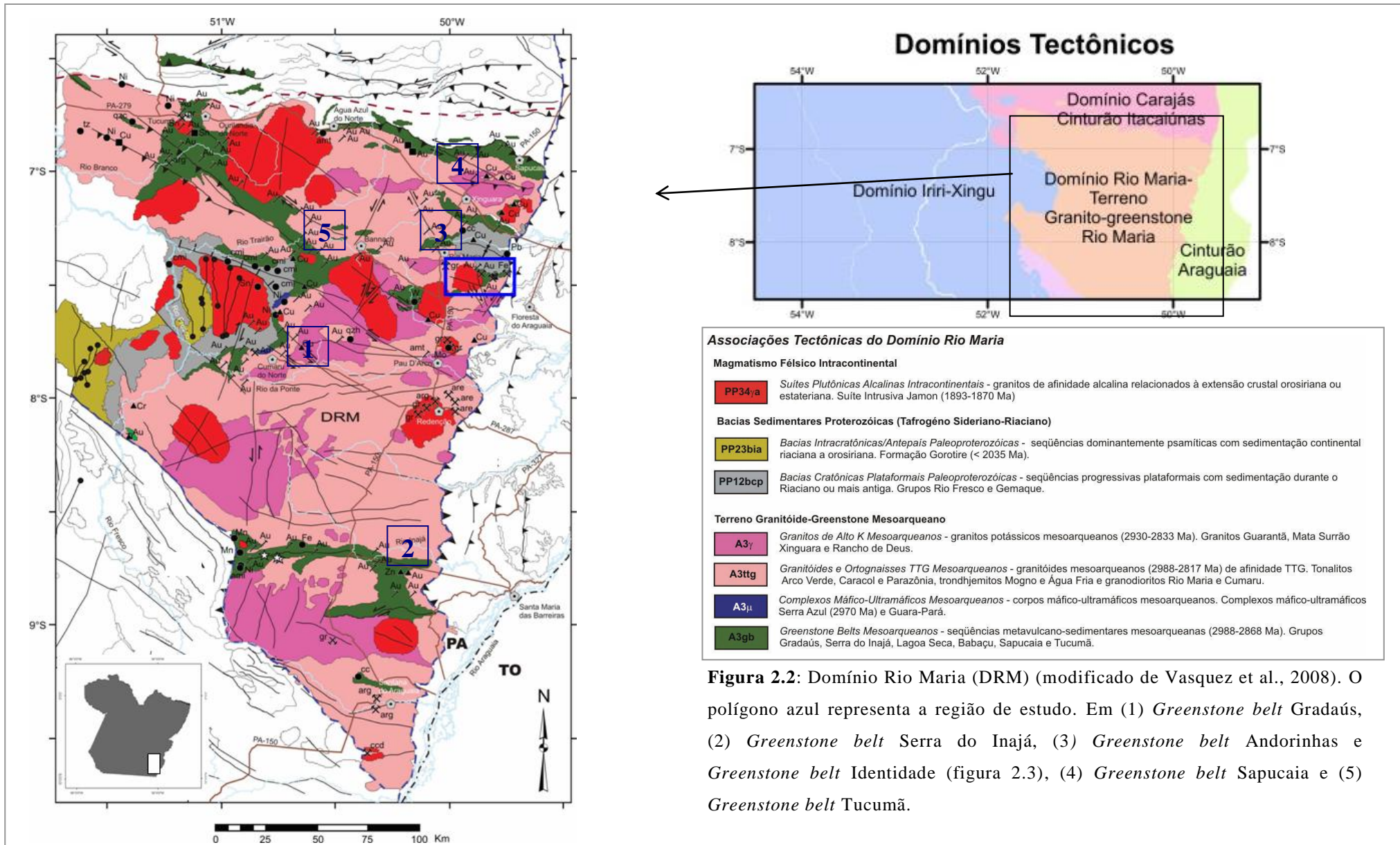
O termo Supergrupo Andorinhas foi proposto em 1988 pela DOCEGEO para designar todas as seqüências tipo *greenstone* da Província Carajás. Santos & Pena Filho (2000) redefiniram a unidade como Grupo Andorinhas, agrupando somente as seqüências supracrustais arqueanas que ocorrem na adjacência da serra homônima, estas incluem o *greenstone belt* Andorinhas e a Faixa Identidade (Figura 2.3). Para este trabalho será adotada a definição proposta por DOCEGEO (1988).

DOCEGEO (1988) subdividiu o Supergrupo Andorinhas em dois grupos: o Grupo Babaçu, na base, e o Lagoa Seca no topo. O Grupo Babaçu é constituído por metakomatiitos com textura spinifex e intercalações de formações ferríferas bandadas (Formação Igarapé Encantado) e por extensos derrames de metabasaltos toleíticos variolíticos, com estruturas

pillow e intercalações de formações ferríferas, talco-xistos e meta tufos, passando em direção ao topo para metapelitos, formações ferríferas e metachert (Formação Mamão). Estas unidades encontram-se intrudidas por diques de dioritos e doleritos (Huhn 1992).

O Grupo Lagoa Seca é formado na sua porção basal pela Formação Fazenda do Quincas composta por rochas metassedimentares clásticas (grauvacas e siltitos) intercaladas com metavulcânicas ultramáficas (talco-clorita-xistos), além de níveis restritos de metavulcânicas intermediárias a félsicas (andesitos, dacitos, riodacitos) e finas lentes de formação ferrífera. O topo deste grupo é constituído de uma seqüência de rochas metavulcânicas/sub-vulcânicas intermediárias a félsicas, intercaladas com rochas metassedimentares predominantemente clásticas (grauvacas e siltitos), e níveis esporádicos de rochas metavulcânicas ultramáficas-máficas (Formação Recanto Azul) (DOCEGEO, 1988; Souza, 1999). Datações (U/Pb) em zircões de rochas vulcânicas félsicas no Grupo Lagoa Seca indicam 2.979 ± 0.005 Ga (Pimentel & Machado, 1994).

Estas seqüências vulcanossedimentares encontram-se metamorfizadas em fácies xisto verde a anfibolito e são cortadas por zonas de cisalhamento regionais, as quais estão associadas zonas de intensa alteração hidrotermal e as mineralizações de ouro (Huhn, 1992; Souza, 1994).



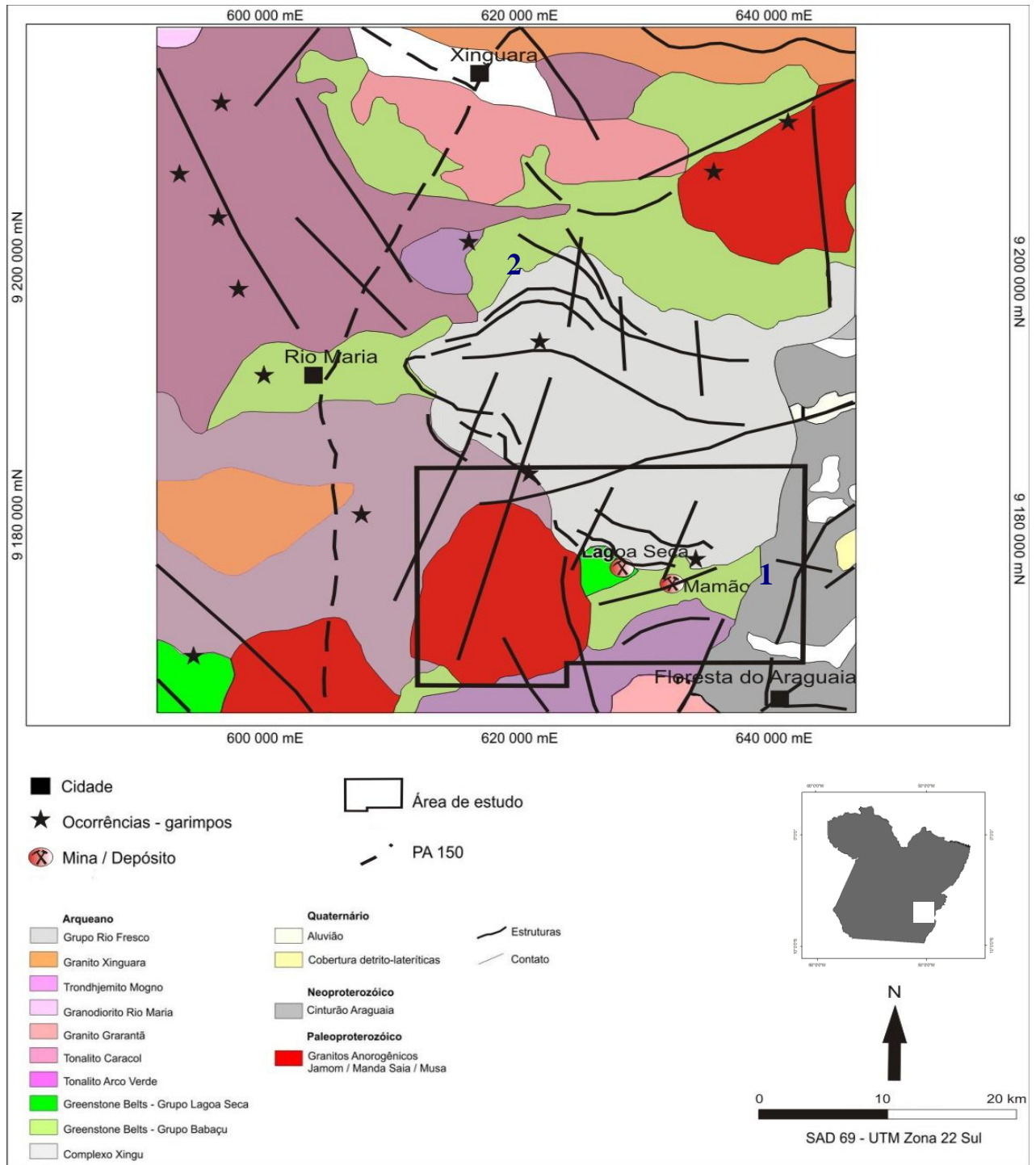


Figura 2.3: Mapa geológico da área de estudo (modificado de Vasquez, 2008), indicando depósitos e ocorrências de ouro na região de Rio Maria. (1) *greenstone belt* Andorinhas; e (2) *greenstone belt* Identidade.

2.2 MINERALIZAÇÕES DE OURO E ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

Abundantes depósitos de ouro encontram-se relacionados a terrenos granito-*greenstone* arqueanos no mundo todo (Goldfarb *et al.*, 2001). Esses depósitos podem ser correlacionados com estágios finais de processos de acreção e subducção (Groves *et al.*, 1998) ou tardi extensão orogênica (Goldfarb *et al.*, 1997). Chamados de depósitos mesotermiais e posteriormente de depósitos de ouro orogênico (Groves *et al.*, 1998).

Ao Domínio Rio Maria, estão associadas mineralizações de cobre-ouro, ferro e ouro, sendo as últimas as mais conhecidas. Diversos pequenos depósitos e numerosos indícios de ouro ocorrem em veios de quartzo ricos em pirita, envolvidos por intensa alteração hidrotermal, em zonas de cisalhamento regionais que afetaram as seqüências vulcano-sedimentares. Outros depósitos possuem características distintas, como ausência de veios de quartzo e/ou associação com magmatismo granítico, como é o caso do depósito de Cumaru onde o minério (Au-Cu-Bi-Mo) está hospedado tanto no granodiorito (Granodiorito Cumaru) quanto nas rochas da seqüência metavulcano-sedimentar encaixantes (Grupo Gradaús).

O depósito de ouro de Diadema, localizado no extremo Norte do domínio, no *greenstone belt* Sapucaia, está hospedado em conjuntos litológicos, compostos por metavulcânicas ácidas, metavulcânicas intermediárias a básicas, metaultrabásicas e metavulcânicas ácidas com intercalações de rochas porfiríticas ácidas caracterizado por extensas zonas de cisalhamento orientadas WNW-ESE, encurvadas na sua porção central por uma transtensão regional. O ouro encontra-se de diversas formas, veios e *budins* de quartzo brechados concordantes com a foliação, *rods* achatados e alongados, sistema irregular de veios de quartzo e carbonatos e com veios e vênulas ricas em pirita, neste caso encontrado nas fraturas de pirita, calcopirita. (Oliveira, 1993).

No *greenstone belt* Andorinhas os depósitos de ouro Babaçu e Lagoa Seca são os mais conhecidos (Silva & Cordeiro, 1988; Souza *et al.*, 1990; Huhn, 1992; Souza *et al.*, 2001). As rochas pertencentes ao *greenstone belt* Andorinhas foram afetadas por extensas zonas de cisalhamento que mostram, em geral, um caráter transcorrente acentuado, com movimentação reversa indicativa de um transporte regional para SSE, sendo os corpos de minério associados a diversas litologias, mas principalmente a rochas máficas com alteração hidrotermal.

No depósito Babaçu as principais estruturas que controlam a distribuição e a geometria dos corpos de minério são as faixas transtensionais secundárias, geradas em domínios transcorrentes. Os veios de quartzo estão distribuídos paralelamente à foliação milonítica principal e vênulas subordinadas preenchendo fraturas. O controle dos corpos de minério é relacionado com a lineação de estiramento com mergulho moderado a forte (Huhn, 1992). Estão encaixados preferencialmente em rochas metamáficas-ultramáficas.

O Depósito de Lagoa Seca está posicionado no topo da seqüência do *greenstone belt* Andorinhas e difere também dos outros depósitos pela ausência de veios de quartzo. O ouro está hospedado em metagrauvas com sulfetos disseminados, intercaladas com metasiltitos e *sills* de metaultramáfica. Os maiores teores apresentam-se na interface da metaultramáfica com a metagrauva hidrotermalizada. O ouro ocorre em fraturas ou no núcleo de cristais de pirita. Os corpos de minério estão associados a zonas de dilatação, sendo acompanhados por intensa alteração hidrotermal, sem geração de veios de quartzo (Souza, 1999).

Os depósitos de Diadema, Babaçu e Lagoa Seca estão envolvidos por envelopes de hidrotermalismo bem desenvolvido em suas encaixantes.

Em Diadema, as rochas metavulcânicas intermediárias e máficas apresentam associações minerais que permitem distinguir três estágios de alteração hidrotermal: inicial (clorita I /clinocloro-carbonato); intermediário (albita-carbonato e clorita II-sericita); e avançado (muscovita-carbonato e quartzo-pirita).

Quatro zonas de alteração hidrotermal envolvem os corpos de minério do depósito Babaçu, desenvolvidas a partir das encaixantes já metamorfizadas, são elas: zona actinolítica (actinolita, quartzo, turmalina, carbonato, albita e epidoto); zona clorítica (clorita, carbonato, albita, quartzo, turmalina, carbonato, albita e epidoto); zona carbonática (carbonato, albita e quartzo); zona piritica (pirita, quartzo, carbonato, muscovita/sericita, biotita e turmalina) o ouro aparece disseminado nos veios de quartzo (Huhn, 1992).

No depósito Lagoa Seca, Souza (1999) identifica quatro halos de alteração hidrotemal carbonatização/propilitização, silicificação, potassificação e sulfetação. A fase de sulfetação (pirita, pirrotita e calcopirita) possui enriquecimento em Au, Ag, Cu, Zn, As, Fe, Ni, Co, Ba. O ouro é depositado junto aos sulfetos, principalmente pirita.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para caracterização das zonas de alteração hidrotermal relacionadas com a mineralização aurífera no *greenstone belt* Andorinhas, foram utilizados levantamento aerogeofísico de alta resolução, e três furos de sondagem foram amostrados para coleta de dados petrográficos e geoquímicos, além de dados de propriedades físicas de rocha, tais como susceptibilidade magnética, condutividade elétrica e teores dos radioelementos K, eTh e eU.

O levantamento aeromagnetométrico gradiométrico e gamaespectrométrico da área de estudo realizado entre 16 de novembro a 20 de dezembro de 2007, pela empresa LASA Engenharia e Prospecções S.A. A altura média de vôo do aerolevanteamento é de 100 m, com linhas de vôo de direção N-S com espaçamento de 125 m e linhas de controle de direção E-W espaçadas de 1500 m, perfazendo uma área de 1952 km² (LASA, 2008; Costa-Silva, 2011).

Com o intuito de caracterizar o comportamento mineralógico, químico e as propriedades físicas das zonas mineralizadas da região foram selecionados três furos distribuídos ao longo da direção N40E que interceptam corpos mineralizados posicionados em diferentes níveis estratigráficos e com diferentes teores de ouro, sendo dois deles localizados na Mina do Mamão e um em corpo subeconômico (Figura 3.1). Esse procedimento segue o estudo metodológico proposto por Health & Campbell (2004). Foi efetuada, pela estudante, descrição detalhada dos testemunhos de sondagem do *greenstone belt* Andorinhas e com isso feita a escolha das amostras a serem laminadas, englobando detalhadamente a zona mineralizada e rochas não mineralizadas ao longo dos furos e a coleta de uma amostra de metabasalto fora da zona mineralizada que não tenha sido afetada pela alteração hidrotermal.

O furo analisado em maior detalhe foi o MMD 049, que intercepta um corpo de minério importante da Mina do Mamão (corpo M2). Este furo foi amostrado em intervalos irregulares visando abranger todas as mudanças texturais e mineralógicas perceptíveis na descrição macroscópica, e mais detalhadamente na zona mineralizada, onde o espaçamento de amostragem foi de aproximadamente 1 metro. O furo MMD 001 também está localizado na região da Mina do Mamão e foi amostrado em dois intervalos mineralizados. O intervalo de maior profundidade representa outro corpo importante que vem sendo lavrado atualmente na Mina do Mamão (corpo Melechete), e o intervalo superior representa a continuidade do corpo M2 que, segundo dados da empresa Reinarda Mineração Ltda. também poderia ter expressão neste furo. No restante do furo foi amostrado o metabasalto com menor grau de alteração hidrotermal na descrição macroscópica e uma amostra de dique de diabásio. O furo

subeconômico BBD 014 foi amostrado de dois em dois metros na zona mineralizada e em intervalos irregulares ao longo do furo levando em consideração suas variações na descrição macroscópica. (Figura 3.2).

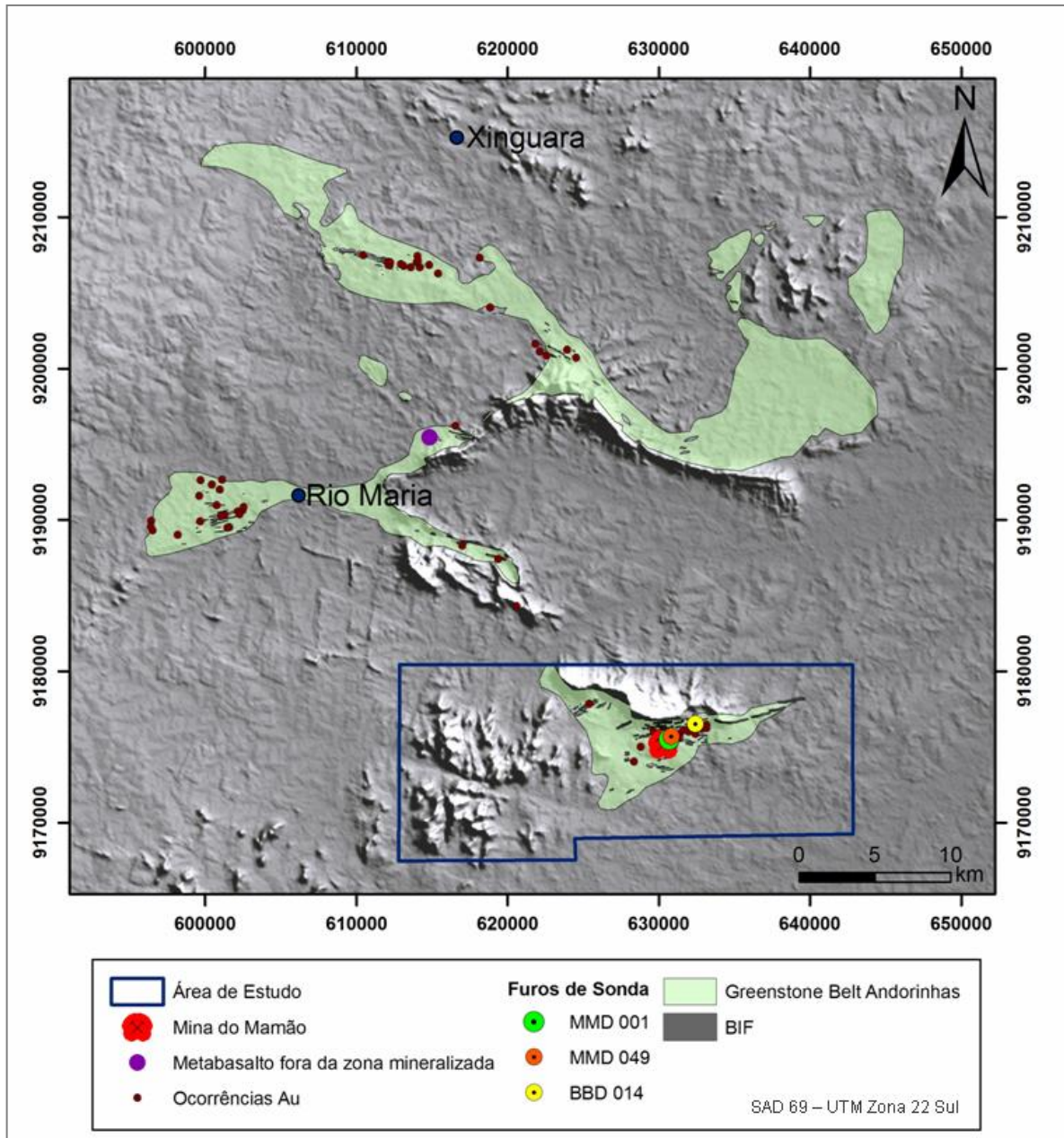
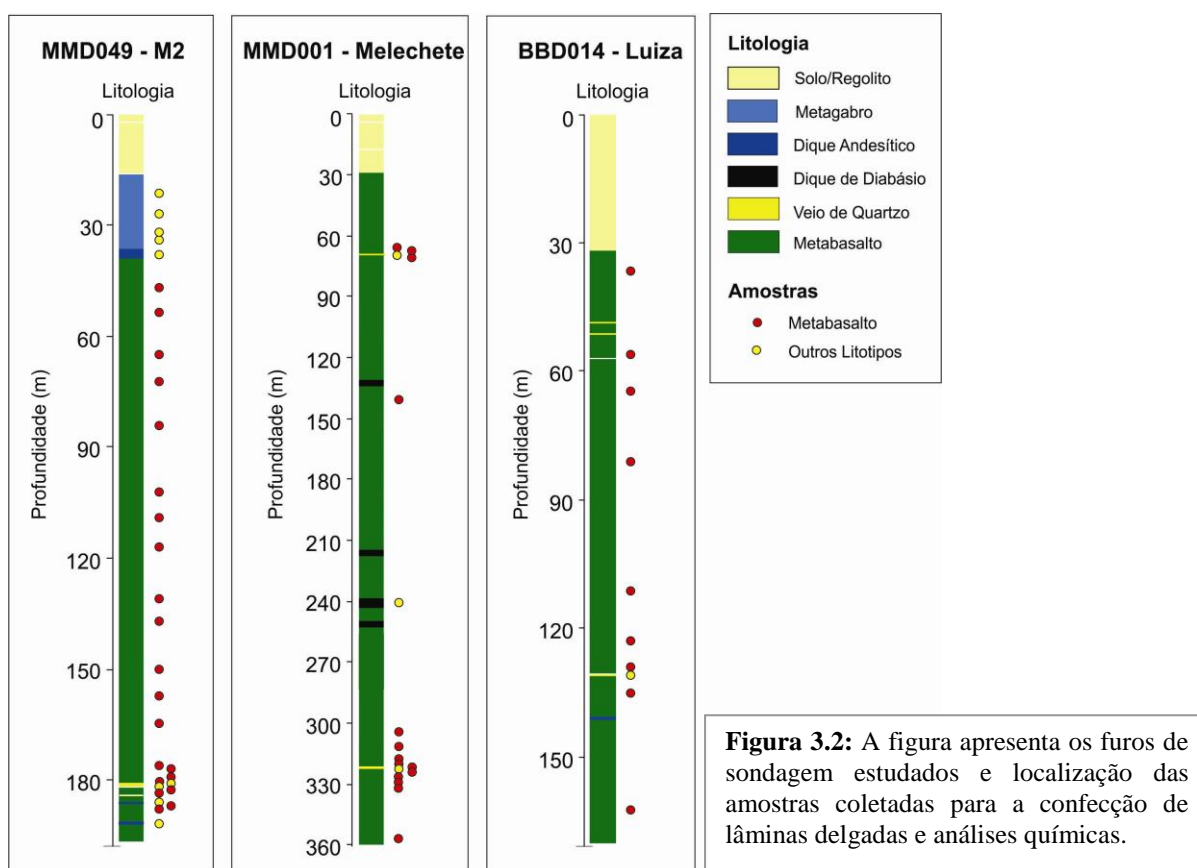


Figura 3.1: Modelo digital de terreno em tons de cinza, sobreposto ao contorno das sequências do tipo *greenstone belt* da região de Rio Maria e adjacências, com destaque para a região de estudo marcada pelo polígono em azul. Destaca-se ainda a localização dos três furos de sonda estudados e a localização da amostra de metabasalto coletada fora da zona mineralizada

As descrições dos três furos foram realizadas a partir da rocha fresca. Nos mesmos intervalos dos testemunhos onde foram confeccionadas as lâminas delgadas foram também coletadas amostras para análise química, tomando o devido cuidado para coleta de amostras com a menor quantidade possível de venulações nas faixas hidrotermalmente alteradas. No total foram coletadas pela estudante 61 amostras para laminação e análises químicas de elementos maiores, menores e traço em rocha total das zonas mineralizadas e entorno, incluindo amostras das zonas estéreis para comparação da mobilidade química associada ao sistema hidrotermal mineralizante.



A amostragem das propriedades físicas de rocha foi feita em campo, nos mesmos testemunhos de sondagem utilizando para a aquisição dos dados de susceptibilidade magnética e condutividade o equipamento MPP-EM2S+ (*Multi Parameter Probe*) desenvolvido pela *INSTRUMENTATION GDD INC.* (Figura 3.3A) e para a coleta dos radioelementos K, eTh e eU foi utilizado o gamaespectrômetro portátil de 256 canais GR-320, *SAIC Exploranium* (Figura 3.3B). Os métodos de coleta dos dados de propriedades físicas assim como o tratamento das análises químicas serão apresentados nos respectivos tópicos.



Figura 3.3: (A) Equipamento MPP-EM2S+ (*Multi Parameter Probe*) desenvolvido pela *GDD INSTRUMENTATION INC* utilizado para aquisição dos dados de susceptibilidade magnética e condutividade elétrica; (B) Equipamento Gamaespectrômetro GR-320, fabricado pela *Exploranium* utilizado para aquisição dos dados radiométricos.

4. MAPEAMENTO DE ZONAS DE ALTERAÇÃO HIDROTERMAL POR MEIO DA ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS

Para os dados aerogeofísicos do Projeto Andorinhas segue o estado da arte em termos do pré-processamento, processamento (interpolação e micronivelamento) e obtenção dos mapas transformados. Após a interpolação da malha do campo magnético anômalo, dos gradientes medidos (G_x e G_y) e dos canais de K (%), eTh (ppm), eU (ppm) e contagem total ($\mu\text{R/h}$), estes produtos foram recortados para a área de interesse do projeto e, posteriormente, gerados os outros produtos transformados.

4.1 PRODUTOS GERADOS

4.1.1 Gradientes medidos e produtos derivados do campo magnético anômalo

Para o tratamento destes dados, utilizaram-se técnicas eficientes para a determinação de parâmetros geométricos, como localização de limites (geológicos e estruturais), profundidades de corpos e feições estruturais, tais como: amplitude e inclinação do sinal analítico, derivadas vertical e horizontais (X e Y) e amplitude do gradiente horizontal total. Durante a interpretação, utilizaram-se também os gradientes magnéticos medidos durante o aerolevanteamento (G_x e G_y). Este produtos foram utilizados para mapear zonas de cisalhamento conhecidas por hospedar a mineralização aurífera, sua expressão em sub-superfície, bem como o prolongamento das mesmas em regiões arrasadas e que possam conter potencial para hospedar ouro. A figura 4.1 ilustra os processos para a obtenção desses produtos.

O campo magnético anômalo representa as anomalias magnéticas situadas na crosta e acima da superfície Curie. É obtido pela remoção do campo magnético terrestre do campo magnético total medido no levantamento. A resposta magnética observada no campo magnético anômalo pode ser de natureza profunda como, por exemplo, fontes situadas na base da crosta, ou de natureza rasa. Este fato, entre outros, dificulta sua interpretação direta, sendo necessária a geração de outros produtos para interpretação adequada dos dados. A figura 4.2 mostra o campo magnético anômalo da área piloto definida para esta dissertação de mestrado.

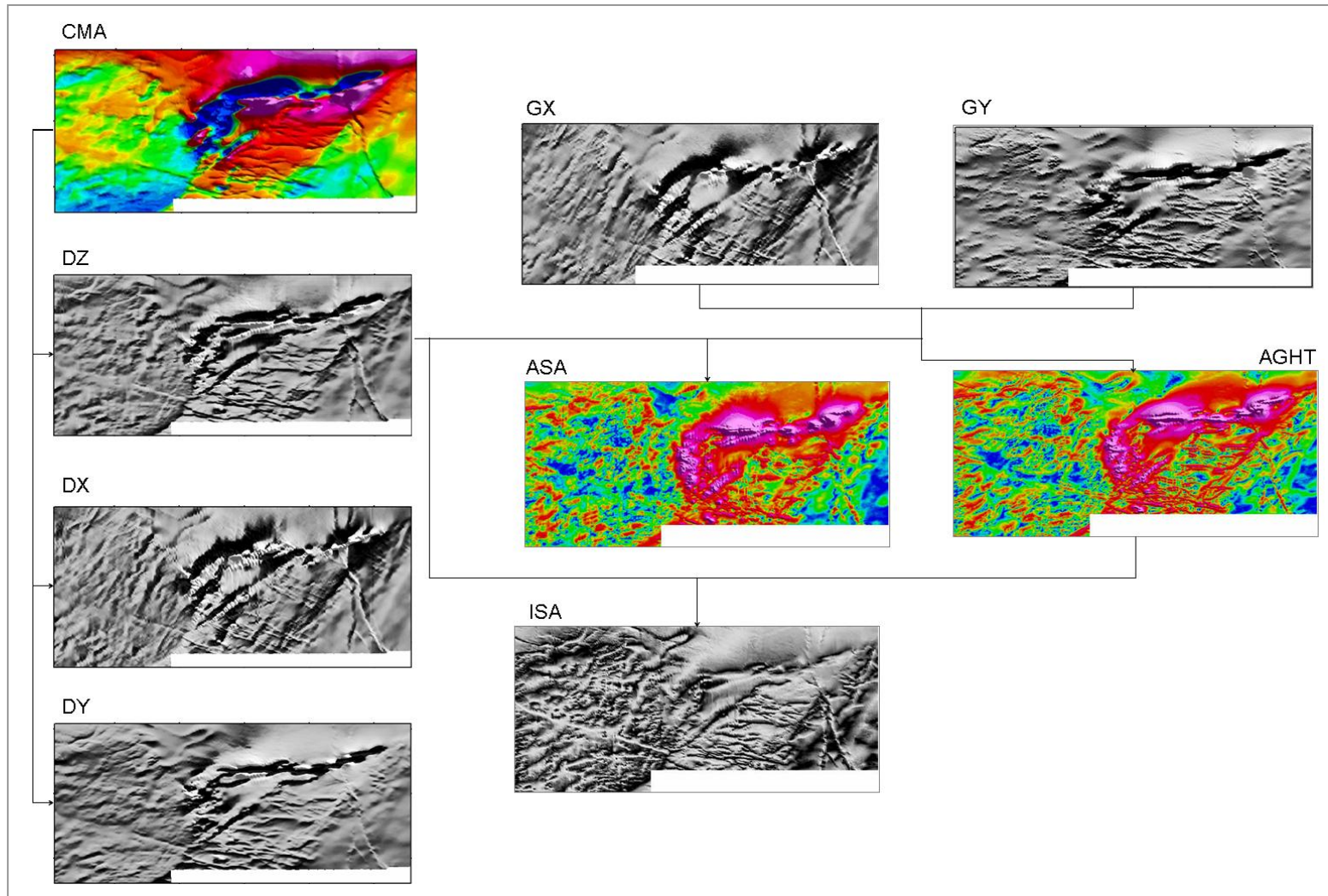


Figura 4.1: Fluxograma das transformações lineares do campo magnético anômalo. CMA (campo magnético anômalo), GX (Gradiente medido em x), GY (gradiente medido em y), DZ (derivada vertical), DX (derivada horizontal em x), DY (derivada horizontal em y), AGHT (amplitude do gradiente horizontal calculado a partir dos gradientes medidos Gx e Gy), ASA (amplitude do sinal analítico) e ISA (inclinação do sinal analítico).

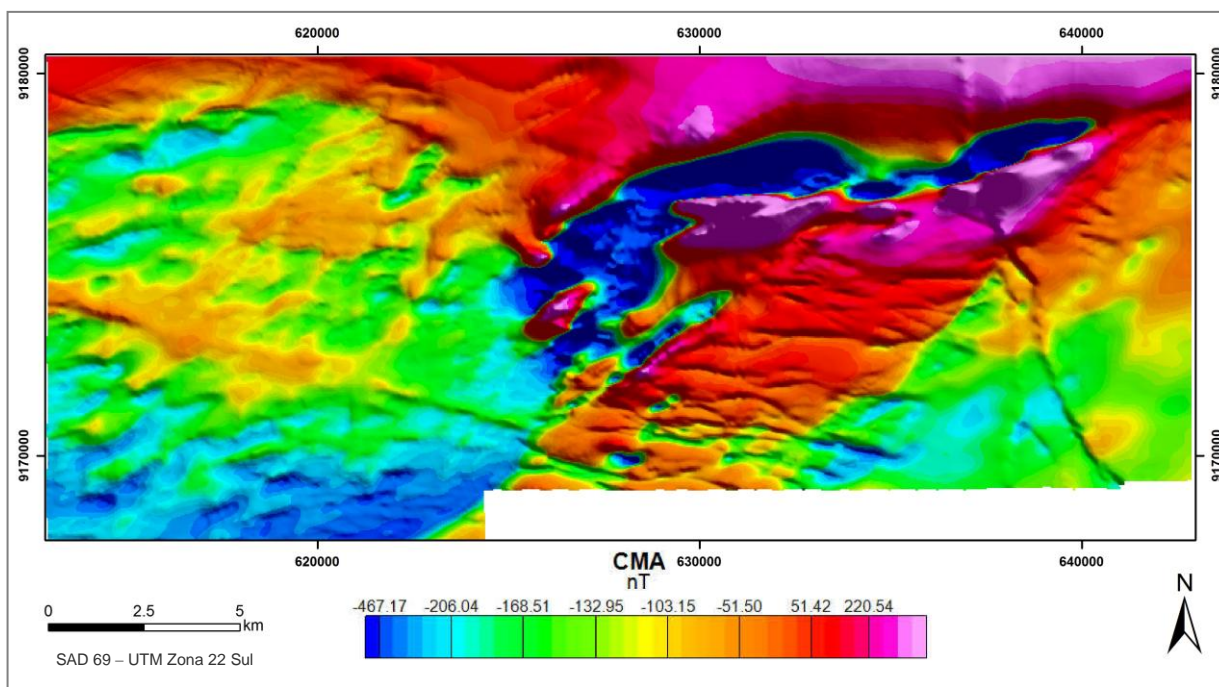


Figura 4.2: Imagem do campo magnético anômalo gerada para a área de estudo. Os baixos valores do campo magnético anômalo estão expressos em azul e os altos valores, em magenta.

As figuras 4.3, 4.4 e 4.5 apresentam os gradientes medidos e os principais produtos transformados gerados a partir do campo magnético anômalo, utilizados para a área de interesse: derivada vertical de primeira ordem, a inclinação do sinal analítico, a amplitude do sinal analítico e a amplitude do gradiente horizontal total calculada a partir dos gradientes G_x e G_y . A idéia principal ao utilizar os gradientes do campo magnético anômalo foi realçar as regiões de maior gradiente magnético e ressaltar bordas e contatos de corpos rasos. No caso da amplitude do gradiente horizontal total de ordem zero objetivou-se delimitar melhor os contatos já conhecidos e estruturas com menor intensidade magnética, visto que contatos geológicos são normalmente marcados por forte variação magnética lateral com origem na diferente magnetização das rochas (Cordell & Grauch, 1985) (Figura 4.4).

O cálculo dos gradientes medidos, G_x e G_y , foi efetuado pela LASA (2008). O gradiente horizontal (G_x) representa a diferença dos valores medidos nos dois sensores presentes nas asas da aeronave, sendo este valor dividido pela respectiva distância entre os mesmos (15,70 m) (Figura 4.3A). Já o gradiente longitudinal (G_y) equivale à média dos valores registrados pelos sensores localizados na asa da aeronave, posteriormente subtraída do valor adquirido pelo sensor da cauda. Este resultado foi dividido pela distância entre a localização dos sensores da asa e o da cauda (12,70 m) (Figura 4.3B). As imagens dos gradientes medidos G_x e G_y (Figuras 4.3A e 4.3B) apresentam melhor definição das feições

de baixos gradientes em relação às respectivas imagens calculadas a partir das derivadas horizontais de primeira ordem do campo magnético anômalo (LASA, 2008).

A amplitude do sinal analítico - ASA (Roest *et al.*, 1992), por ser uma função simétrica, sua resposta tem seus picos posicionados sobre as bordas do alvo ou feição geológica estudada, facilitando sua interpretação. A figura 4.5 mostra o mapa da amplitude do sinal analítico de ordem zero do campo magnético anômalo para a área de estudo. O mapa realça regiões com mais alta amplitude que estão associadas às seqüências vulcano-sedimentares e outras porções com gradiente menor associadas aos granitos anorogênicos e granitóides.

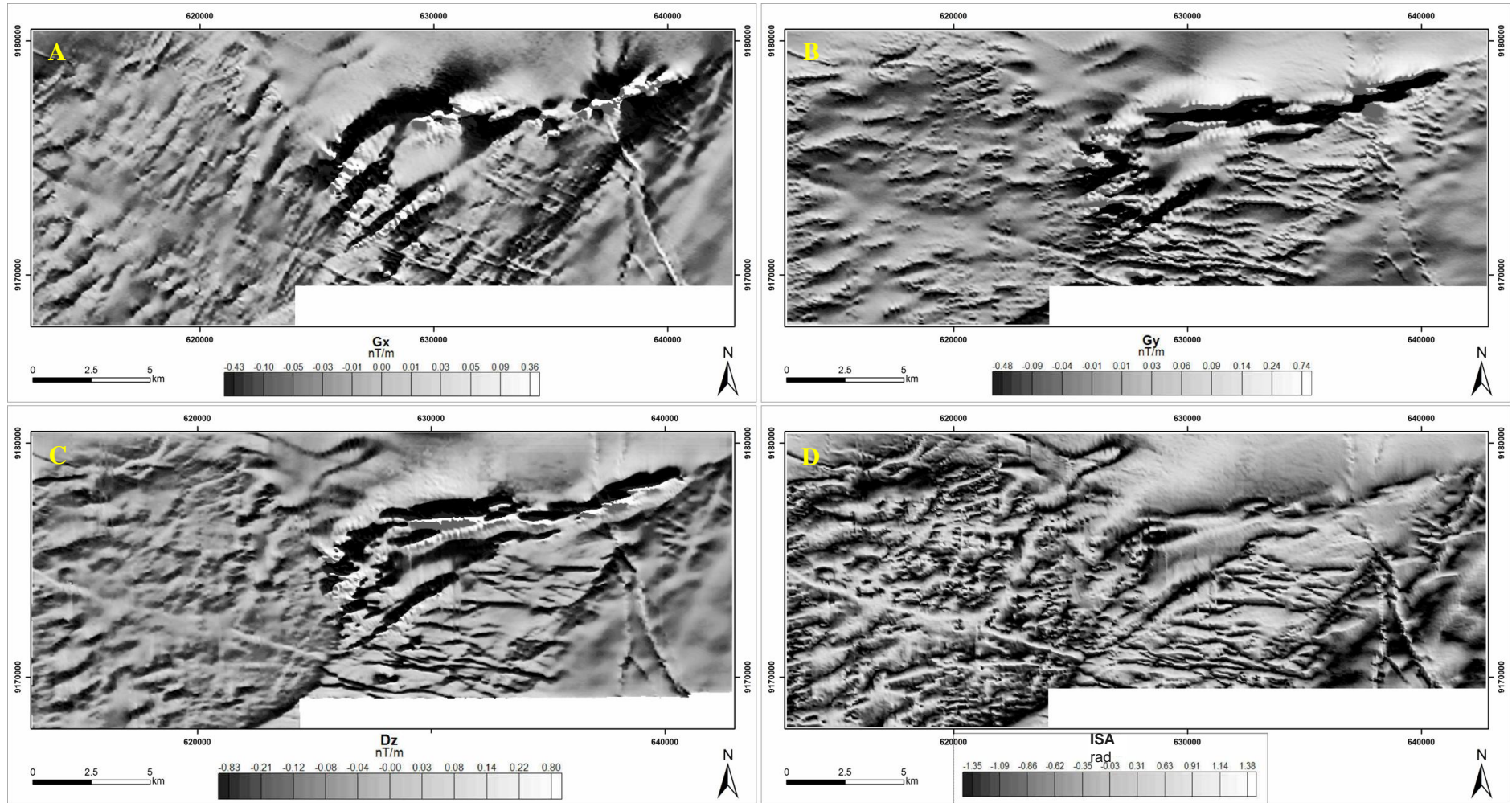


Figura 4.3: Produtos transformados a partir do campo magnético anômalo, a saber: (A) gradiente medido em x (G_x); (B) gradiente medido em y (G_y); (C) primeira derivada vertical (D_z); e (D) inclinação do sinal analítico (ISA).

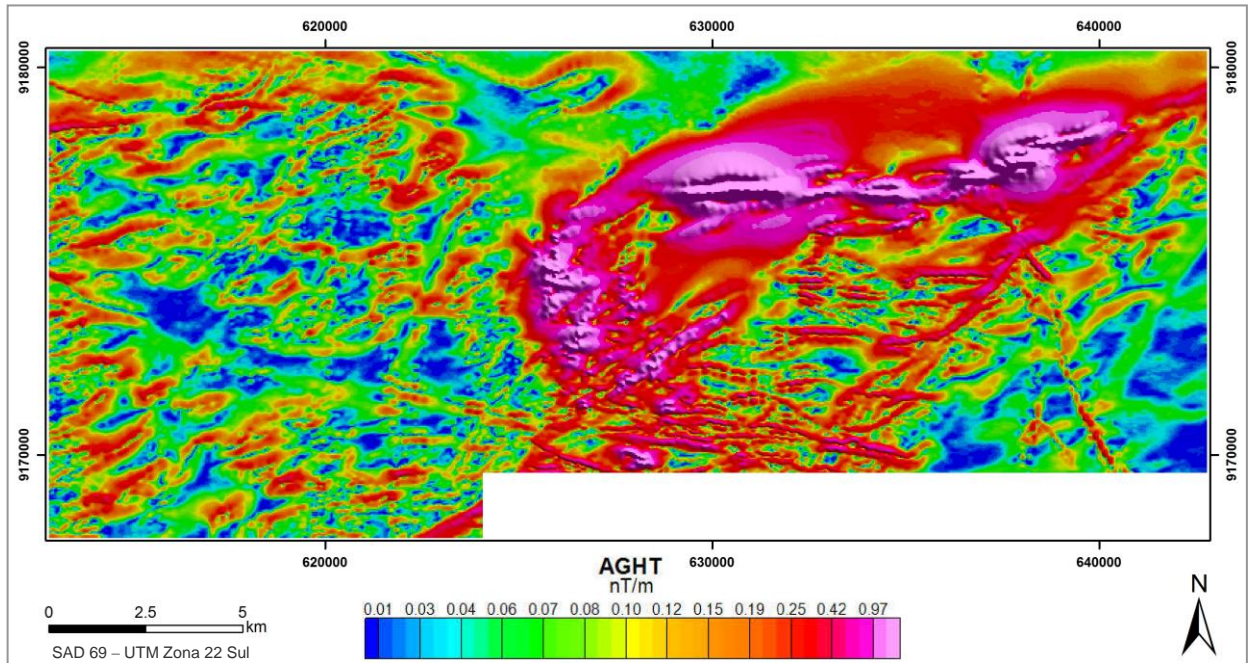


Figura 4.4: Mapa da amplitude do gradiente horizontal total (AGHT) do CMA calculada a partir dos gradientes medidos G_x e G_y .

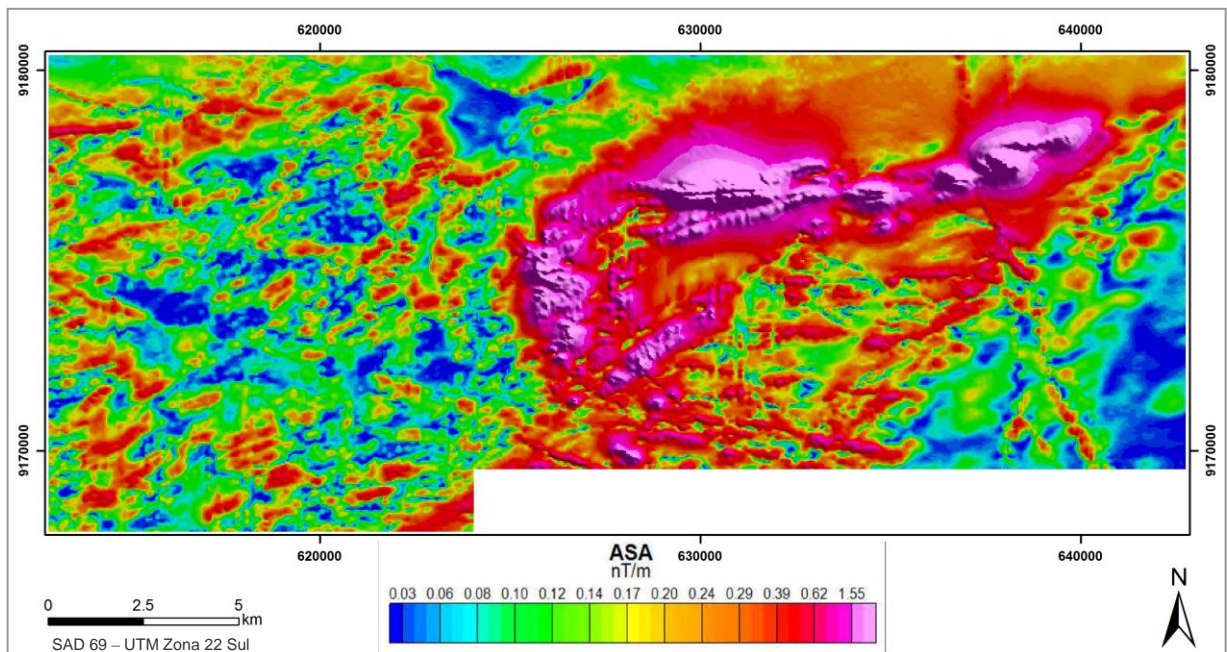


Figura 4.5: Mapa da amplitude do sinal analítico (ASA) do CMA de ordem zero.

4.1.2 – Interpretação dos dados aeromagnéticos

A análise do campo magnético anômalo foi auxiliada por transformações lineares do mesmo, como as derivadas horizontais em x e y (D_x , D_y) e a derivada vertical (D_z), a fim da produção da imagem da amplitude do sinal analítico – ASA (Roest *et al.*, 1992), bem como através da interpretação dos gradientes medidos (G_x e G_y). O produto ASA (Figura 4.5) permite o posicionamento de corpos magnéticos, já que a técnica compreende uma função simétrica em que os picos do sinal analítico encontram-se centrados nas bordas das anomalias magnéticas (Nabighian *et al.* 2005).

A extração e caracterização das estruturas magnéticas foram feitas a partir da utilização e interpretação da derivada vertical (D_z), da inclinação do sinal analítico – ISA (Figura 4.3D) (Miller & Singh, 1994) e dos gradientes G_x e G_y , junto com as descrições de campo da geologia local. Os dados aeromagnetométricos foram utilizados para a caracterização do arcabouço estrutural com o intuito de definir zonas de influência metalogenética como mostra a figura 4.6.

A partir da análise e interpretação dos gradientes horizontais medidos em x (G_x) e em y (G_y), da comparação com os gradientes calculados, primeira derivada vertical do campo magnético anômalo e da inclinação do sinal analítico - ISA, extraiu-se os lineamentos magnéticos (Figura 4.6).

Cabe ressaltar que o termo lineamento aqui utilizado representa uma feição superficial mapeável, linear ou curvilínea que pode estar relacionada à falhas, fraturas ou outras estruturas (Sabins 1996). Extrapolou-se este conceito para o caso dos dados magnéticos, onde os lineamentos são mapeados preferencialmente através de cristas magnéticas. A extração de estruturas em vales magnéticos foi incorporada na interpretação para complementar o arcabouço estrutural. A metodologia de extração dos lineamentos estruturais, bem como os agrupamentos de estruturas reconhecidos serão descritos a seguir.

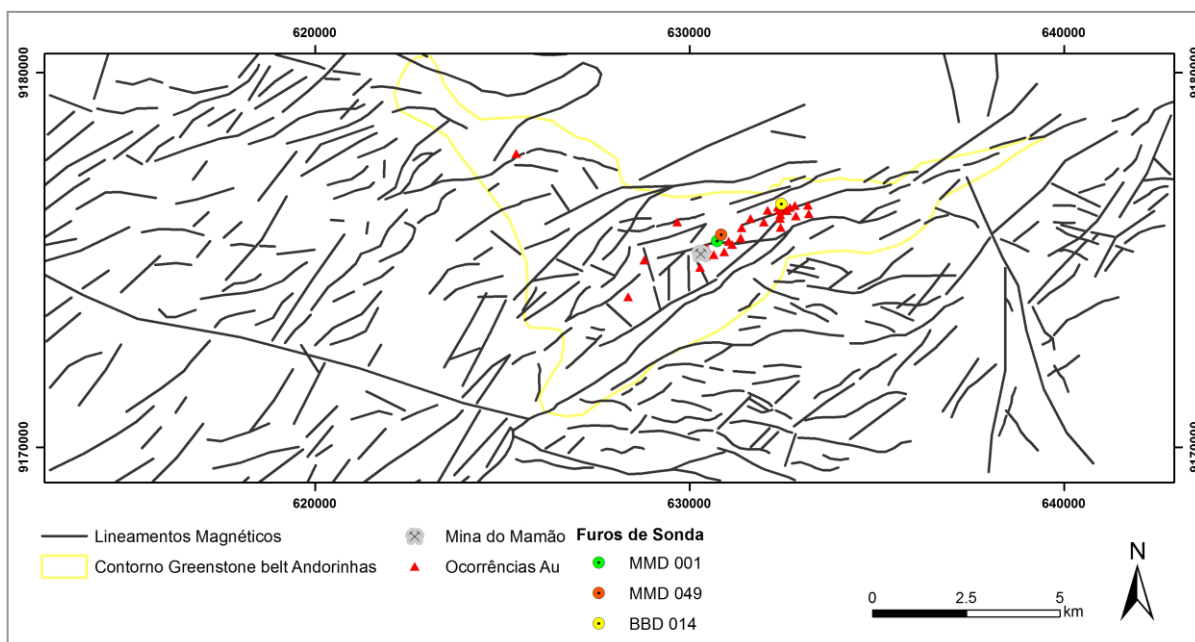


Figura 4.6: Mapa de lineamentos magnéticos confeccionado a partir da interpretação dos gradientes medidos (G_x e G_y) e comparação com os gradientes calculados (D_x e D_y). Para consolidar a interpretação foram utilizadas a primeira derivada vertical do campo magnético anômalo e a inclinação do sinal analítico. As ocorrências de ouro, bem como a localização dos furos de sondagem também são apresentas no mapa.

A interpretação dos relevos magnéticos dos produtos derivados do campo magnético anômalo como a primeira derivada vertical (Figura 4.3C), da amplitude do sinal analítico (Nabighian, 1972, Nabighian, 1974, Roest, *et. al.* 1992, figura 4.5), amplitude do gradiente horizontal total (Cordell & Grauch, 1985; figura 4.4) calculada a partir dos gradientes medidos (G_x e G_y) e os gradientes medidos G_x e G_y (Figuras 4.3A e 4.3B) realçam extensos lineamentos em diversas direções, predominando longas feições de direção NE, sendo cortadas pelas estruturas NW e outras N-S. Estruturas secundárias E-W, também são observadas. Essas estruturas são evidenciadas pelo alto gradiente magnético observado na imagem amplitude do sinal analítico e contrastes entre cristas de baixa e alta amplitude observada na imagem na primeira derivada vertical do campo magnético anômalo. Em campo, as estruturas NW representam diques de diversas naturezas: máficos, intermediários e félsicos, sob a forma de corpos subverticais, tabulares e dispõem-se predominantemente na direção NW a NNW, menos freqüente nas direções E-W e N-S (Medeiros, 1987; Ferreira *et. al.*, 2008; Costa-Silva, 2011). Observa-se que os diques com direção N-S são mais tardios do que os de direção NW-SE, o que é perfeitamente identificado na magnetometria (Figura 4.3 e 4.4). Esses diques ocorrem cortando as rochas sedimentares da bacia do Rio Fresco (Figura 4.6).

4.1.3 Dados Gamaespectrométricos

Os dados gamaespectrométricos são obtidos medindo-se a radiação gama emitida por determinados elementos que compõe os diversos tipos de rochas. O valor de radiação gama medido é proporcional à concentração dos elementos. Os dados gamaespectrométricos são complementares ao estudo dos produtos derivados do campo magnético anômalo. Isto por que fontes magnéticas de várias profundidades contribuem para o campo medido enquanto que os dados radiométricos representam apenas os primeiros 30 a 40 centímetros da superfície. Foram gerados imagens a partir dos dados de contagem total corrigida ($\mu\text{R/h}$), bem como dos canais de K (%), eU (ppm) e eTh (ppm) (Figuras 4.7 e 4.8).

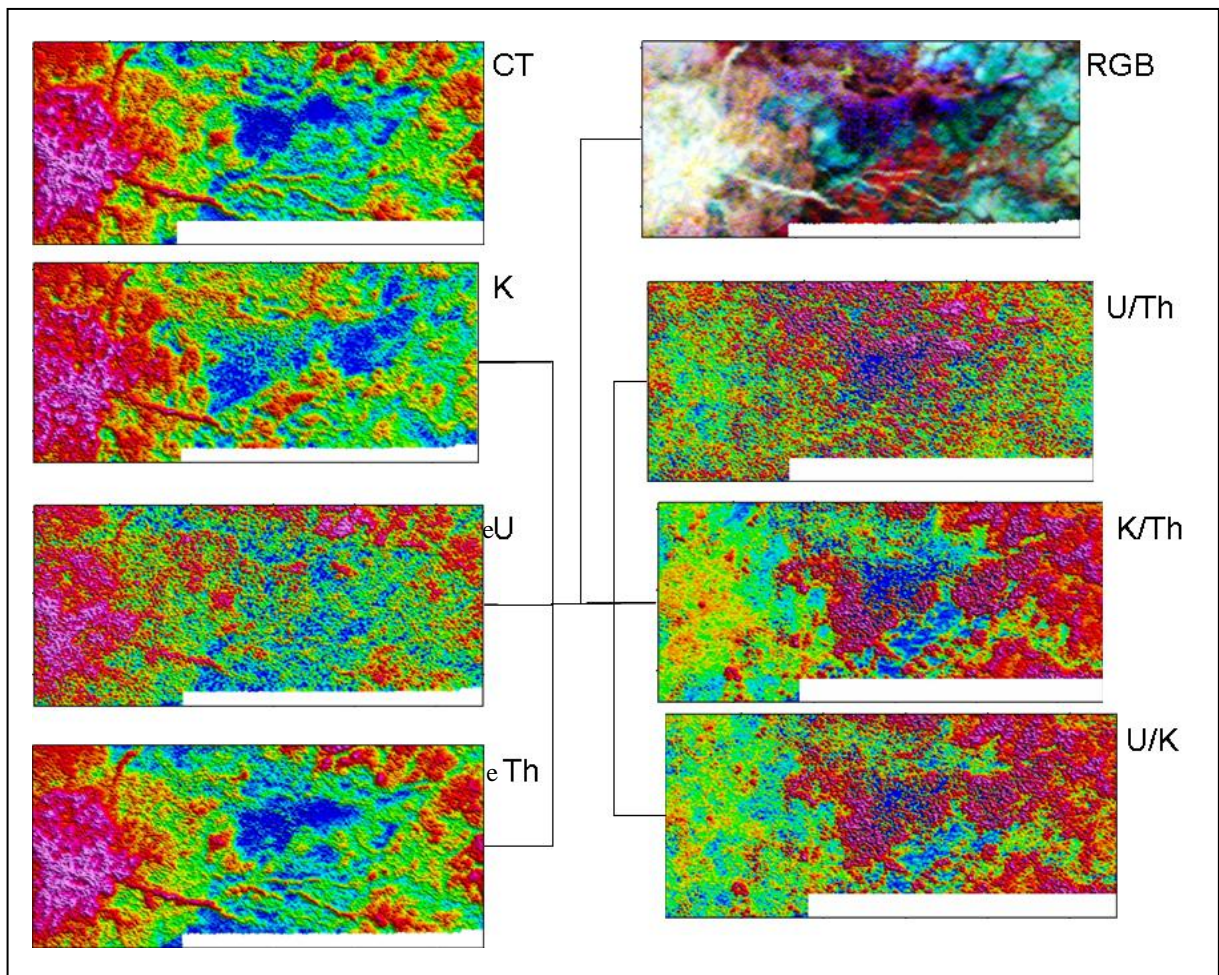


Figura 4.7: Fluxograma ilustrando os produtos gamaespectrométricos. Sendo, CT (contagem total), K (potássio), eU (urânio), eTh (tório), RGB (imagem ternária), eU/eTh (razão entre os canais eU e eTh), K/eTh (razão entre os canais K e eTh) e eU/K (razão entre os canais eU e K).

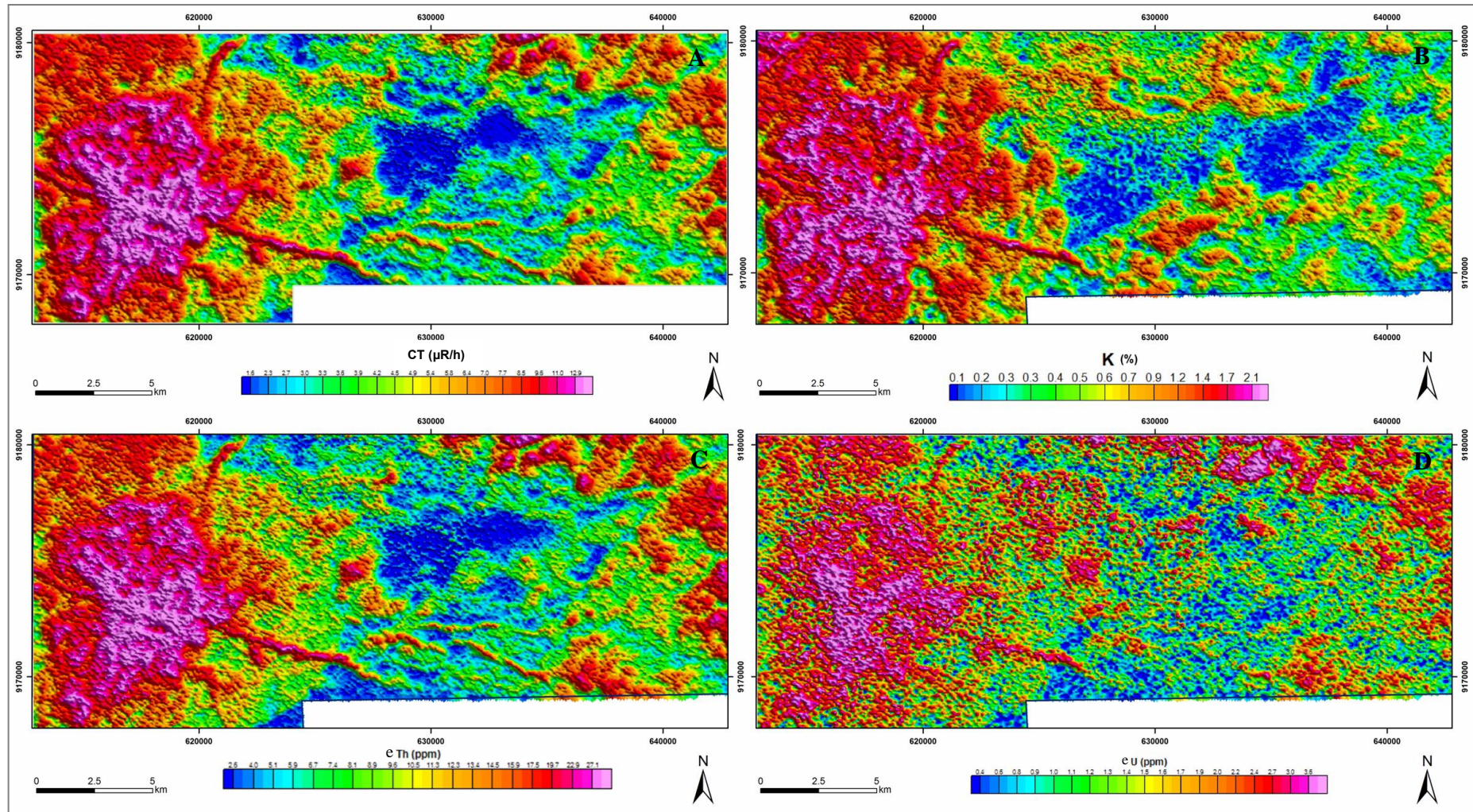


Figura 4.8: Imagens gamaespectrométricas da área de estudo. (A) janela correspondente à contagem total; (B) K; (C) eTh; e (D) eU.

A partir destes três últimos canais foram elaboradas composições ternárias, em falsa cor, utilizando os padrões de cores RGB (K, eTh, eU) (Figura 4.9). A cada canal (K, eTh e eU) foi atribuída uma determinada cor com sua intensidade, sendo proporcional à concentração dos elementos. O processo de adição das cores que representam cada canal possibilitou uma diferenciação dos diversos litotipos na área de estudo. Os mapas ternários em RGB (K, eTh, eU) foram comparados com a topografia, a partir do modelo digital de terreno gerado com os dados de altitude obtidos pelo aerolevante geofísico, com o objetivo de observar o efeito do relevo sobre a concentração dos elementos, já que efeitos de intemperismo químico e transporte de materiais devem ser observados para evitar interpretações errôneas. Na área de interesse, não foram visualizados acúmulos anômalos de potássio provenientes da lixiviação deste radioelemento, com exceção das drenagens que acumulam sedimentos provenientes de intemperismo portadores tanto de K como eU e eTh.

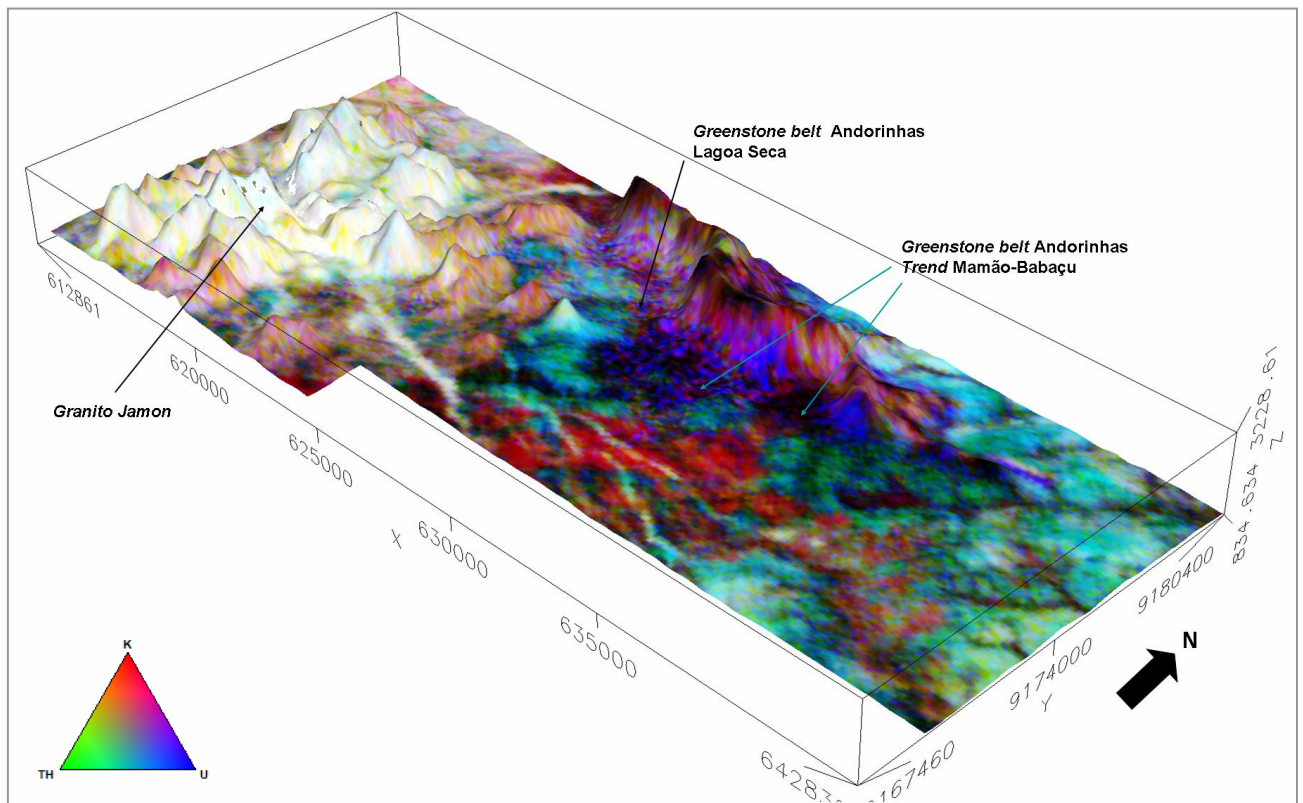


Figura 4.9: Composição ternária RGB (KeTheU), sobreposta ao modelo digital de terreno gerado pelo levantamento aerogeofísico com exaço vertical de 5x. *Trend Mamão-Babaçu* apresentando baixas contagens dos radioelementos K e eTh e *Granito Jamon* altas contagens para os três radioelementos.

Para a interpretação de zonas de alteração hidrotermal associadas com a mineralização seguiu-se um tratamento gamaespectrométrico consistindo na geração de novas variáveis, razões K/eTh, eU/K, eU/eTh, K anômalo (Pires, 1995) e Parâmetro F

(Efimov, 1978). Essas imagens são de extrema importância para a caracterização de alterações hidrotermais em áreas enriquecidas em potássio, variando a eficiência em função do contexto geológico e da qualidade dos dados. Estão representados os produtos de K anômalo, parâmetro F e a razão K/eTh para a área de estudo nas figuras 4.9 A, B e C respectivamente.

No K anômalo os valores de tório podem ser usados para prever os valores de potássio, a partir da determinação das relações entre os dois elementos, considerando que não haja efeitos secundários na acumulação de tório associados aos processos hidrotermais (Pires, 1995). Essas relações podem ser utilizadas para prever áreas anômalas em K, utilizando a equação: $K_1 = (\text{média } K_S / \text{média } Th_S) \times Th$ para definir os valores ideais de K para cada ponto observado, esses valores ideais são subtraídos dos valores medidos no aerolevante e assim identificados valores anômalos, pela expressão $(K_d) = (K_S - K_1) / K_1$ (Pires, 1995).

O parâmetro F, ou mesmo fator F, mostra a distribuição do potássio em relação aos elementos urânio e tório. O fator F se baseia na operação entre os dados de urânio, tório e potássio por meio da seguinte expressão: $F = K * eU/eTh$. Efimov (1978, apud Gnojek & Prichystal, 1985) propôs uma série de relações entre os radioisótopos, destacando que a expressão acima permite ressaltar o enriquecimento de potássio e urânio em relação ao tório, podendo indicar áreas com alteração hidrotermal associadas às mineralizações. Trabalhos como os de Fornazzari Neto & Ferreira (2003), Quadros *et al.* (2003), Carrino (2010) e Silva (2011) exemplificam com sucesso o uso do parâmetro F para a prospecção de ouro.

A razão K/eTh ajuda na visualização do enriquecimento de um radioelemento em relação ao outro. O mapa da razão K/eTh mostra o enriquecimento de potássio em relação ao tório, sendo também importante na determinação de áreas associadas com alteração hidrotermal (Shieves, *et al.*, 1997).

Os dados aerogamaespectrométricos foram utilizados para identificar possíveis zonas de alteração hidrotermal, com concentrações anômalas de potássio, dentro das diferentes unidades que compõem o *greenstone belt* por Costa-Silva (2011) e refinadas nessa dissertação para a janela de interesse (Figura 4.10).

Para melhor visualização dos resultados obtidos pelo K anômalo, Fator F e razão K/eTh, utilizou-se a análise para verificar desvios a partir do valor médio nas unidades.

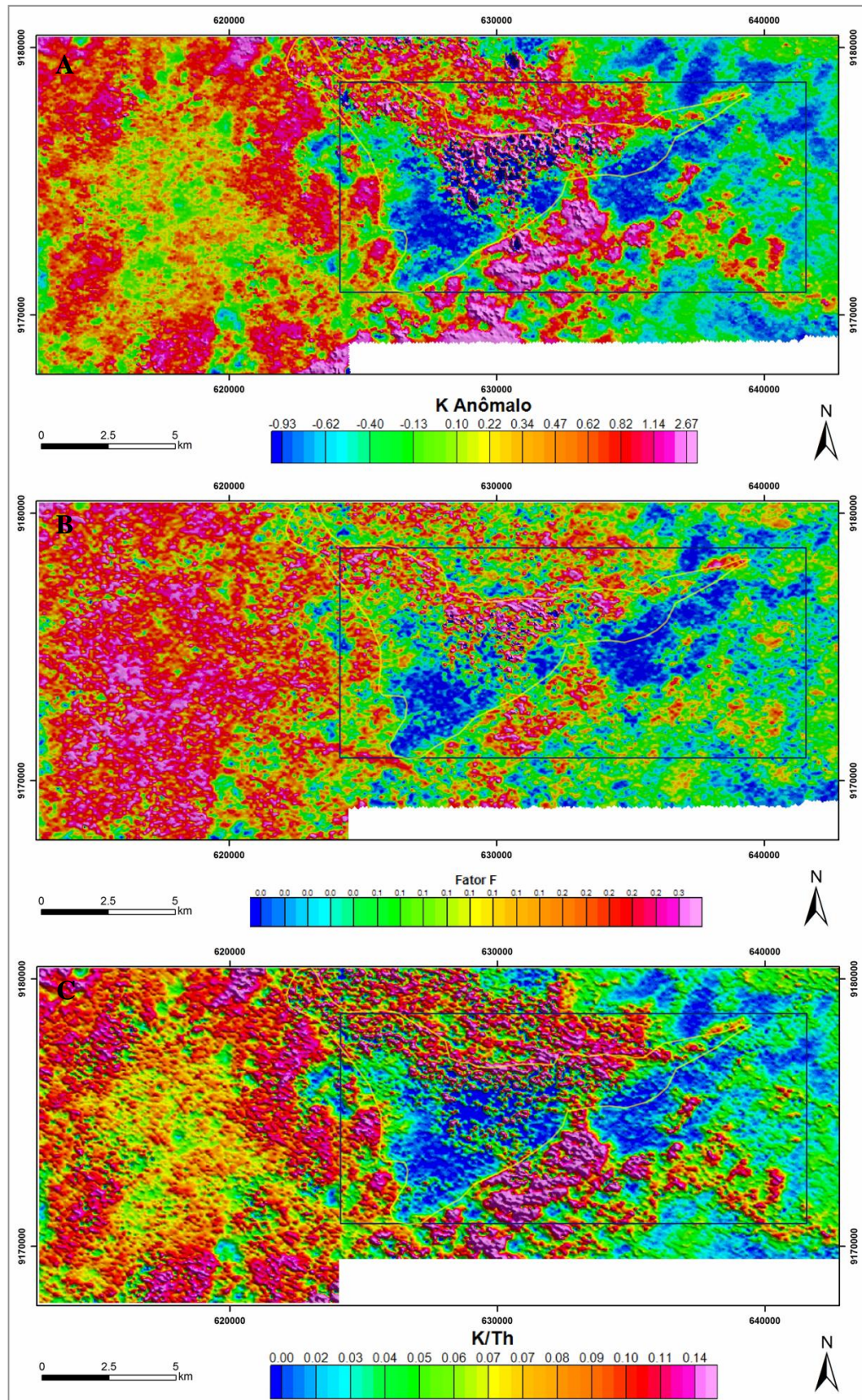


Figura 4.10: Imagens das variáveis gamaespectrométricas: (A) K anômalo; (B) Fator F; (C) Razão K/eTh. Retângulo em azul representa o recorte de detalhe para a área do *greenstone belt* Andorinhas.

Os valores médios das concentrações de K, eU e eTh são calculados para cada variável. A essas médias são acrescidos os valores do desvio padrão e imageados. Desvios podem indicar alteração (mineralização). Essas imagens foram integradas com os lineamentos magnéticos e ocorrências auríferas na região de estudo.

A razão K/eTh (Figura 4.11 A) mostra anomalias em K na região do *greenstone* Andorinhas onde predominam rochas com baixa contagem de radioelementos, porém aponta para anomalias em outras litologias, no caso do tonalito Arco Verde ao Sul do *greenstone belt* e nos metassedimentos da Formação Rio Fresco ao Norte. Os valores em verde representam a média das amostras acrescida de uma vez o desvio padrão até os valores em vermelho que são acima da média acrescida de duas vezes o desvio padrão. A imagem do K Anômalo (Figura 4.11 B) mostra valores anômalos na região do *greenstone* Andorinhas, onde está localizada a zona de cisalhamento Mamão-Babaçu, valores anômalos a Noroeste dessa zona e próximos ao depósito Lagoa Seca. Também apresenta anomalias de K na região do tonalito Arco Verde. O resultado para a imagem do Fator F (Figuras 4.11 C) concentra as anomalias na região do *greenstone* Andorinhas. A figura 4.11 D mostra um *zoom* da região das anomalias.

De acordo com Dickson & Scott (1997), as assinaturas gamaespectrométricas das unidades enriquecidas hidrotermalmente dos depósitos de ouro são bem variáveis. O principal processo natural de enriquecimento do potássio deve-se à alteração hidrotermal sendo que as alterações potássicas normalmente atuam como guias indiretos de concentrações auríferas e normalmente são acompanhadas pelo enriquecimento em urânio. Já o elemento tório, segundo Fornazzari Neto & Ferreira (2003), apresenta uma relação inversa. No *greenstone* Andorinhas, onde se encontra o *trend* Mamão/Babaçu, a alteração potássica é acompanhada de urânio. O potássio ocorre naturalmente concentrado em zonas de alteração hidrotermal, sendo que o tório caracteriza-se por ser o elemento mais imóvel dentre os três detectados em gamaespectrometria, podendo ser utilizado como guia para determinar as concentrações normais de cada material. A normalização do potássio em relação ao tório permite a eliminação do efeito litológico primário e a determinação de concentrações anômalas daquele elemento (Pires, 1995).

A assinatura geofísica da zona de alteração hidrotermal em produtos aerogeofísicos será integrada com dados geoquímicos, de propriedades físicas de rocha e petrográficos dos três furos de sonda representados na figura 4.11, para melhor caracterização do envelope de alteração hidrotermal.

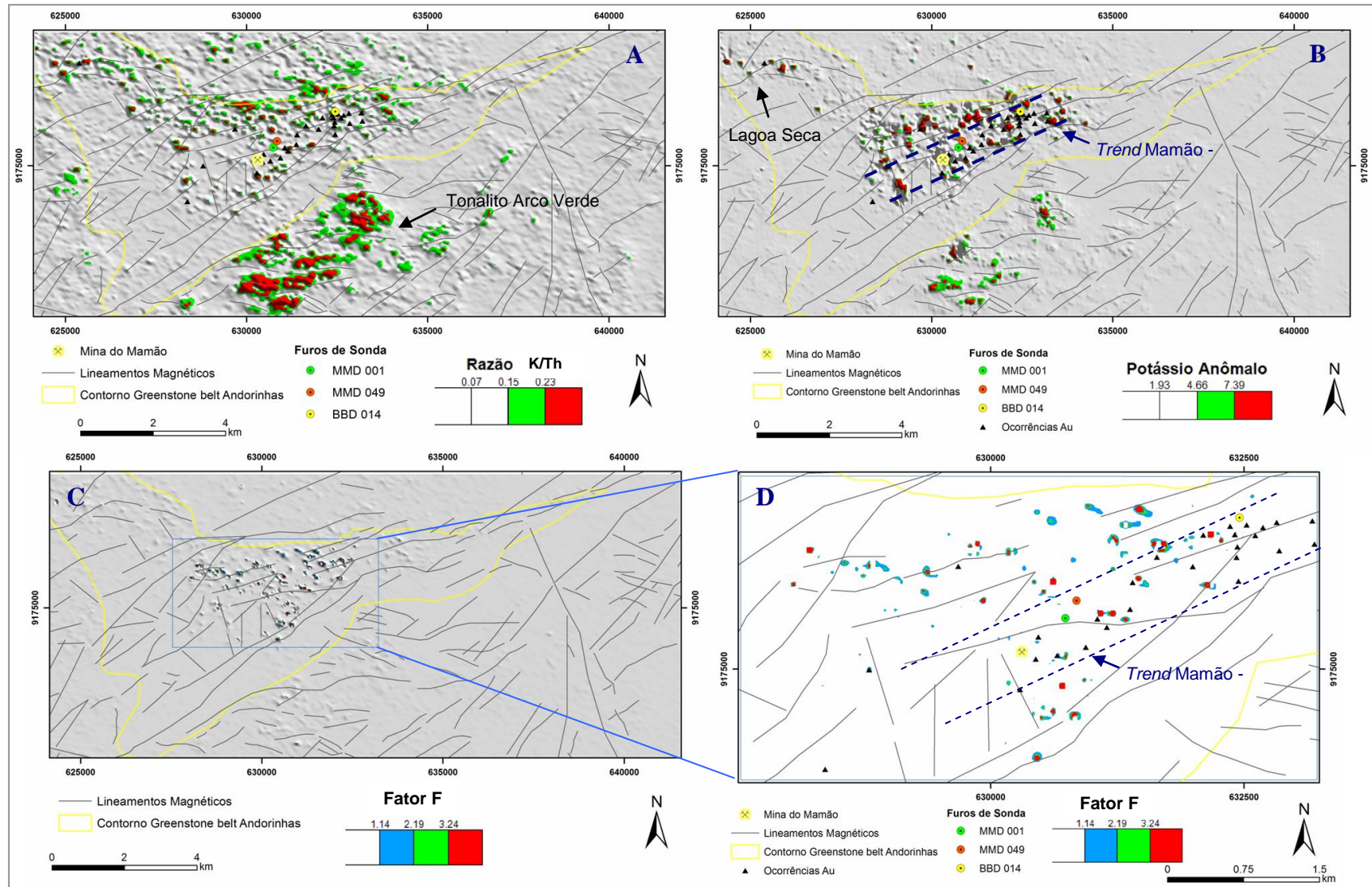


Figura 4.11: Integração das variáveis gamaespectrométricas com lineamentos magnéticos, ocorrências de ouro e localização dos furos de sonda estudados. (A) imagem da razão K/eTh ; (B) imagem do K anômalo. Destaque para as anomalias na região do *trend* Mamão-Babaçu e proximidades do depósito Lagoa Seca; (C) imagem do Fator F; e (D) detalhe para a área próxima à Mina do Mamão, região do *greentone belt* Andorinhas.

5. CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS HOSPEDEIRAS E ENCAIXANTES DAS MINERALIZAÇÕES DE OURO E DAS ZONAS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL UTILIZANDO MOBILIDADE DE ÁLCALIS E PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHA

A identificação de alvos potenciais no *greenstone belt* Andorinhas através de dados aeromagnéticos gradiométricos e gamaespectrométricos de alta resolução associadas com zonas de alteração hidrotermal em metabasaltos permitiu aperfeiçoar o processo exploratório na região da Mina do Mamão (Costa-Silva 2011; Costa-Silva *et al.*, 2012) (Figuras I.1 e 5.1).

No entanto, o avanço nesse processo implica o desenvolvimento de novas ferramentas que permitam a priorização dos alvos selecionados. Dois caminhos foram escolhidos nesse sentido, a saber: (a) O estudo dos halos de alteração hidrotermal e das zonas mineralizadas visando caracterizar as variações mineralógicas e texturais e a mobilidade química de alguns elementos solúveis em sistemas hidrotermais e (b) a integração com dados de propriedades físicas de rocha.

A figura 5.1 mostra a localização dos três furos estudados e denominados pela Reinarda Mineração como MMD 049; MMD 001 e BBD014. O furo MMD 001 interceptou o corpo mineralizado denominado Melechete, enquanto o MMD 049 cortou o corpo mineralizado denominado M2. Ambos os corpos representam porções econômicas da mina do Mamão. O furo BBD 014 corta o corpo sub-econômico Luiza.

De forma geral, os dados resultantes da sondagem mostram uma seqüência constituída predominantemente de metabasaltos hidrotermalizados, com ocorrências mais restritas de diques de diabásio, diques intermediários e metagabros (Figura 5.2). A mineralização de ouro está associada a veios de quartzo aproximadamente E-W, encaixados em metabasaltos muito hidrotermalizados em zonas de cisalhamento de direção NE e NW.

Para que a técnica proposta por Heath & Campbell (2004) possa ser aplicada com sucesso, é necessário coletar amostras que não tenham sido afetadas pela alteração hidrotermal e preservem suas características químicas e mineralógicas pré-alteração hidrotermal. No caso da área de estudo, uma das melhores exposições são os metabasaltos com pillow lavas do *greenstone belt* Identidade (Figura 5.1). A escassez de afloramentos na região do *greenstone belt* Andorinhas e a proximidade com o depósito Mamão não permitiu a escolha de uma amostra nesse domínio.

Na figura 5.2 são apresentados os litotipos encontrados nos três furos analisados, bem como uma descrição detalhada das zonas de alteração hidrotermal identificadas neste trabalho. O furo MMD049, com 196 metros de extensão, é marcado na base por um pacote de aproximadamente 160 metros de metabasaltos com intervalos de rochas menos deformadas até faixas com intensa alteração hidrotermal, interceptado na base por diques andesíticos. No topo do metabasalto observam-se cinco metros de metandesitos discordantes e, posteriormente, vinte metros de metagabros. O veio mineralizado (Corpo M2) está localizado a uma profundidade de 180 metros e está associado a zonas de alteração hidrotermal que interceptam os metabasaltos.

O furo MMD 001 tem 360 metros de extensão, com um pacote de 330 metros predominantemente de metabasaltos com diferentes graus de alteração hidrotermal e intercalações de diques de diabásio com espessuras que variam de dois a cinco metros. O veio mineralizado, denominado corpo Melechete, foi interceptado a 320 metros e está encaixado em metabasaltos hidrotermalizados (Figura 5.2). Em torno de 70 metros, este furo interceptou uma zona de alteração proximal muito estreita, que corresponde a zona de fechamento do corpo de minério M2, que aflora a Norte desta seção.

O furo BBD 014, que intercepta o corpo Luiza, também está associado a zonas de alteração hidrotermal em metabasaltos e possui 170 metros de extensão. Observa-se um pacote de rochas metabásicas de 138 metros de espessura, intercalado com um dique andesítico a 140 metros de profundidade. O corpo mineralizado, considerado subeconômico, foi interceptado a 131 metros de profundidade.

(figura na próxima página)

Figura 5.1: (A) Modelo digital de terreno em tons de cinza, sobreposto ao contorno das sequências do tipo *greenstone belt* da região de Rio Maria e adjacências, com destaque para a região de estudo marcada pelos polígonos em azul e preto. O polígono em azul representa a área de estudo e o polígono em preto marca a área de detalhe observada na composição ternária RGB (KeTheU) da figura 5.1.B. Destaca-se ainda a localização dos três furos de sonda estudados e a localização da amostra de metabasalto coletada fora da zona mineralizada. (B) Observar a localização dos furos de sondagem no contexto do *greenstone belt* Andorinhas sobreposto à imagem ternária gamaespectrométrica. Observar que as mineralizações estão associadas com regiões que possuem baixos teores em radioelementos e que nesse caso mapeia metabasaltos do *greenstone belt* Andorinhas. MMD 001 - furo que seccionou o corpo mineralizado denominado Melechete; MMD 049 - furo que interceptou o corpo mineralizado M2; e BBD 014 - furo que cortou o corpo sub-econômico Luiza.

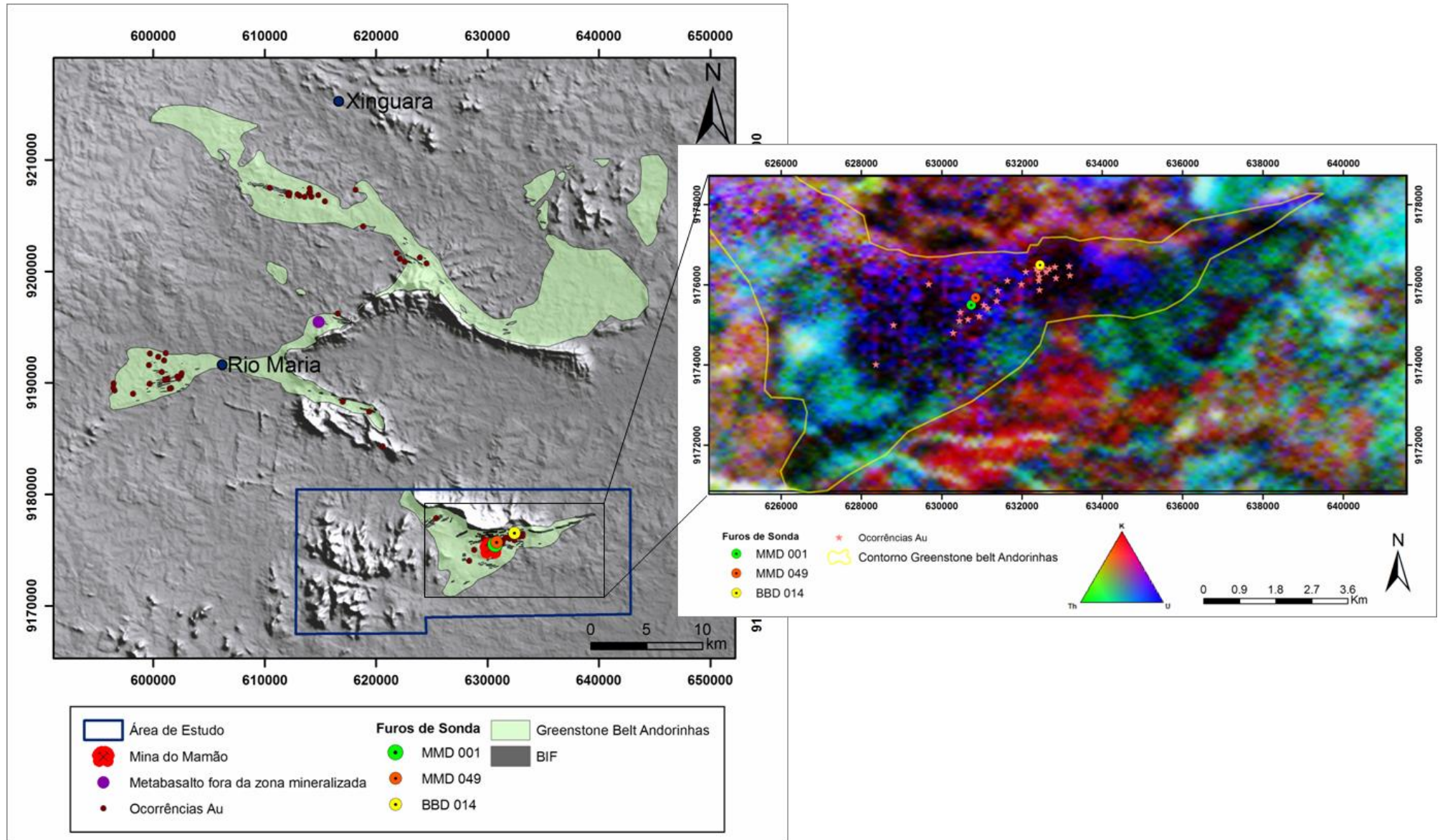


Figura 5.1: (legenda na página anterior)

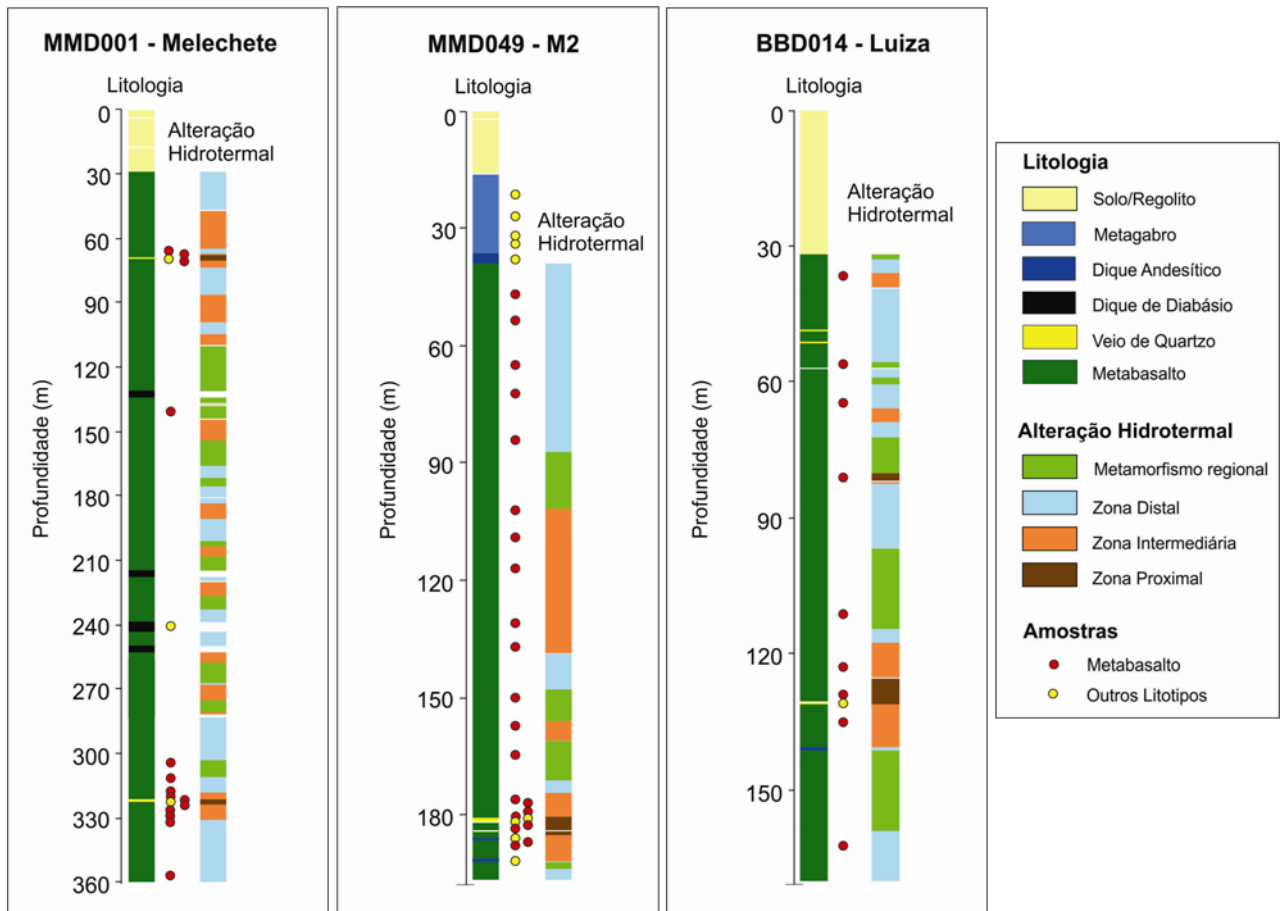


Figura 5.2: A figura apresenta a descrição dos furos de sondagem estudados, bem como uma descrição detalhada das zonas de alteração hidrotermal identificadas nesse trabalho. Apresenta-se também a localização das amostras coletadas para a confecção de lâminas delgadas e análises químicas. (MMD001 - UTME 630739 e UTMN 9175500; MMD049 - UTME 630848 e UTMN 7175675; e BBD014: UTME 632457 e UTMN 9176494).

5.1 PETROGRAFIA

A análise petrográfica teve como objetivo principal o reconhecimento dos protólitos, a identificação das assembléias minerais associadas ao metamorfismo regional e a alteração hidrotermal e, também, a caracterização do minério de ouro nos veios de quartzo. As zonas de alteração hidrotermal serão descritas em detalhe no item 5.1.3, onde serão apresentadas as variações mineralógicas e texturais associadas à deformação e ao hidrotermalismo.

5.1.1 Metabasaltos

Os metabasaltos constituem o litotipo dominante nos furos analisados. Apresentam granulção muito fina, coloração verde e textura maciça, com foliação incipiente marcada pela

orientação preferencial de porfiroblastos de actinolita. Localmente, ocorrem vênulas milimétricas a centimétricas preenchidas por carbonato e quartzo ou vênulas com epidoto, clorita, quartzo e carbonato.

O metabasalto é formado principalmente por Ca-anfibólio (20-35%), albita (20-25%), clorita (5-20%), epidoto (10-15%) e zoizita/clinozoizita (0-2%). Como minerais acessórios são comuns quartzo, titanita, sulfetos e óxidos. Como mineral secundário, carbonato. Normalmente, este litotipo apresenta foliação tectônica caracterizada pela orientação preferencial de actinolita e clorita, podendo ainda exibir textura ígnea pseudomórfica preservada, como textura subofítica caracterizada por ripas de albita parcialmente englobadas por pseudomorfos de clinopiroxênio totalmente substituídos por actinolita (Prancha 1, fotos A e B). Mais raramente aparecem amígdalas preenchidas por zoizita/clinozoizita e clorita.

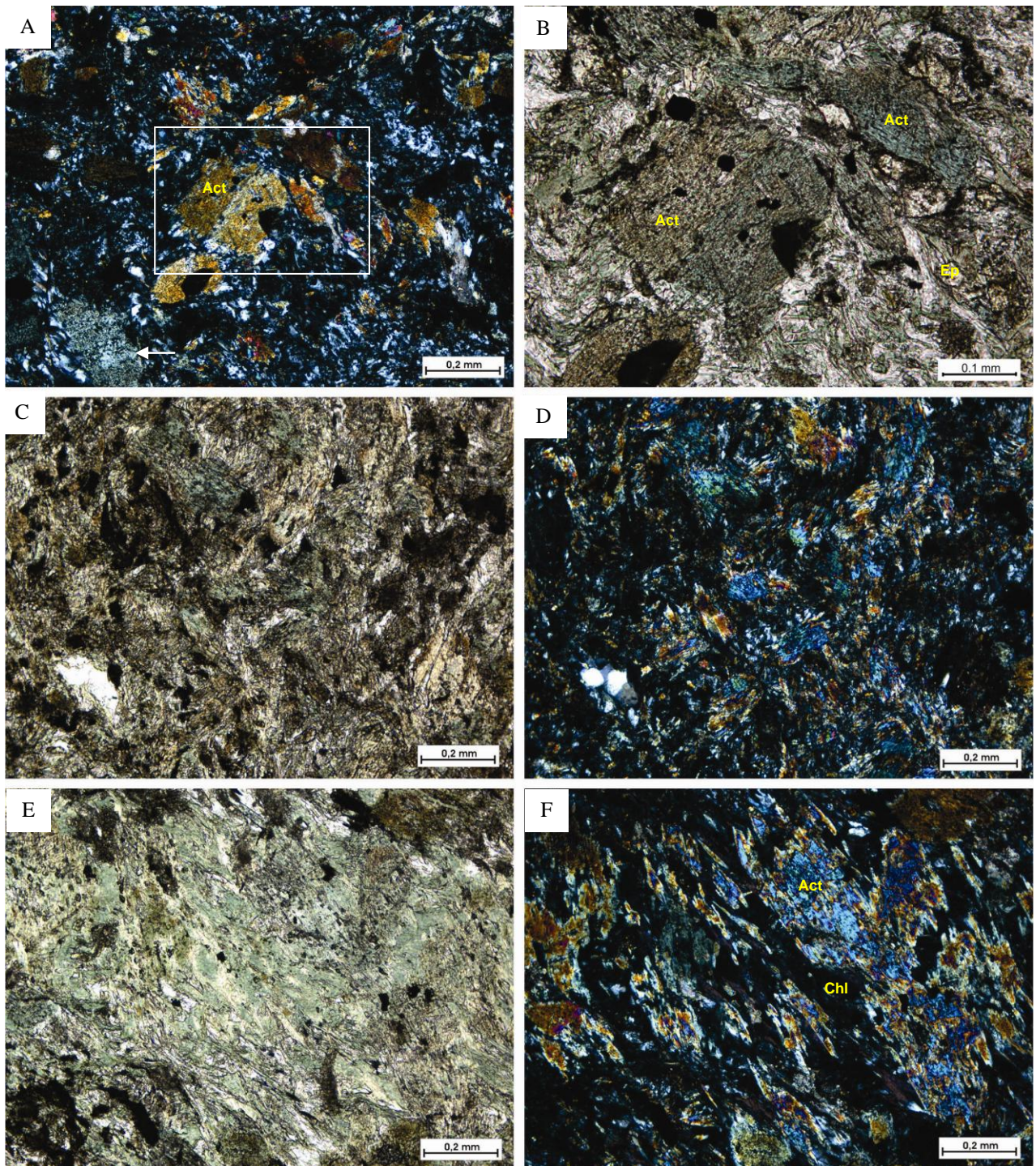
O Ca-anfibólio apresenta coloração verde claro, com pleocroísmo acentuado verde-azulado e composição variando de actinolita a Mg-hornblenda (Anexo A). Ocorre substituindo pseudomorfos de piroxênio, com as formas originais parcialmente preservadas, ou como neoblastos (0,4 a 1,25mm) nucleados na matriz e orientados segundo a foliação tectônica. O plagioclásio (albita e oligoclásio) ocorre como porfiroblastos tabulares orientados segundo a foliação tectônica ou como cristais menores compondo uma massa de grãos recristalizados juntamente com quartzo e carbonato. A composição do plagioclásio varia de An 0,2 a An 17,5 e a granulação varia de 0,25 mm a 1,5 mm. Os porfiroblastos encontram-se saussuritizados e apresentam extinção ondulante. A clorita (chamosita) apresenta coloração verde, com pleocroísmo acentuado, e ocorre como agregados, estirados segundo a foliação, ou como pequenas ripas nos interstícios dos grãos de quartzo e plagioclásio. O epidoto ocorre como agregados de grãos irregulares, em contato com cristais de actinolita (Prancha 1, fotos C e D), clorita e plagioclásio e substituindo os porfiroblastos de albita. Os cristais de clinozoizita aparecem junto com epidoto, sobrecrecendo cristais de plagioclásio ou nas bordas entre plagioclásio e actinolita e preenchendo amígdalas. Os cristais de carbonato (calcita) ocorrem esparsos na massa cristalina como cristais anedrais a subedrais, em contato com cristais de plagioclásio. Cristais de titanita subhedrias alterados para leucoxênio encontram-se bordejando os cristais de actinolita. O sulfeto presente como mineral traço é a pirita. Pode ocorrer magnetita eudral disseminada.

Nas porções mais deformadas, o metabasalto apresenta granulação mais fina e está muito foliado, com porfiroblastos de actinolita substituídos nas bordas por clorita (Prancha 1, fotos E e F) e pequenos cristais de actinolita bem orientados, fibrosos, na massa microcristalina juntamente com plagioclásio e epidoto marcando domínios nematoblásticos e granoblásticos que

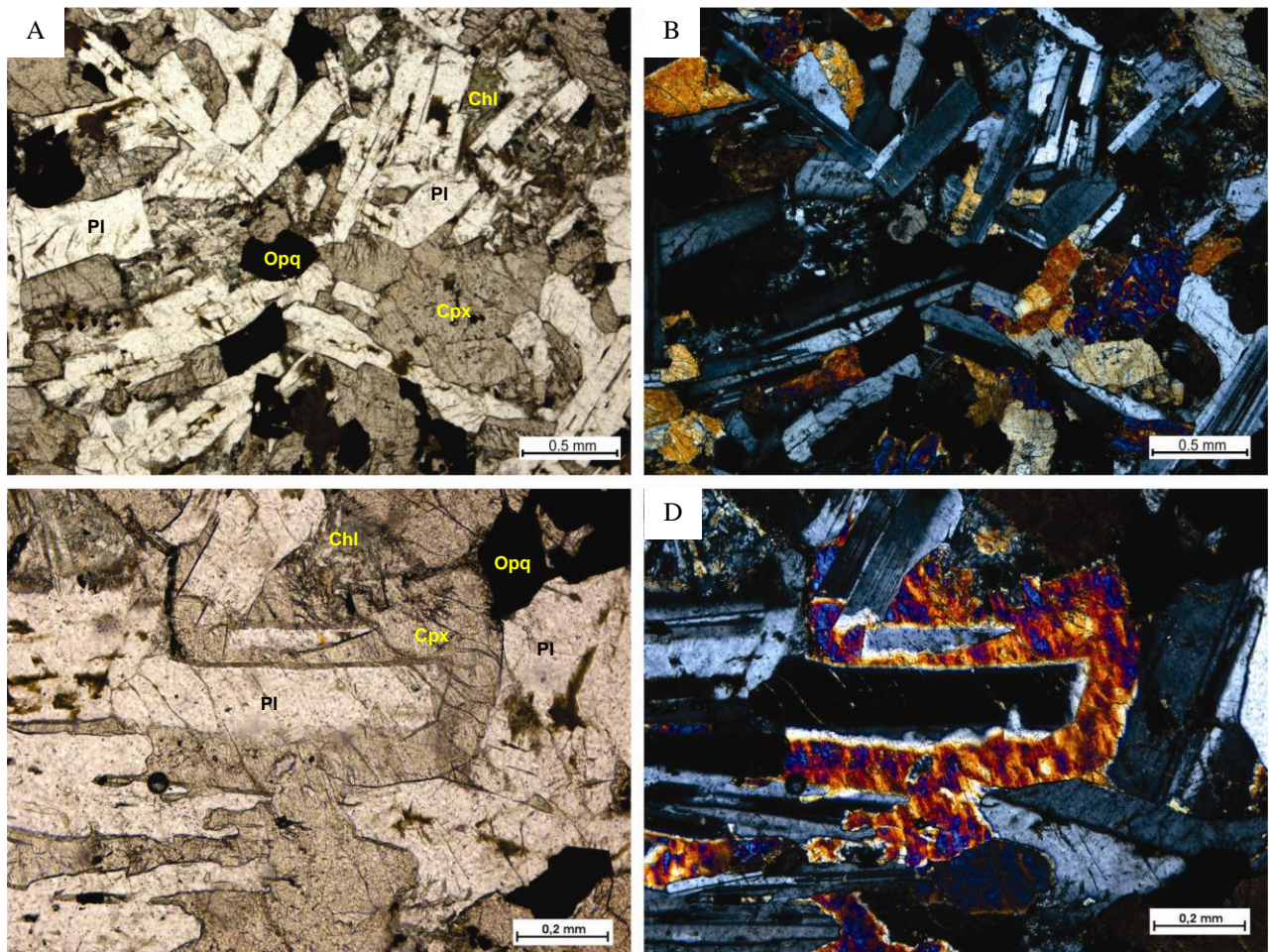
se alternam em escala milimétrica. Essas rochas podem exibir, localmente, bandamento composicional, caracterizado pela alternância de bandas constituídas principalmente de plagioclásio e actinolita e bandas cloríticas (Prancha 5, foto A), sendo esses cristais localmente substituídos por biotita. Cristais de quartzo ocorrem como produtos das reações metamórficas nesses metabasaltos. Nestas porções mais deformadas observa-se ainda desenvolvimento de foliação milonítica, com estruturas S-C, dobramentos e porfiroblastos de plagioclásio e actinolita rotacionados, exibindo sombras de pressão (Prancha 5, fotos B e C). Veios e vênulas de quartzo e carbonatos sulfetadas e intensa alteração hidrotermal caracterizam as porções centrais destas zonas de altas taxas de deformação. As zonas de alteração hidrotermal serão descritas em detalhe no item 5.1.3.

A associação mineralógica constituída de actinolita + albita + clorita + epidoto \pm quartzo \pm biotita \pm minerais de titânio + óxido de Fe^{+3} observada nos metabasaltos nas porções mais distais dos corpos mineralizados indica condições metamórficas de fácies xisto verde superior no domínio do metamorfismo regional. Os dados obtidos a partir de análises de microsonda eletrônica em uma amostra bem deformada mostram anfibólio com composição entre actinolita e Mg-Hornblenda, podendo indicar um metamorfismo na transição entre xisto-verde superior e anfibolito. A passagem de fácies xisto verde para anfibolito é marcada pelo aparecimento de plagioclásio cálcico (oligoclásio), que substitui a albita, e pelo aumento de alumínio e álcalis na estrutura do anfibólio, formando hornblenda em substituição a actinolita, em condições de temperatura em torno de 500 °C, ao longo da geoterma da cianita (Bucher & Frey 1994). Clorita e epidoto persistem em quantidades subordinadas (até 600 °C) e são continuamente consumidos na formação de hornblenda e anortita.

A amostra de metabasalto coletada fora da zona mineralizada está bastante preservada da deformação, da alteração hidrotermal e até mesmo do metamorfismo. Apresenta coloração cinza, granulação fina, textura maciça com ripas de plagioclásio e é composta principalmente por plagioclásio (45%), clinopiroxênio (40%), opacos (10%) e quantidades subordinadas de anfibólio, biotita e clorita. Apresenta textura intergranular ou subofítica preservada com cristais de piroxênio englobando parcial ou totalmente cristais de plagioclásio (Prancha 2, fotos A, B, C e D). Os cristais de plagioclásio são anedrais a subedrais, prismáticos, variando de 0.5 mm a 3 mm. Os cristais de clinopiroxênio são subedrais a anedrais, variando de 0.25 mm a 1.5 mm de coloração castanha pálida. Clorita ocorre nos interstícios dos cristais de plagioclásio como placas. Biotita também está presente como cristais marrom-avermelhados. Os minerais opacos apresentam-se esparsos e variam de 0.1 mm a 0.7 mm.



Prancha 1: Fotomicrografias: (A) metabasalto apresentando pseudomorfos de piroxênio totalmente substituídos por actinolita. No canto inferior direito, observa-se fenocristal de plagioclásio substituído por carbonato indicado pela seta branca. Matriz fina composta por plagioclásio recristalizado e diminutos cristais de epidoto; (C) Aspecto geral do metabasalto com cristais de actinolita substituídos na borda por clorita e epidoto; (D) idem foto C, nicóis cruzados; (E) cristal de actinolita estirado parcialmente substituído por clorita; (F) idem foto E, nicóis cruzados.



Prancha 2: Fotomicrografias: (A) textura intergranular em metabasalto fora da zona mineralizada. Cristais de plagioclásio prismáticos em meio a cristais anhedrais de clinopiroxênio. No canto superior direito placas de clorita; (B) idem foto C, nicóis cruzados; (C) textura subofítica em basalto fora da zona mineralizada. Cristal de piroxênio englobando parcialmente cristal prismático de plagioclásio. Na parte superior, placa de clorita; (D) idem foto E, nicóis cruzados.

5.1.2 Outros Litotipos Observados

Nos testemunhos de sondagem descritos, existem diques intermediários (metandesíticos), diques de diabásio e um pacote de metagabros, que ocorrem cortando os metabasaltos, geralmente com contato abrupto. Entretanto, o contato desses diques com o metabasalto por vezes não é bem definido, podendo estar mascarado pela ação da alteração hidrotermal e deformação (Figura 5.3).

Não sendo o objetivo deste trabalho o estudo detalhado desses diques ou pacotes rochosos, será feita uma breve descrição da mineralogia e texturas encontradas nas lâminas analisadas apenas para melhor entendimento desses litotipos, e auxiliar na interpretação dos

dados geoquímicos e de propriedades físicas de rocha que serão abordados nos tópicos 5.2 e 5.3, respectivamente.

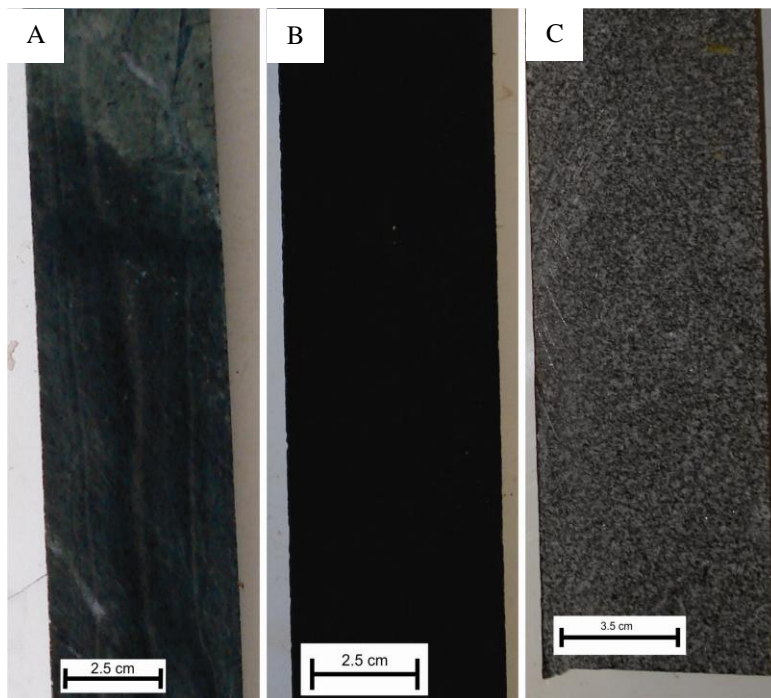


Figura 5.3: Amostras de testemunhos de sondagem representando outros litotipos encontrados. (A) Dique intermediário (metaandesito) apresentando contato abrupto com metabasalto; (B) dique de diabásio; e (C) metagabro.

5.1.2.1 Diques Intermediários

São rochas verdes claras, maciças a foliadas e podem apresentar amígdalas preservadas. Interceptam os metabasaltos e encontram-se afetadas pelo metamorfismo e alteração hidrotermal. Quando encontradas nas zonas de cisalhamento, podem exibir bandamento composicional caracterizado pela alternância de bandas mais enriquecidas em actinolita e bandas compostas principalmente por plagioclásio e epidoto. São constituídos por plagioclásio (74%), actinolita (10%), clorita (8%), epidoto (4%), carbonato (2%), óxidos (magnetita e ilmenita) (2%) e traços de biotita. Os cristais de plagioclásio são em sua maioria anedrais a subedrais, orientados segundo a foliação com clorita nos interstícios entre os grãos. Nas porções mais deformadas, o plagioclásio está muito recristalizado, é submilimétrico e podem ocorrer porfiroblastos de plagioclásio eudrais (0.50mm) (Prancha 3, fotos A e B). Porfiroblastos de actinolita ocorrem nas porções mais preservadas juntamente com os cristais de plagioclásio, epidoto, clorita e carbonato (Prancha 3, foto C). Clorita e biotita aparecem como placas orientadas segundo a foliação tectônica e nos interstícios de cristais de plagioclásio. Carbonato anedral é encontrado nos interstícios de cristais de plagioclásio e actinolita. Os cristais de magnetita apresentam-se

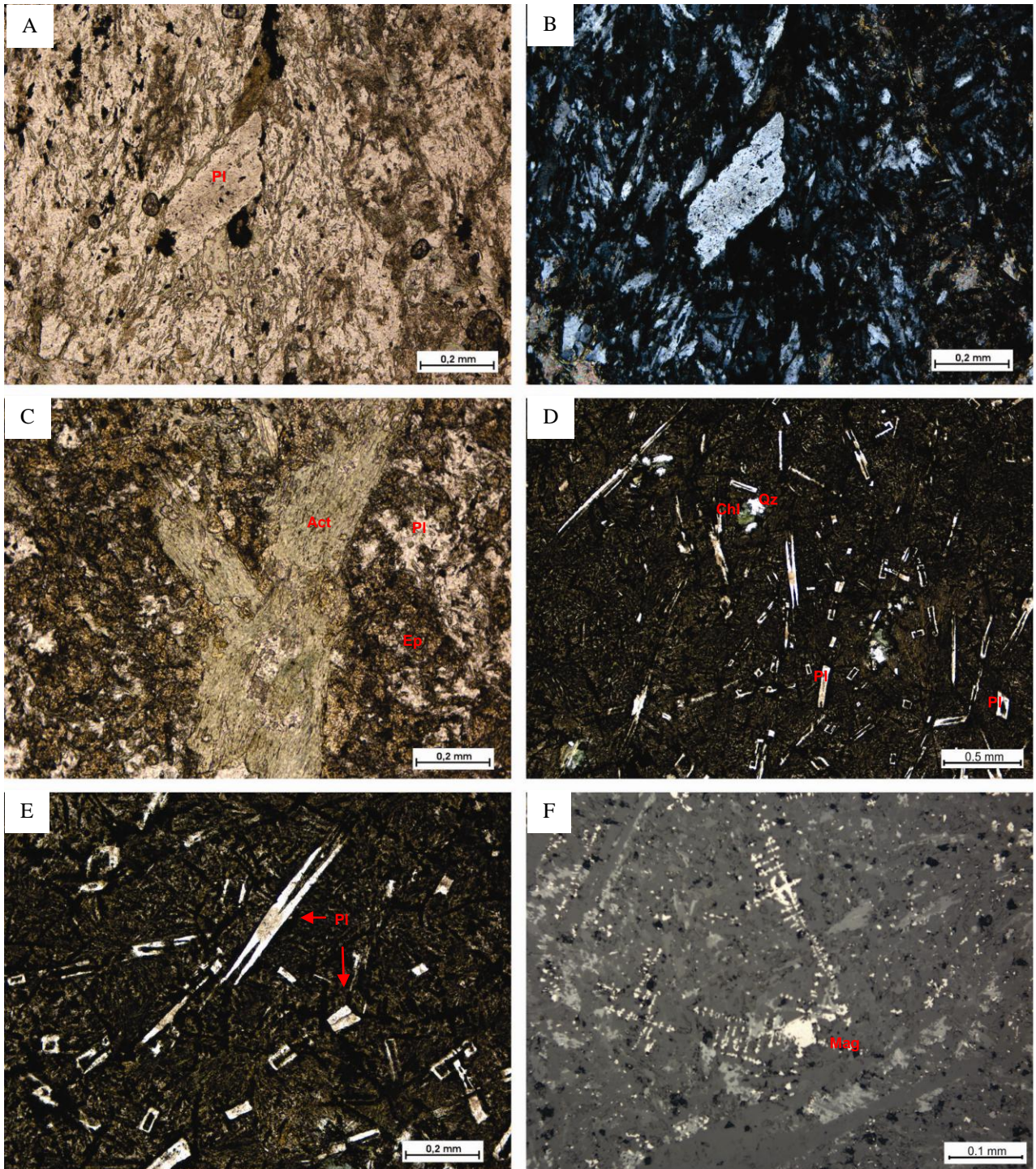
alterando para ilmenita. Vênulas milimétricas carbonáticas com quartzo interceptam a rocha e podem ser concordantes ou discordantes da foliação tectônica.

5.1.2.2 Diques de diabásio

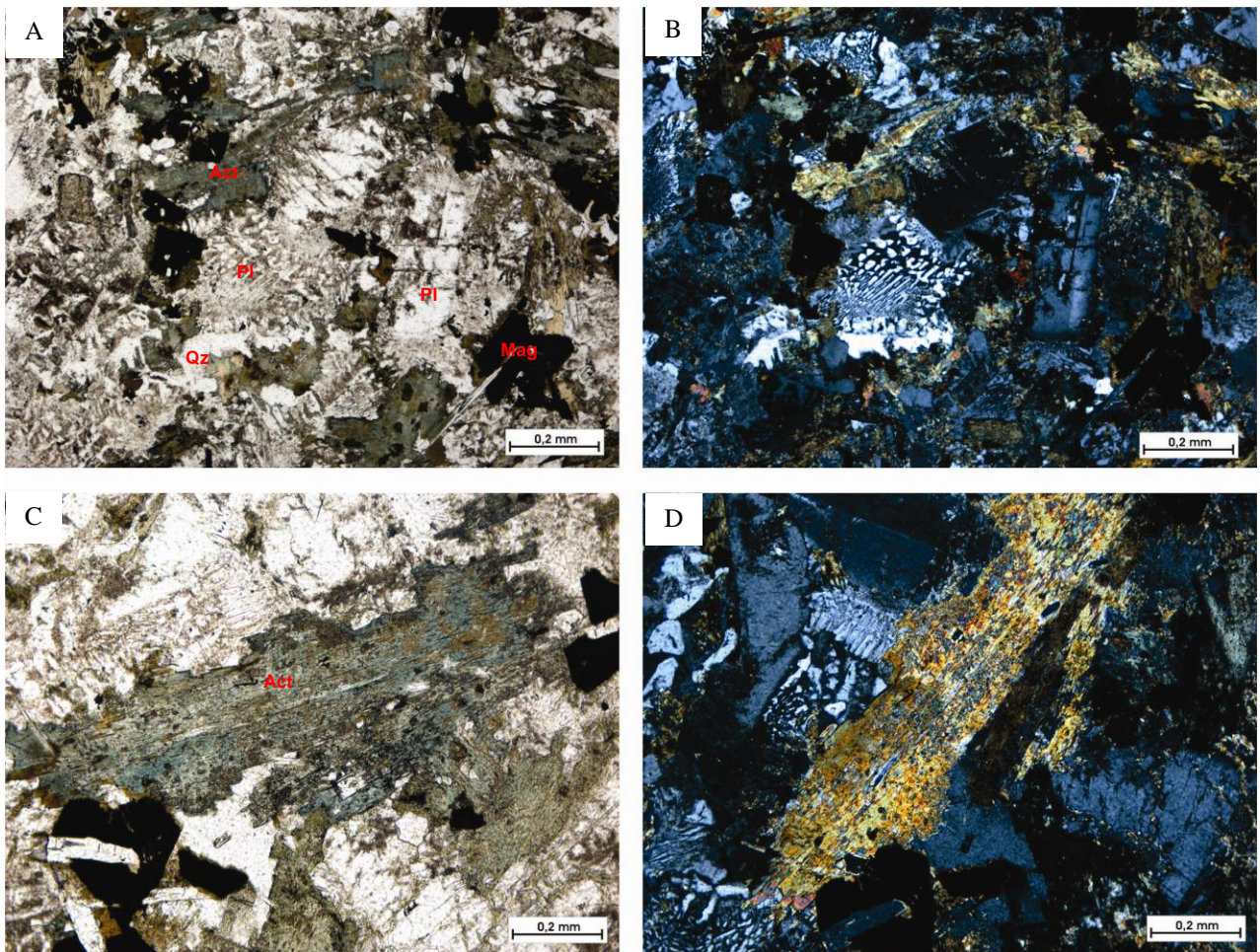
Os diques de diabásio são intrusivos nos metabasaltos e apresentam as feições ígneas primárias ainda preservadas. São rochas de coloração cinza escuro, maciças e extremamente magnéticas. Podem apresentar amígdalas preenchidas por quartzo e/ou carbonato e clorita e traços de sulfetos e pequenas venulações tardias compostas por clorita, actinolita, quartzo, epidoto, pirita e calcopirita. Apresentam textura porfirítica com microfenocristais de plagioclásio imersos em matriz fina constituída por plagioclásio saussuritizado, actinolita e biotita (Prancha 3, fotos D e E). Os minerais principais são plagioclásio (60%), actinolita (20%), magnetita (20%), epidoto e biotita (traços). Os cristais de plagioclásio encontram-se de duas maneiras: na matriz fina saussuritizados e como fenocristais ripiformes com textura de resfriamento rápido tipo “rabo de andorinha” ou como cristais com textura *sieve*. Os cristais de magnetita apresentam arranjo esqueletal (Prancha 3, foto E). Os cristais de actinolita apresentam-se na matriz como pseudomorfos de piroxênio com arranjos plumosos. Por toda a matriz há oxidação avermelhada e presença de cristais submilimétricos de biotita recristalizada associada.

5.1.2.3 Metagabros

Os metagabros se apresentam como um pacote no topo do furo MMD049 e possuem contato aproximadamente concordante com os metandesitos. São rochas de coloração cinza, granulação média a fina e encontram-se metamorfizadas. A textura observada nessas rochas é a textura intergranular e ainda apresenta textura micrográfica ígnea preservada (Prancha 4, fotos A, B, C e D). É composta por actinolita (40%), plagioclásio (35%), biotita (12%) e magnetita (8%) e quartzo (5%), além de apatita, carbonato e epidoto como minerais acessórios e muscovita como mineral secundário. Cristais de actinolita são verdes claros, pleocróicos, podendo ocorrer como pseudomorfos de piroxênio. Fenocristais de plagioclásio euedrais encontram-se alterados para micas. Biotita se apresenta em forma placóide, castanha avermelhada associada com actinolita e magnetita. Cristais de magnetita ocorrem esparsos por toda a lâmina, podendo estar corroídos.



Prancha 3: Fotomicrografias: Diques andesíticos: (A) porfiroblasto de plagioclásio com núcleo saussuritizado em matriz recristalizada com plagioclásio, clorita e epidoto; (B) idem foto A, nicóis cruzados; e (C) porfiroblastos de actinolita envoltos por matriz constituída de plagioclásio e epidoto anedrais. Dique de diabásio: (D) textura porfírica do dique de diabásio, apresentando microfenocristais de plagioclásio em matriz muito fina e amígdalas preenchidas por clorita e quartzo; (E) detalhe de microfenocristais de plagioclásio apresentando textura de resfriamento rápido "rabo de andorinha" e cristais de plagioclásio com textura tipo *sieve*; e (F) cristal de magnetita esqueletal.



Prancha 4: Fotomicrografias de metagabros: (A) textura intergranular pseudomórfica; (B) textura micrográfica caracterizada pelo intercrescimento de feldspato alcalino e quartzo; (C) fenocristal de piroxênio totalmente transformado em actinolita; e (D) idem foto C, nicóis cruzados.

Pelas relações observadas nas lâminas e descrição macroscópica, os diques andesíticos (intermediários) fazem parte de uma geração de diques que foi afetada pelo cisalhamento e alteração hidrotermal. Os diques de diabásio possuem sua textura ígnea preservada, porém existem algumas vênulas que interceptam esses diques. Os metagabros encontram-se metamorfizados e praticamente não foram afetados pela alteração hidrotermal.

5.1.3 Zonas de alteração hidrotermal

A deformação que afetou a área é heterogênea, se concentrando em faixas de escala centimétricas a métricas e colocando rochas fortemente cisalhadas ao lado de rochas preservadas

de deformação. As feições dos metabasaltos, anteriormente descritas, foram observadas em zonas com baixa taxa de deformação onde os protólitos, embora metamorfizados, ainda conservam suas estruturas primárias. Nos locais onde as zonas de cisalhamento cortam os metabasaltos, foram observadas profundas modificações texturais, estruturais e mineralógicas, que apagam as feições primárias, dando lugar a feições tipicamente miloníticas, estando essas modificações também associadas aos processos de alteração hidrotermal.

As zonas de cisalhamento são marcadas pelo desenvolvimento de foliação planar e regular, bem como pela presença de veios quartzo-carbonáticos com formas sigmoidais. Estruturas S-C, e deflexões de foliação são também características dessas zonas. Observa-se intensa variação de coloração, que está intimamente relacionada com transformações mineralógicas. Normalmente, na parte mais externa da zona de cisalhamento, o metabasalto apresenta aspecto foliado e cor verde escura devido ao aumento na quantidade de clorita. Gradualmente, a cor vai mudando para verde amarronzado e marrom, em direção ao centro das zonas de cisalhamento, em função do aumento na quantidade de carbonato e biotita (Figura 5.4).

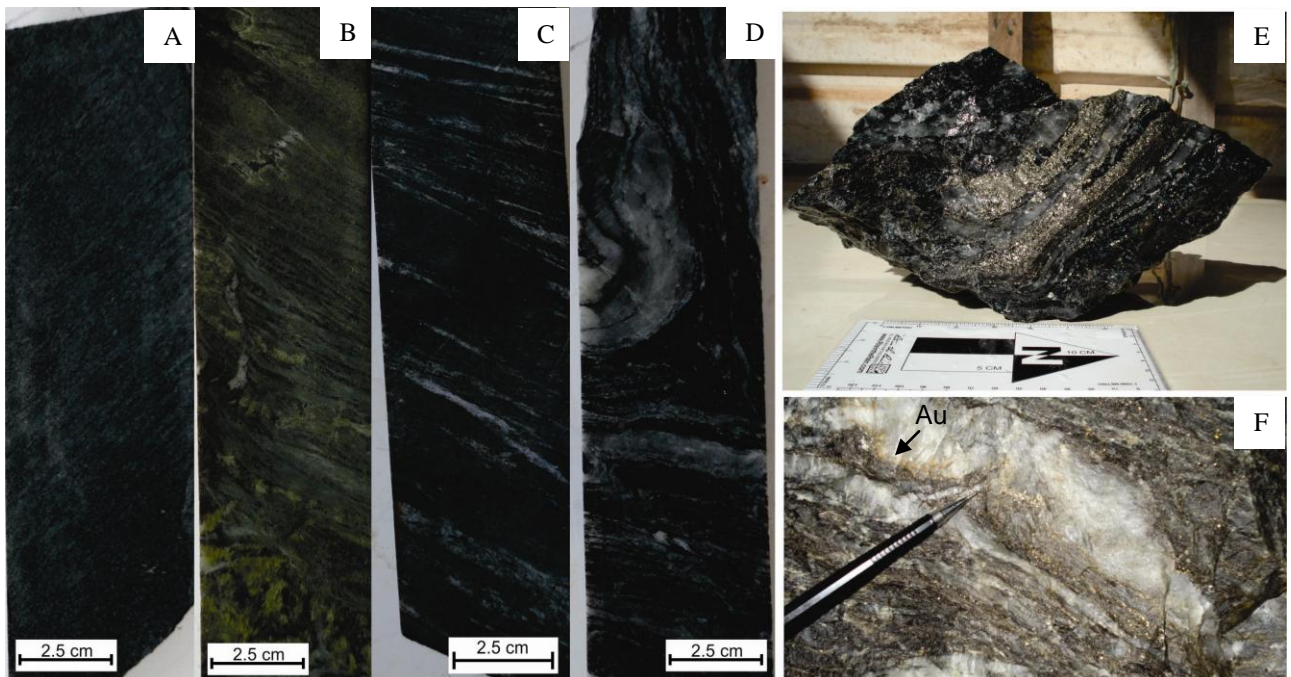


Figura 5.4: Testemunhos de sondagens mostrando as zonas de alteração hidrotermal identificadas na região da mineralização: (A) metabasalto foliado; (B) zona distal clorítica, na foto com venulação de epidoto; (C) zona intermediária de carbonatação; (D) zona proximal com sulfetação, biotitização e vênulas de quartzo; (E) amostra com veio de quartzo apresentando sulfetação ao redor do veio e presença de biotita – zona proximal; e (F) detalhe de veio de quartzo mineralizado, presença de ouro livre.

Essas mudanças texturais e mineralógicas nos metabasaltos da região da Mina do Mamão estão intimamente ligadas aos processos hidrotermais mineralizantes. Com base nessa variação foi possível identificar macroscopicamente zonas de alteração hidrotermal, que serão chamadas neste trabalho de zona distal, zona intermediária e zona proximal à mineralização. Essas zonas não ocorrem com limites abruptos, sendo difícil definir com exatidão onde termina uma zona de alteração e onde começa a outra, havendo faixas de transição entre uma zona e outra.

5.1.3.1 Zona Distal

Essa zona de alteração hidrotermal é a que apresenta maior expressão lateral. Nela predominam rochas de coloração verde, granulação fina e foliada. Ocorrem venulações centimétricas a milimétricas de carbonato, quartzo, clorita, epidoto, podendo conter biotita e pirita, e também venulações de carbonato e/ou quartzo com magnetita, pirita, turmalinas verdes azuladas e epidoto que truncam a foliação da rocha. A textura pode ser nematoblástica, lepidoblástica a granoblástica e, com o aumento da deformação, há formação de bandas ricas em clorita, epidoto e leucoxênio e bandas com plagioclásio e quartzo (Prancha 5, foto A, B, C e D). Os minerais principais são clorita (20-40%), albita (30-40%), epidoto (1-5%), carbonato (1-15%), \pm actinolita e \pm quartzo. Os minerais acessórios são titanita, magnetita, biotita e pirita. A clorita presente nesta zona apresenta-se como agregados cristalinos, deformados, dobrados, marcando a foliação milonítica desenvolvida na rocha (Prancha 5, foto C). Alguns cristais de clorita podem aparecer sobrecrecidos por biotita. Plagioclásio (albita) ocorre como cristais recristalizados, deformados, acompanhando a foliação (Prancha 5, foto D) ou como porfiroblastos em charneiras de dobras e cortando a foliação (pós-tectônicos). O epidoto ocorre como cristais irregulares associado com clorita e nas bordas de cristais de actinolita ou como cristais eudrais a subedrais prismáticos (Prancha 5, fotos E e F). Os cristais de carbonato (calcita) ocorrem como duas variedades: pequenos cristais na matriz juntamente com plagioclásio e quartzo e como porfiroblastos substituindo parcialmente o plagioclásio (Prancha 6, fotos A e B). Os cristais de actinolita são sobrecrecidos por clorita, estando ausentes em muitas lâminas, nas quais são substituídos por clorita, epidoto e carbonato. Os cristais de titanita são subedrais, de coloração castanho avermelhado, podendo estar parcialmente a totalmente oxidados, dando lugar ao leucoxênio. Observam-se duas gerações de magnetita: a primeira geração encontra-se disseminada no metabasalto hidrotermalizado e a segunda geração, presente em bandas mais hidrotermalizadas (Prancha 6, foto B). A magnetita disseminada possui formato

uedral a subedral, podendo estar corroída (Prancha 8, foto A). Os cristais de magnetita que se encontram nas bandas podem conter inclusões de carbonato e se apresentar orientados.

Em relação aos metabasaltos, observa-se, nas zonas distais, o enriquecimento em clorita, carbonato e quartzo e o empobrecimento de plagioclásio e actinolita. O aumento da intensidade da deformação associado com os processos de alteração hidrotermal na zona distal, acarretam a modificação da textura da rocha e diminuição da granulação do anfibólio cálcico e o aumento significativo de clorita, podendo aumentar a quantidade de carbonato e epidoto. Essa zona é, portanto, caracterizada pela cloritização total ou parcial dos metabasaltos.

5.1.3.2 Zona Intermediária

A transição da zona distal para a zona intermediária é gradual. Nesta zona ocorre o aumento na taxa de deformação com desenvolvimento de foliação milonítica e de venulações carbonáticas paralelas à foliação e muitas vezes dobradas. Algumas vênulas tardias de quartzo e carbonato interceptam a foliação (Prancha 6, foto E). A rocha apresenta coloração verde amarronzado, granulação fina e foliação tectônica penetrativa marcada pela orientação de clorita e estiramento (deformação/orientação) dos cristais de carbonato, plagioclásio e quartzo. A textura que predomina é granoblástica, possuindo domínios lepidoblásticos. A rocha pode aparecer com bandamento composicional submilimétrico a milimétrico, com alternância de bandas ricas em plagioclásio com clorita subordinada e bandas ricas em carbonato, também com clorita, e bandas cloríticas (Prancha 6, fotos C e D).

Os minerais principais são plagioclásio (albita) (30-35%), carbonato (10-35%), clorita (20-35%) e quartzo (~5%), podendo conter quantidades subordinadas de biotita, ilmenita, sericita e ± epidoto. Os minerais acessórios são titanita, pirita, pirrotita, calcopirita e magnetita. O plagioclásio ocorre como duas variedades: recristalizado na matriz concordante com a foliação (Prancha 6, fotos C, D e E) ou como porfiroblastos de plagioclásio subedrais saussuritizados), variando de 0.3-0.5 mm, alguns com inclusões de carbonato, clorita e ± epidoto. Os cristais de carbonato ocorrem de duas maneiras: cristais anedrais, estirados, deformados, concordantes com a foliação (Prancha 7, foto A), variando de 0,1 mm a 0,5 mm, e como poiquiloblastos, sobrecrecendo os cristais de epidoto e plagioclásio, com inclusões de epidoto. Clorita marca a foliação, bordejando os cristais de plagioclásio e carbonato, podendo estar sobrecrecida por placas de biotita acompanhando a foliação (Prancha 7, foto B). Observam-se “olhos” de quartzo englobados pela foliação junto com carbonato; o quartzo também aparece recristalizado na matriz (Prancha 6, foto E). A titanita ocorre como cristais anedrais castanhos avermelhados, em

meio à oxidação marrom avermelhada. Os sulfetos presentes são cristais de pirita subedrais, com bordas corroídas, ou poiquiloblastos com inclusões de biotita, clorita, ilmenita e calcopirita (Prancha 8, foto B). Outro sulfeto presente é a pirrotita (Prancha 8, fotos B e D), que ocorre como cristais castanhos rosados subedrais, com inclusões que podem ser carbonato e clorita. Esses cristais podem estar estirados acompanhando a foliação ou orientados e fraturados. As fases óxidos presentes são ilmenita, que ocorre como cristais estirados ou dobrados acompanhando a foliação, e magnetita, como cristais euedrais a subedrais (Prancha 6, foto F), podendo estar corroída e fraturada com inclusões de carbonato, associada com pirita e pirrotita. Os cristais de magnetita podem estar orientados nas bordas de vênulas.

A zona intermediária pode ser caracterizada pelo apreciável aumento modal dos carbonatos, consumo de epidoto e relativo aumento de sulfetos (pirita e pirrotita) e quartzo, sendo, portanto, uma zona de carbonatação no sistema hidrotermal mineralizante.

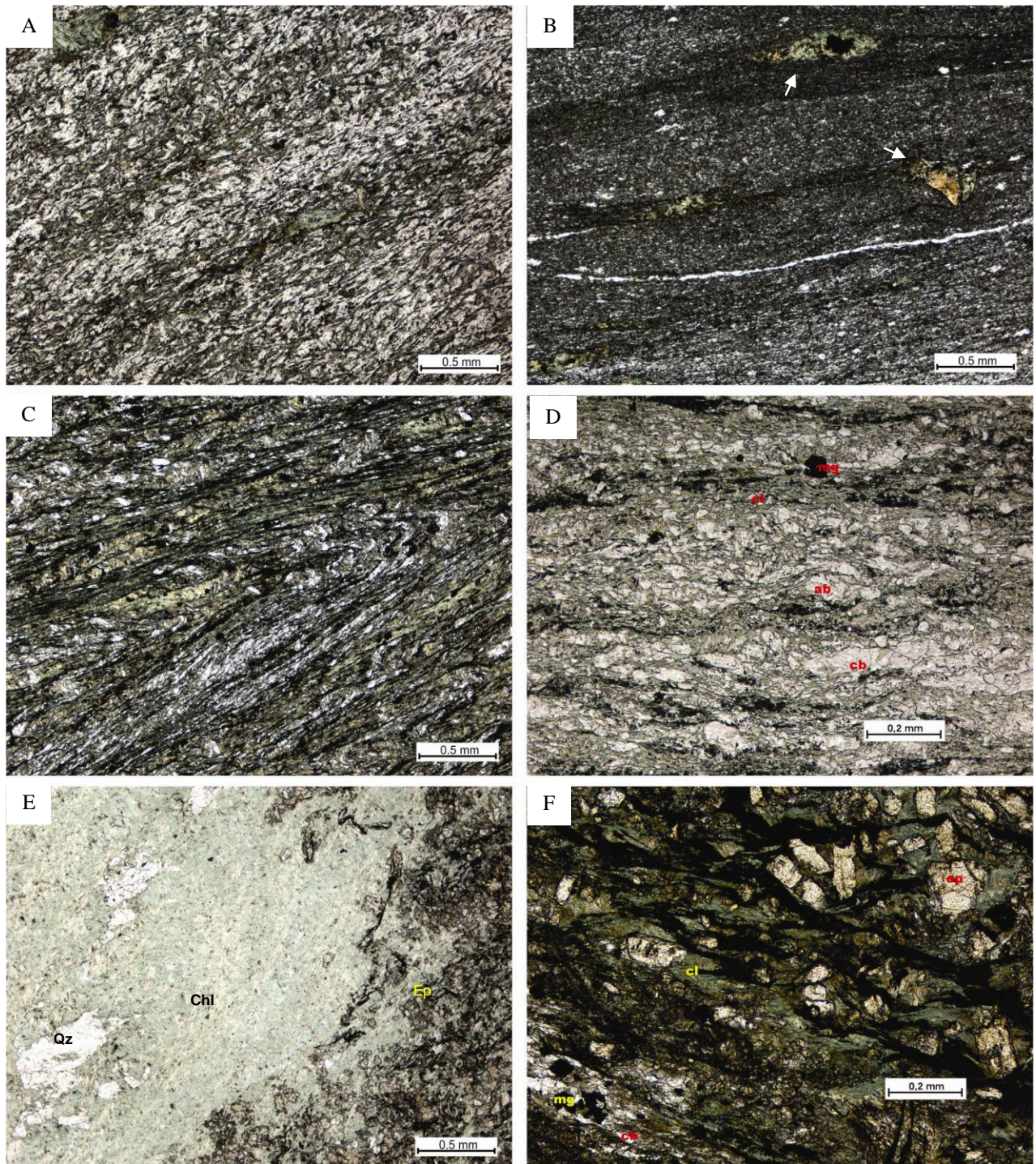
5.1.3.3 Zona Proximal

A zona proximal é intensamente deformada e venulada. Nesta zona as rochas são mais escuras devido ao aumento modal de biotita e sulfetos. A rocha exhibe coloração marrom escuro esverdeado, e apresenta-se bandada, podendo essas bandas estar dobradas. Há intensa venulação de quartzo com pirita, biotita, carbonato e clorita. Localmente, há turmalina marrom esverdeada em vênulas de quartzo e carbonato. A rocha apresenta domínios granoblásticos a lepidoblásticos que se alternam em escala centimétrica a milimétrica. A rocha intensamente afetada pela alteração hidrotermal nesta zona é composta por albita (10-20%), biotita (20-30%), quartzo (10-15%), carbonato (15%), clorita (10-15%), pirita (5-15%), ilmenita (2%), podendo conter pirrotita, calcopirita e sericita.

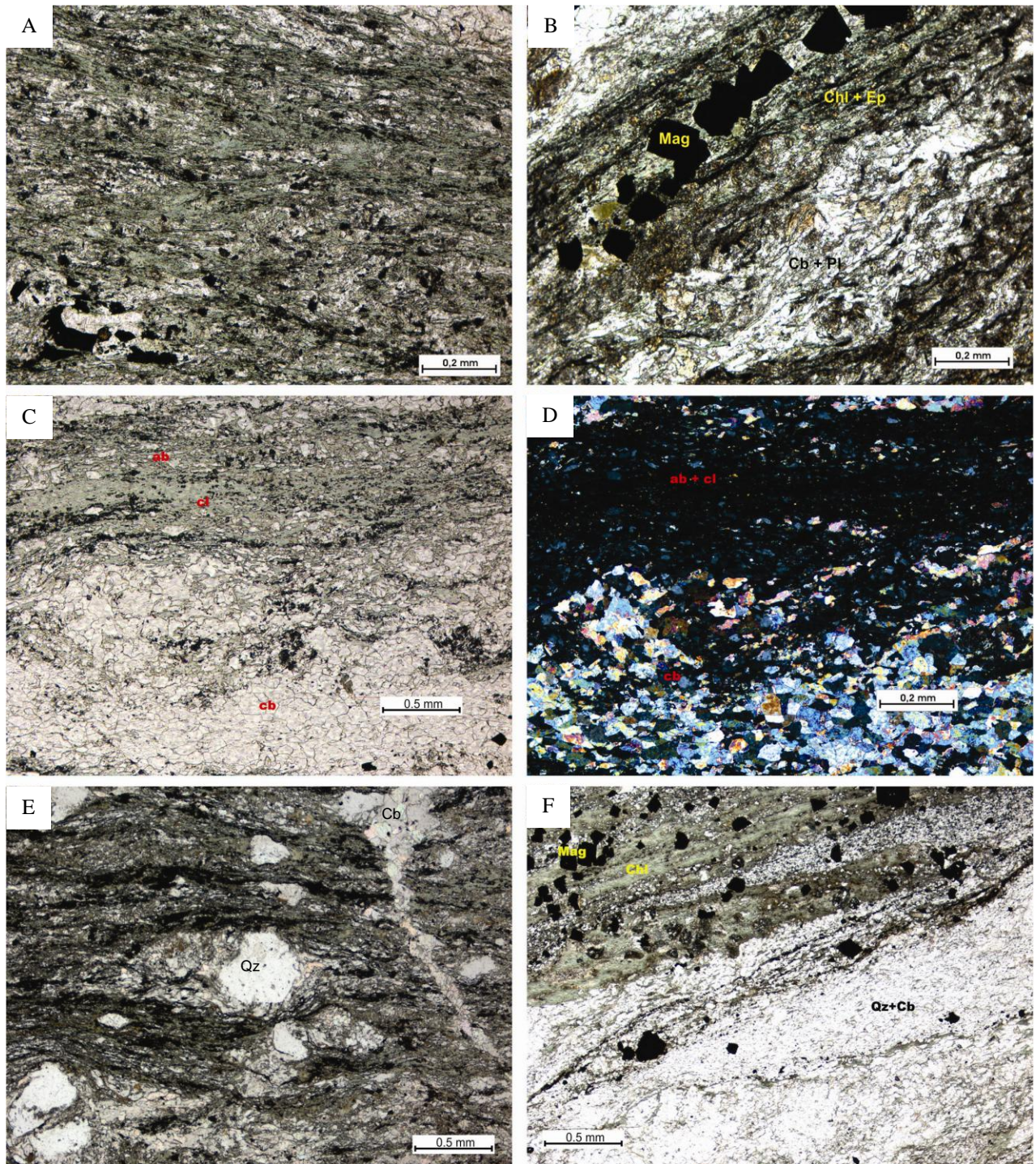
Albita ocorre como cristais recristalizados e orientados na matriz ou como porfiroblastos discordantes da foliação associados com carbonatos. O carbonato ocorre junto com o plagioclásio na matriz, estirado, orientado e aparece também em vênulas. Biotita ocorre sobrecrecendo os cristais de clorita, orientada e nos interstícios dos cristais de plagioclásio, carbonato e quartzo (Prancha 7, fotos C, D, E e F). Nas vênulas sulfetadas, a biotita também aparece em grande quantidade sobrecrecendo cristais bem desenvolvidos de clorita. O quartzo está recristalizado em meio a matriz com plagioclásio e carbonato, sendo difícil estimar a composição modal. A sericita pode ocorrer estirada orientada, em bandas próximas a venulações hidrotermais. Cristais de pirita (Prancha 8, fotos E e F) ocorrem como duas gerações, a primeira como cristais anedricos a subedricos, podendo ocorrer como agregados cristalinos ou cristais

esparsos intensamente corroídos e fraturados e até mesmo estirados, de tamanho variando de 0.01 mm a 0.05 mm, associados com clorita, carbonato, quartzo e \pm calcopirita. Porfiroblastos tardios euédricos de pirita, representando uma segunda geração desse sulfeto, podendo estar corroído e com inclusões de clorita e carbonato. Ilmenita ocorre dobrada, estirada, acompanhando a foliação, juntamente com cristais de clorita/biotita. Raros cristais de magnetita aparecem como pequenos grãos anedrais ($< 0.005\text{mm}$) fraturados, corroídos associados à pirita eudral, caracterizando a destruição da magnetita nesta zona. Pequenos cristais arredondados de rutilo, substituindo ilmenita podem ocorrer. Calcopirita ocorre como traços. Esta zona pode hospedar venulações milimétricas de quartzo com ouro livre associado.

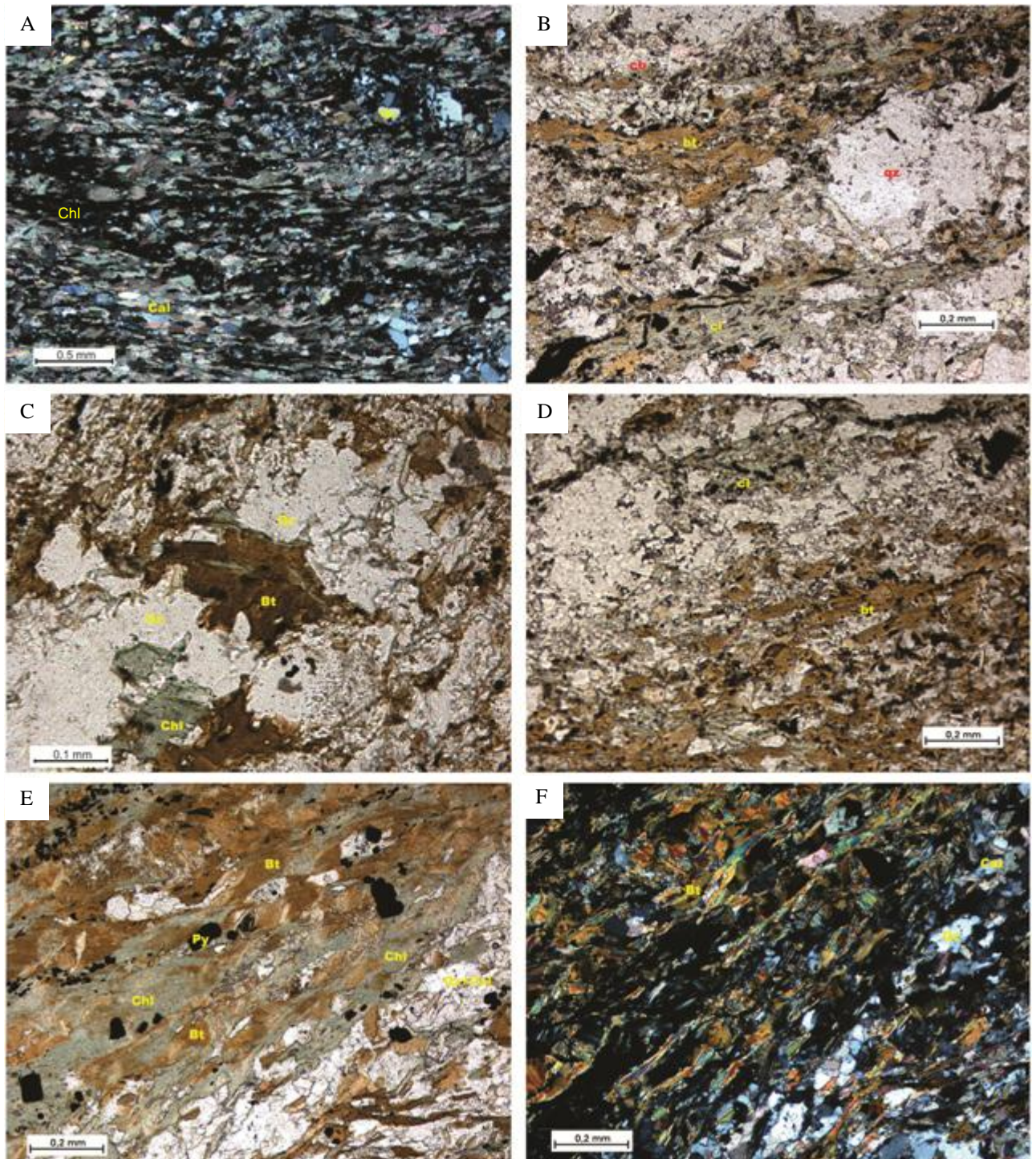
O aumento considerável de pirita reflete a intensa sulfetação próxima aos veios de minério. O aumento modal de biotita e o possível aparecimento de sericita caracterizam um evento de biotitização (potassificação) hidrotermal na zona proximal.



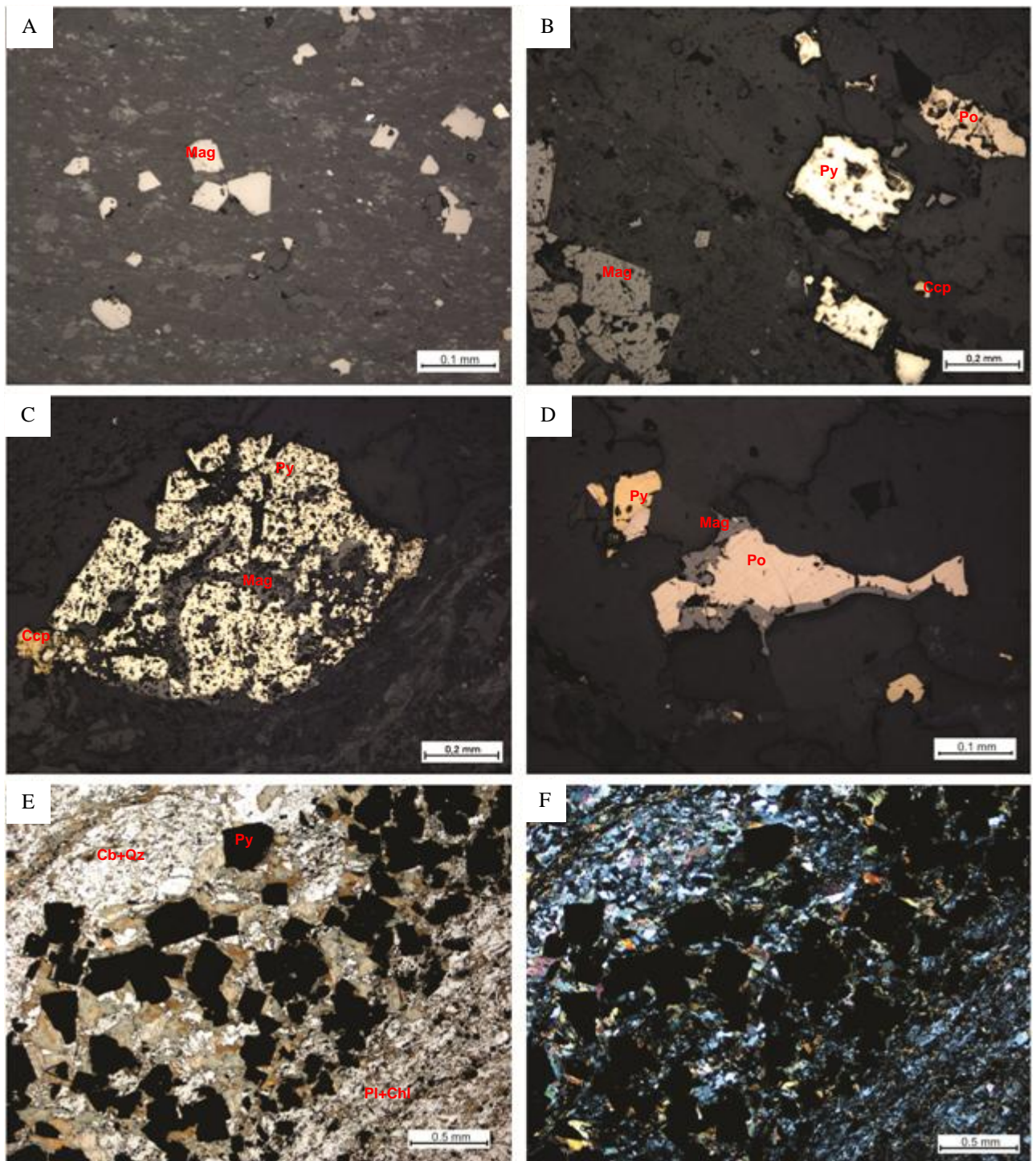
Prancha 5: As fotomicrografias ilustram mudanças texturais e mineralógicas nos metabasaltos na zona distal (A) intercalações de bandas ricas em plagioclásio e bandas de actinolita e clorita; (B) intensa deformação em zona de cisalhamento com porfiroblastos de clorita e epidoto (setas); e (C) dobra fechada marcada por plagioclásio, clorita e epidoto. (D) metabasalto apresentando alternância de bandas cloríticas, albíticas com clorita intersticial e bandas carbonáticas. Agregados de clorita marcam a foliação, cristais de albita e carbonato apresentam-se estirados. Na parte superior cristal de magnetita; (E) intensa cloritização marcada por placa de clorita com cristais de quartzo no interior; e (F) vênula em metabasalto da zona distal com clorita e cristais de epidoto prismáticos e arredondados.



Prancha 6: Fotomicrografias: **Zona distal:** (A) A fotomicrografia mostra cloritização em metabasalto. No canto superior direito vênula de carbonato, presença de plagioclásio e carbonato entre clorita; (B) metabasalto na zona distal com bandas ricas em clorita e epidoto, com cristais de magnetita eudrais e bandas ricas em plagioclásio recristalizado e porfiroblastos de carbonato estirados com cristais de epidoto. Na **zona intermediária:** (C) bandas de clorita e albita, bandas carbonáticas. Aumento da quantidade modal de carbonatos; (D) idem foto C, nicóis cruzados; (E) "olhos" de quartzo bordejados por carbonato, foliação marcada por clorita e plagioclásio recristalizado. Vênula tardia de carbonato cortando a foliação; e (F) Vênula de quartzo e carbonato e faixa de clorita com magnetita.



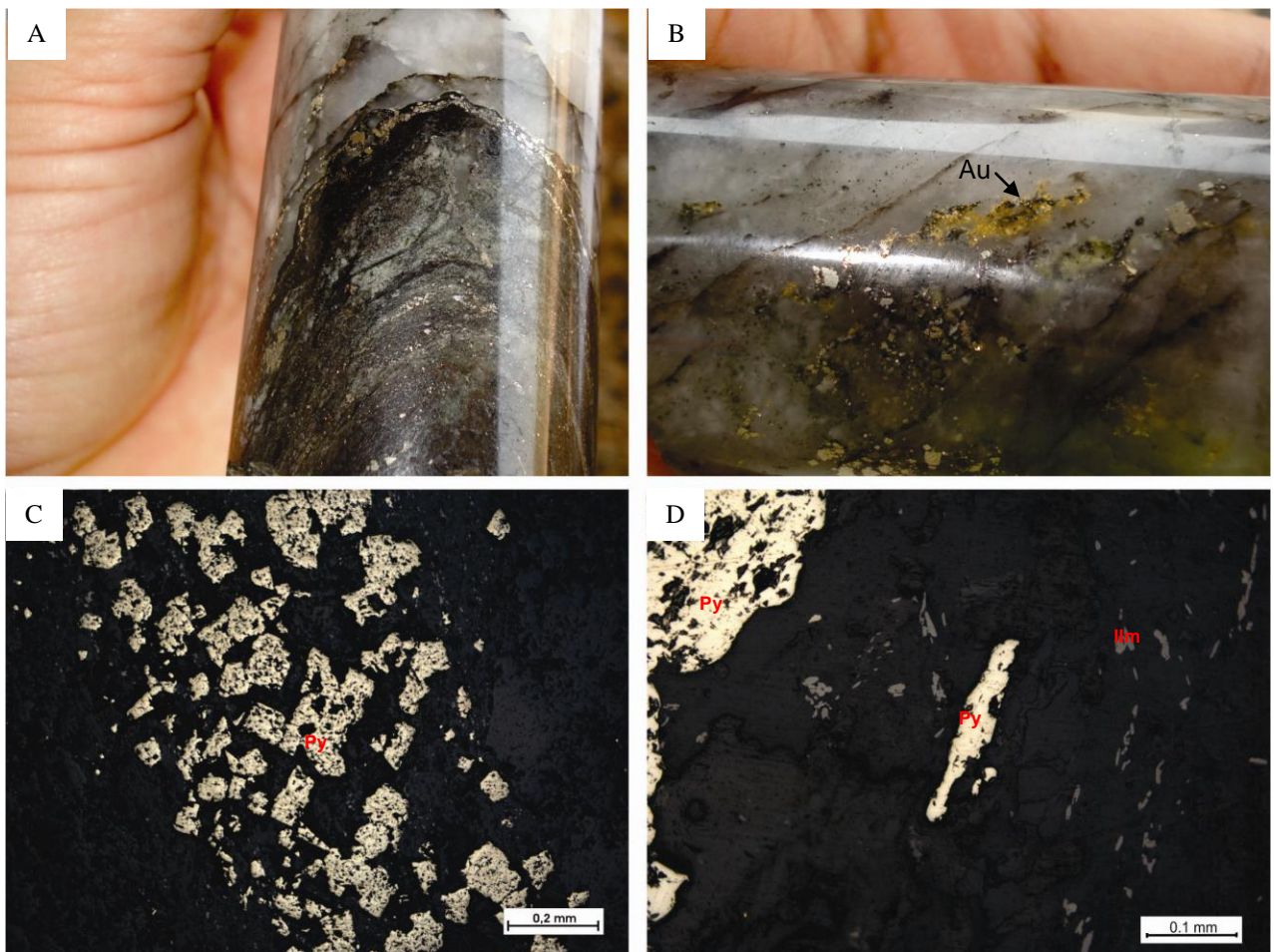
Prancha 7: Fotomicrografias ilustrando a *zona Intermediária*: (A) Porção com intensa carbonatação. Cristais de calcita estirados com clorita intersticial e cristais de quartzo; e (B) sobrecrescimento de biotita em clorita na zona intermediária com carbonato e quartzo. *Zona proximal*: (C) detalhe de cristal de clorita sobrecrescido por biotita envolto por quartzo; (D) biotitização; (E) intensa substituição de clorita por biotita; e (F) idem foto E, nicóis cruzados.



Prancha 8: Fotomicrografias dos minerais opacos presentes nas zonas de alteração: (A) cristais de magnetita disseminados na zona distal; (B) cristais de magnetita, pirita, pirrotita e calcopirita em zona intermediária; (C) cristal de pirita englobado magnetita. Calcopirita no canto inferior direito. Zona distal; (D) cristal de pirrotita estirado com borda de magnetita. Cristal de pirita anedral; (E) Zona proximal com bandas ricas em cristais de pirita envoltos por clorita substituída por biotita; (F) idem foto E, nicóis cruzados.

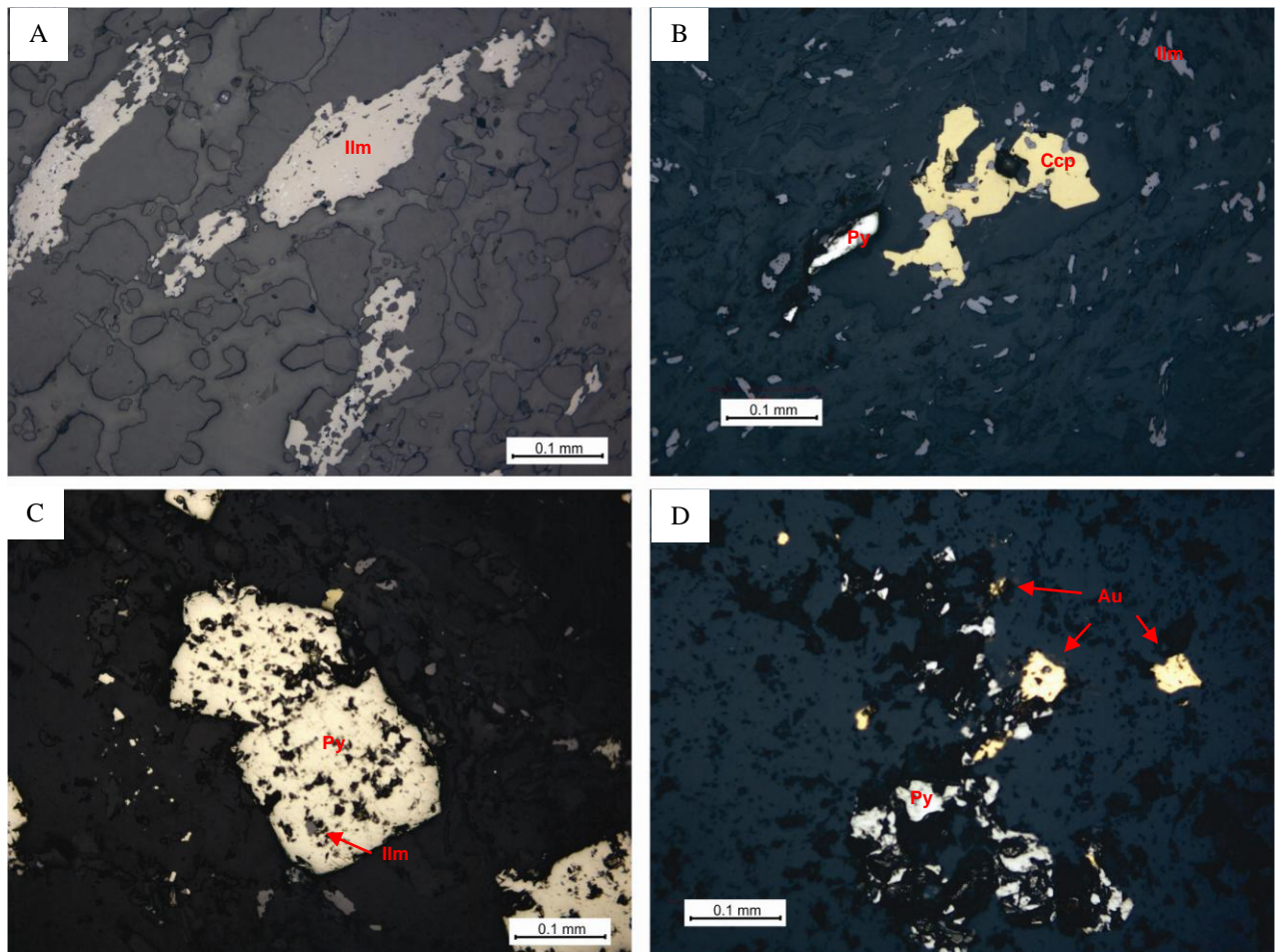
5.1.4 Veios de quartzo - Zona Mineralizada

A mineralização de ouro ocorre em veios de quartzo em contato com as rochas da zona proximal (Pranchas 9 e 11). Esses veios podem estar dobrados e consistem de quartzo (95%) e subordinadamente ocorrem carbonato, pirita, biotita/clorita, calcopirita e ilmenita. O ouro ocorre livre (Pranchas 9 fotos A e B; Prancha 10, foto D; e Prancha 11, fotos C e D) e sua composição verificada em análise de microsonda eletrônica é de 91-93% de ouro, 7% de prata e 0.3-2% de selênio.

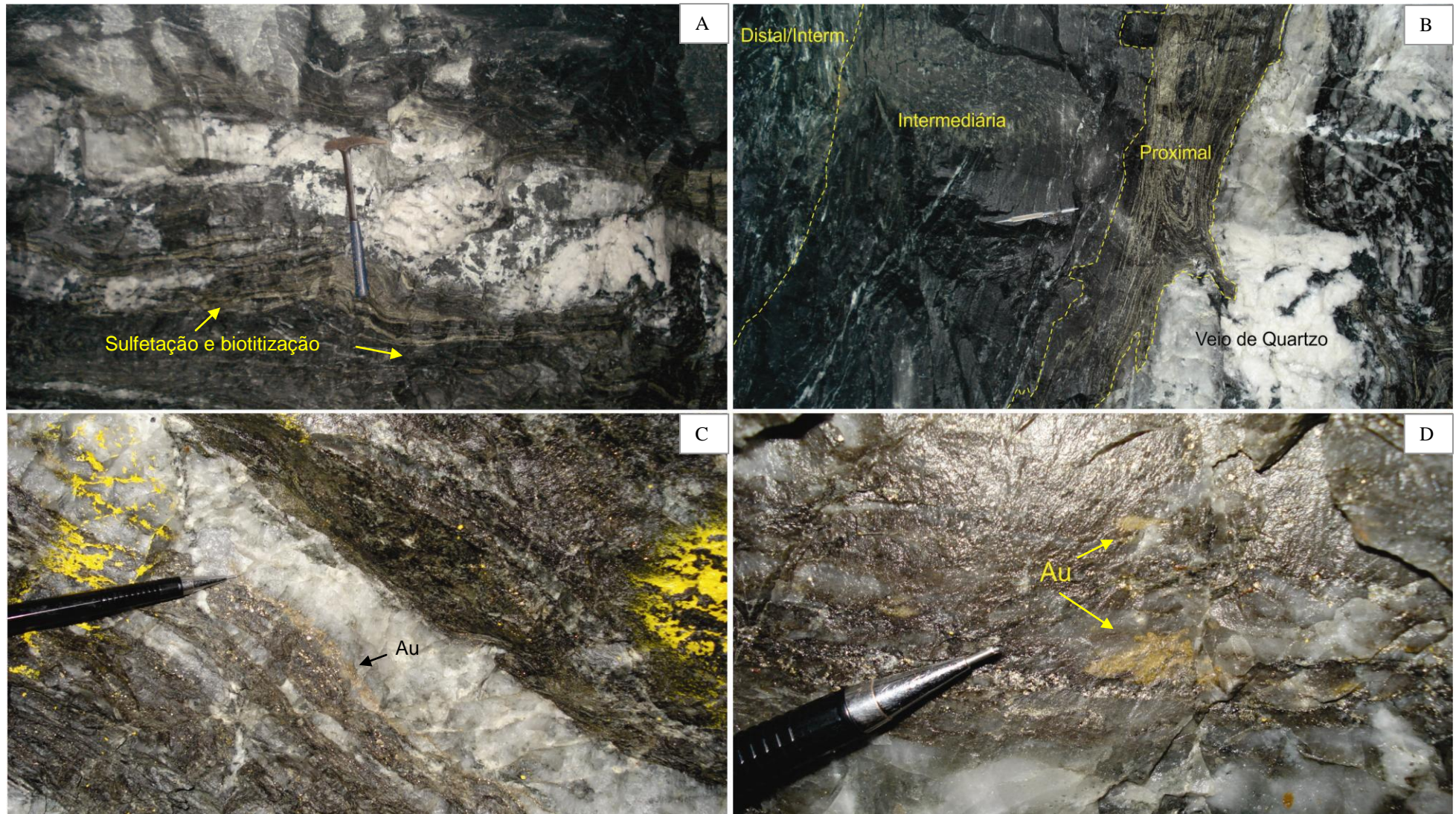


Prancha 9: (A) testemunho de sondagem com intensa sulfetação na borda do veio mineralizado; (B): testemunho de sondagem apresentando ouro livre em veio de quartzo mineralizado juntamente com pirita; Fotomicrografias: (C) banda sulfetada, pirita com inclusões de clorita e carbonato na zona proximal; e (D): cristal de pirita estirado na zona proximal com ilmenita estirada e porfiroblasto maior de pirita.

Os cristais de quartzo exibem extinção ondulante, subgrãos e recristalização. Existem duas gerações de pirita. A primeira aparece como cristais anedrais a subhedrais, muito deformados e corroídos nos interstícios dos grãos de quartzo (Prancha 9, foto D; Prancha 10, foto B), muitas vezes como agregados de cristais anedrais e em maior quantidade em fragmentos da rocha encaixante no interior dos veios. A segunda geração ocorre como cristais subhedrais a anedrais (~ 0,15mm), com inclusões de ilmenita, clorita e carbonato (Prancha 9, foto C; Prancha 10, foto C). Traços de ilmenita tardia (Prancha 10, foto A) ocorrem nos veios de quartzo, como cristais subhedrais de coloração cinza rosada, com inclusões de carbonato e pirita. Nos fragmentos de rocha, a ilmenita se apresenta como cristais submilimétricos deformados e estirados, associados com pirita (Prancha 9, foto D; Prancha 10, foto B). Os cristais de calcopirita ocorrem associados com pirita, são anedrais, límpidos e submilimétricos (Prancha 10, foto B).



Prancha 10: Fotomicrografias: (A) cristais de ilmenita estirados; (B) cristal de calcopirita (amarelo) e pirita estirada com ilmenita (cinza); (C) pirita em charneira de dobra e inclusões de ilmenita (cinza); e (D): ouro livre nos interstícios dos grãos de quartzo com pirita deformada.



Prancha 11: Fotos do interior da Mina do Mamão, Corpo Melechete, frente de lavra em 2011. Em (A) veio de quartzo mineralizado e zona proximal muito evidente, com intensa sulfetação e biotitização; (B) veio de quartzo e limites aproximados (linhas tracejadas em amarelo) das zonas de alteração hidrotermal. proximal, com intensa sulfetação e potassificação, zona intermediária e interface intermediária/distal com aumento de clorita e carbonato; (C) veio de quartzo centimétrico mineralizado em zona proximal; e (D) detalhe do ouro livre em veio de quartzo leitoso.

5.1.5 Discussão

Os depósitos orogênicos apresentam forte zonação lateral das fases de alteração hidrotermal, passando de assembleia proximal para distal em escalas de metros. As assembléias mineralógicas dentro das zonas de alteração e a largura destas zonas geralmente variam com o tipo de rocha encaixante e o nível crustal. Mais comumente, os carbonatos incluem ankerita, dolomita ou calcita; sulfetos incluem pirrotita, pirita ou arsenopirita; metassomatismo alcalino envolve sericitização ou, mais raramente, formação de fuchcita - Cr-muscovita (Rieder *et al.*, 1998), biotita ou K-feldspato e albitização e minerais máficos são altamente cloritizados. Sulfetação é extrema em BIFs e rochas máficas hospedeiras ricas em Fe (Groves *et al.*, 1998).

Nas proximidades da mineralização, o cisalhamento é intenso e é possível caracterizar diferentes zonas de alteração hidrotermal, sendo chamadas neste trabalho de alteração hidrotermal distal, alteração hidrotermal intermediária e alteração hidrotermal proximal. Essas zonas de alteração hidrotermal não são simétricas ao longo dos furos de sondagem, podendo haver intercalações entre elas. Os principais tipos de alteração hidrotermal observados nos metabasaltos são cloritização, carbonatação, biotitização e sulfetação (Prancha 11).

A figura 5.5 ilustra a sequência das assembléias minerais para cada zona de alteração hidrotermal, que foram identificadas ao longo dos furos pelas variações texturais e mineralógicas. A actinolita está presente nos metabasaltos da zona do metamorfismo regional, podendo ser encontrada nas zonas distais da mineralização. Com a intensificação da alteração hidrotermal e deformação, a actinolita foi substituída totalmente por clorita, não estando presente nas zonas intermediária e proximal. O plagioclásio encontrado nas rochas do metamorfismo regional é quase que exclusivamente albita e segue com a mesma composição em todas as zonas de alteração, ocorrendo mudanças em sua textura. Sua ocorrência diminui à medida que se aproxima da zona proximal. Os minerais do grupo do epidoto ocorrem como zoizita/clinozoizita e epidoto nos metabasaltos e como epidoto na zona distal, sendo consumido e ausente nas rochas com intensa carbonatação. A clorita está presente em todas as zonas de alteração, tendo sua maior expressão na zona distal (cloritização), podendo ter sido originada da hidratação dos minerais máficos e da matriz. A biotita pode ocorrer como mineral traço em todas as zonas, mas sua maior concentração é na zona de alteração proximal juntamente com o quartzo, onde substitui os cristais de clorita, indicando máxima potassificação nessa zona. Ocasionalmente, pode ocorrer sericita na zona proximal. O carbonato está presente na zona distal em quantidades moderadas. Seu aumento considerável na zona intermediária sugere o estágio de carbonatação. Turmalina ocorre ocasionalmente em vênulas. A maior parte dos cristais de titanita apresenta-se

alterado para leucoxênio na zona distal, e substituídos por ilmenita nas zonas intermediária e proximal, podendo também ocorrer rutilo. Os cristais eudrais disseminados de magnetita nos metabasaltos do metamorfismo regional e na zona distal se encontram corroídos e associados com pirrotita na zona intermediária. Novos cristais de magnetita são formados próximos a vênulas de carbonato na zona intermediária. Na zona proximal há o consumo e até a destruição desses cristais de magnetita e considerável aumento dos cristais de pirita, caracterizando a sulfetação na zona proximal.

Zona	Met. Reg.	Distal	Intermed.	Proximal
Silicatos				
Quartzo				
Albita				
Actinolita				
Epidoto				
Clorita				
Titanita				
Biotita				
Turmalina				
Sericita				
Carbonatos				
Óxidos				
Ilmenita				
Magnetita				
Rutilo				
Sulfetos				
Pirita				
Pirrotita				
Calcopirita				
Ouro				

Figura 5.5: Esquema representativo da assembléia mineral das rochas metabásicas da zona do metamorfismo regional até a zona proximal da mineralização na região da Mina do Mamão, *greenstone belt* Andorinhas. Formas sem preenchimento indicam que o mineral pode ou não ocorrer.

5.2 GEOQUÍMICA

As dosagens dos elementos maiores, menores e traços para as 50 amostras selecionadas em campo foram efetuadas no laboratório *Acme Analytical Laboratories LTD* (Vancouver, Canadá). As dosagens dos óxidos maiores e alguns elementos menores foram determinadas utilizando o *ICP-Emission Spectrometry* (ICP-ES). Os elementos terras raras, V, Co, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Th, U, Sn, Ta, W, Be, Cs e Hf foram

determinados por ICP-Mass Spectrometry (ICP-MS). Para detecção de metais preciosos e metais base (As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Au, Hg, Tl, Bi, Ni, Cu, Zn, Pb) foi utilizado o ICP-Mass Spectrometry (ICP-MS).

Foram analisadas 50 amostras de metabasaltos nos furos de sondagem, que compreendem desde as zonas de metamorfismo regional, mais preservadas da alteração hidrotermal, até as amostras com variados graus de alteração hidrotermal das três zonas definidas nesta pesquisa: distal, intermediária e proximal à mineralização (Figura 5.2). Além disso, foram analisadas quatro amostras de metagabro, duas de metandesito e uma amostra do dique de diabásio. Como já apontado anteriormente, uma amostra de metabasalto com textura ígnea preservada (Prancha 2, tópico 5.1.1), fora do domínio da área mineralizada, foi analisada para fins comparativos. Esta última está localizada no segmento NE-SW do *greenstone belt* Identidade próximo à cidade de Rio Maria (Figura 5.1). Os resultados das análises se encontram no Anexo B. Neste item serão apresentados e discutidos os resultados dessas análises levando em consideração inicialmente a classificação química dos diferentes litotipos. Em seguida, as análises das rochas metamáficas hospedeiras da mineralização serão tratadas no sentido de compreender a mobilidade dos álcalis no sistema hidrotermal mineralizante da área e testar a hipótese de que essa mobilidade possa ser utilizada como critério prospectivo na identificação de zonas mineralizadas (Kerrick, 1983; Xu (1999); Eilu, *et al*, 2001; Eilu & Groves, 2001; Heath e Campbell 2004). Os depósitos de ouro tipo *lode* arqueanos são derivados de fluxo de grandes volumes de soluções hidrotermais com precipitação de ouro em condutos estruturalmente controlados, e informações desses halos de alteração laterais a esses condutos podem prover conhecimentos importantes a respeito das condições de precipitação do metal (Kerrick, 1983; Kishida & Kerrich, 1987) e conseqüentemente fornecer subsídios para a prospecção.

5.2.1 Classificação Química

Com base na descrição petrográfica foram selecionadas 11 amostras de rochas metamáficas com menor grau de alteração hidrotermal para classificação química no diagrama de elementos maiores TAS - Álcalis Total *versus* SiO₂ (Figura 5.6). Este diagrama não é indicado para utilização em rochas alteradas ou metamórficas, pois os álcalis são susceptíveis de remobilização por esses eventos (Rollinson, 1993). Porém, optou-se em analisar apenas as

amostras com menor evidência de alteração hidrotermal ao longo dos furos e utilizá-las para uma classificação preliminar dos diferentes litotipos. Os valores das análises químicas nesse diagrama estão recalculados para a base anidra.

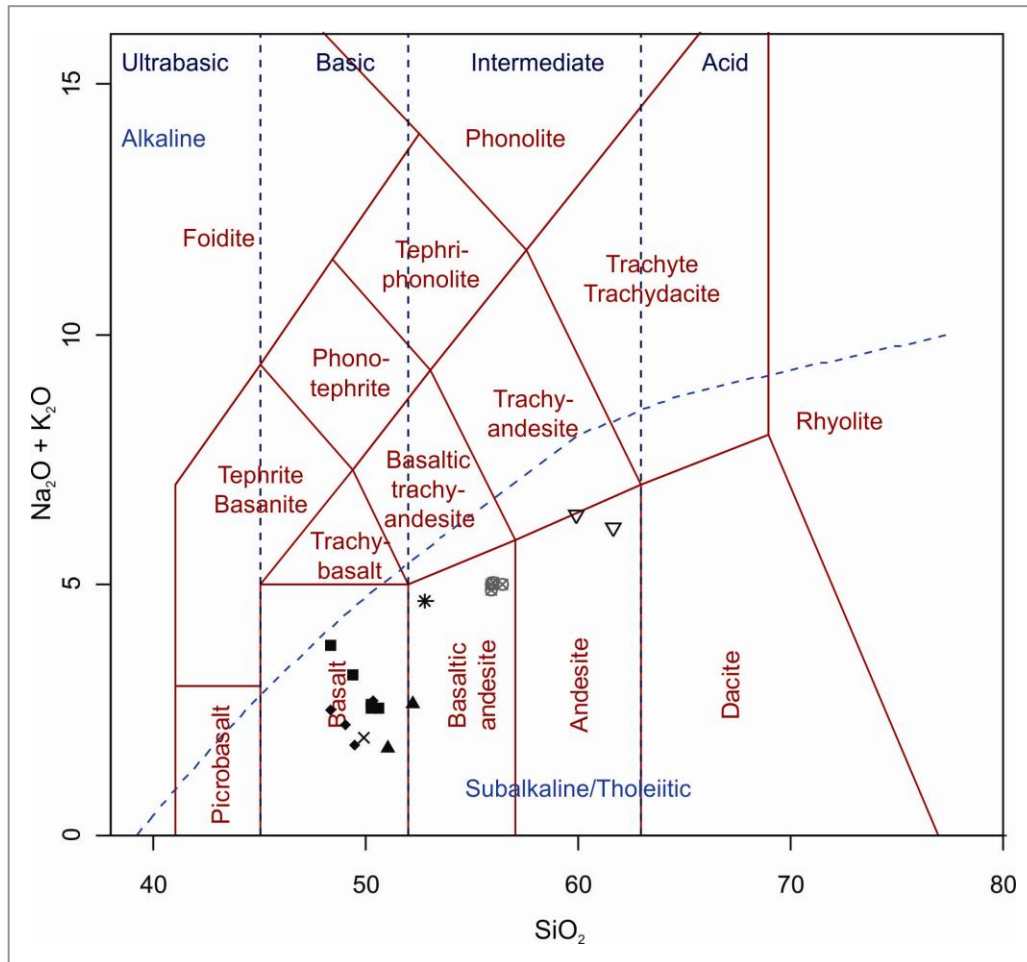


Figura 5.6: Diagrama Álcalis Total versus SiO_2 (Le Bas *et al.*, 1986). Classificação química dos litotipos observados nos furos de sondagem estudados. (X) amostra de metabasalto fora da zona mineralizada; (■) metabasalto distal do furo MMD049; (▲) metabasalto distal do furo MMD001; (◆) metabasalto distal do furo BBD014; (▽) metandesitos; (*) dique de diabásio; e (⊠) metagabros.

Todas as amostras estão no campo da série subalcalina/oleítica. A amostra do dique de diabásio está plotada no campo dos basaltos andesíticos, com valores dos álcalis, Na_2O e K_2O 2,76% e 1,85%, respectivamente. Os metagabros também estão distribuídos no campo do basalto andesítico, mas apresentam SiO_2 entre 54,09 e 55,64% , Na_2O em torno de 3,1% e K_2O em torno de 1,8%. Duas amostras de diques situam-se no campo dos andesitos, com teores de SiO_2 entre 57,92% e 60,40%, Na_2O entre 5,70% e 5,89% e K_2O entre 0,13% e 0,48%. As rochas máficas encaixantes da mineralização estão distribuídas no campo das rochas basálticas, apresentando SiO_2 entre 42,84% e 51,44%, Na_2O entre 1,44% e 3,27% e K_2O entre 0,07% e 1,11%, sendo uma

amostra localizada no limite entre os campos basalto e andesito basáltico. A proporção dos outros elementos maiores nas 11 amostras do metabasalto varia de 12,42% a 14,37% para o Al_2O_3 , de 12,20% a 16,30% para o $\text{Fe}_2\text{O}_3^{(\text{T})}$, de 4,55% a 6,84% para o MgO exibindo pouca variação, de 7,30% a 12,20% para o CaO, de 0,16% a 0,24% para o MnO e de 1,19% a 2,21% para o TiO_2 apresentando elevados valores. A amostra de metabasalto retirada fora da zona mineralizada (Figura 5.1) apresenta proporção de SiO_2 de 48,98%, Na_2O de 1,8%, K_2O de 0,12%, Al_2O_3 de 15,73%, $\text{Fe}_2\text{O}_3^{(\text{T})}$ de 10,66%, MgO de 5,69%, CaO de 14,09%, MnO de 0,2% e TiO_2 de 0,76%.

As amostras das rochas metamáficas encaixantes dos corpos mineralizados foram plotadas em diagramas ternários para classificação de rochas vulcânicas (Figura 5.7). No diagrama ternário AFM ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$; FeO^{T} e MgO) de Irvine e Baragar (1971) para rochas vulcânicas máficas e ultramáficas, as amostras se agrupam no campo da série toleítica e mostram um *trend* de enriquecimento em ferro. No diagrama ternário catiônico (Al; Fe^{T} + Ti; Mg) proposto por Jensen (1976), as amostras de metabasaltos estão todas distribuídas no campo dos basaltos toleíticos de alto ferro, mostrando um *trend* de enriquecimento em ferro. A amostra de metabasalto localizada fora da zona mineralizada se encontra no limite entre os campos cálcio-alcálico – toleítao alto ferro – toleítao alto magnésio devido à maior proporção de Al_2O_3 , e menores proporções de FeO^{T} e TiO_2 nesta rocha. Cabe ressaltar que, por utilizar cátions de elementos maiores mais estáveis em eventos metamórficos de baixo grau, este esquema de classificação proposto por Jensen (1979), com limites bem definidos para as séries toleíticas, pode ser utilizado com sucesso para rochas metavulcânicas Arqueanas (Rollingson, 1993).

As análises das amostras mais preservadas do metamorfismo e alteração hidrotermal foram plotadas em gráficos de elementos terras raras normalizados ao condrito C1 de Boynton (1984) para visualização das assinaturas geoquímicas dos diferentes litotipos estudados (Figura 5.8). De maneira geral, as análises se agruparam em dois conjuntos de padrões distintos. As amostras de metabasaltos apresentam distribuição de Elementos Terras Raras (ETR) predominantemente plana com a média de $\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N} \approx 1.20$ e com abundância dos valores entre 7 e 35 x C1. Apresentam leve anomalia negativa de Eu (Eu/Eu^* variando de 0.81 a 0.97, com média de 0.89) e a amostra de metabasalto fora da zona mineralizada apresenta $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.06$. Os padrões são aproximadamente paralelos e verifica-se uma tendência das amostras mais evoluídas apresentarem maiores concentrações de ETR (Figura 5.8.A). Por outro lado, as amostras dos diques máficos, metandesitos e metagabros (Figura 5.8.B) apresentam padrões distintos dos metabasaltos, marcados por enriquecimento pronunciado de ETR leves com $\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}$ entre 3.24 e 3.70, e $\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$ entre 8.53 e 10.11, alcançando valores superiores a 100 x C1 para o La_N . Os

padrões de ETR pesados são relativamente planos. Destaca-se leve anomalia negativa de Eu para o dique de diabásio ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.82$) e para os metandesitos ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.83$ e 0.87).

Os padrões de ETR planos obtidos para os metabasaltos são típicos de MORBs transicionais (T-MORBs), enquanto os padrões das demais amostras, com valores mais elevados de La_N/Sm_N , indicam fontes mantélicas mais enriquecidas (Wilson 1989, Saunders *et. al* 1995).

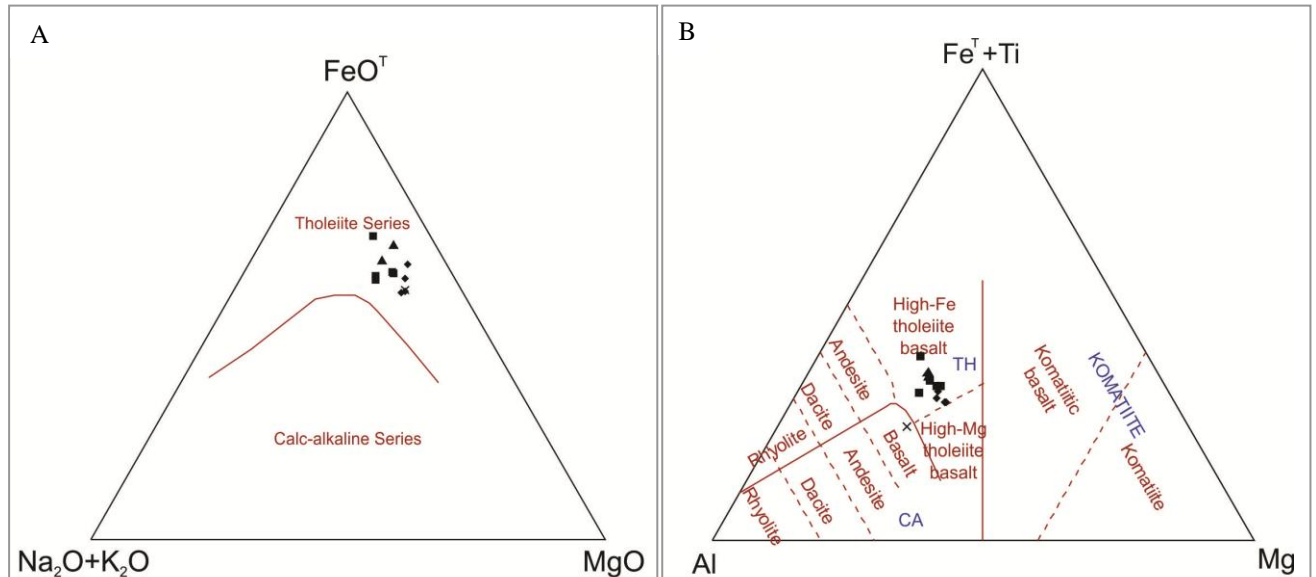


Figura 5.7: Diagramas ternários para classificação das rochas metavulcânicas da região de estudo. A: AFM (Irvine & Baragar, 1971) e B: Diagrama catiônico de Jensen (Jensen, 1976). (×) metabasalto fora da zona mineralizada, (■) metabasalto distal do furo MMD049, (▲) metabasalto distal furo MMD001, (◆) metabasalto distal do furo BBD014. No diagrama, TH = Toleiito; CA = Cálcio-Alcalino.

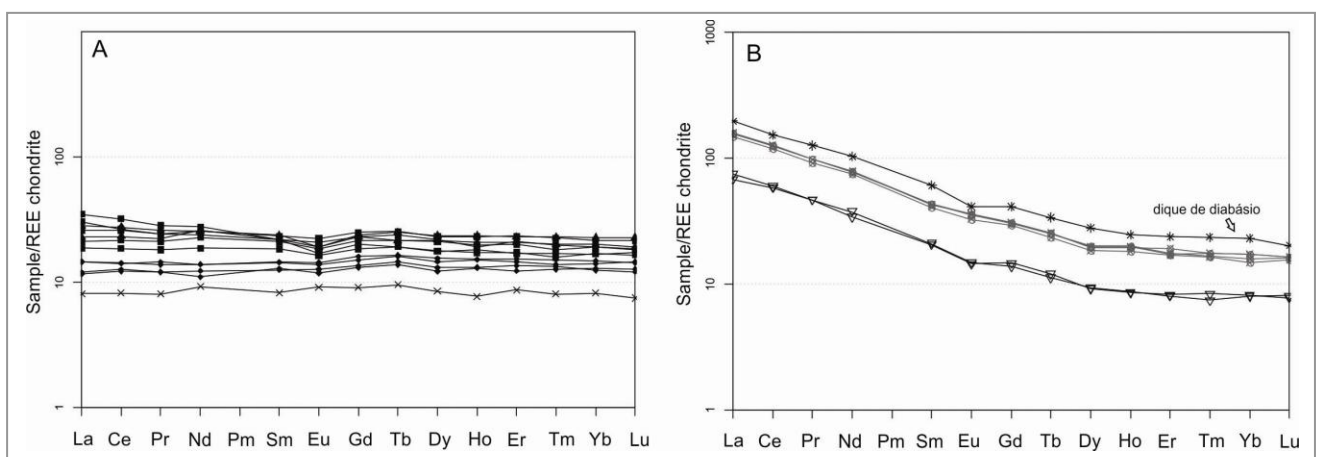


Figura 5.8: Padrões de Elementos terras raras (ETR) normalizados ao condrito C1 de Boynton, (1984) para os diferentes litotipos estudados. (A): (×) amostra localizada fora da zona mineralizada; (■) metabasalto distal do furo MMD049; (▲) metabasalto distal do furo MMD001; e (◆) metabasalto distal do furo BBD014. (B): (▽) metandesitos; (*) dique de diabásio; e (⊗) metagabros.

5.2.2 Mobilidade dos Álcalis

Algumas transformações metamórficas podem ser consideradas isoquímicas, mas comumente existe uma mudança na composição química da rocha. Ela é principalmente controlada pelo movimento dos fluidos, pelas condições termais durante o metamorfismo e pela razão fluido/rocha (Rollinson, 1993). Em depósitos orogênicos, a razão fluido/rocha é normalmente elevada e a alteração hidrotermal na rocha encaixante envolve a adição de quantidades significativas de CO₂, S, K, H₂O, SiO₂, Na e LILE (*large ion lithophile elements*) (Groves *et al.*, 1998). Razões que expressam mobilidade de elementos maiores vêm sendo utilizadas por pesquisadores com o objetivo de identificar e caracterizar halos de alteração hidrotermal e zonas potencialmente mineralizadas em depósitos hidrotermais, como por exemplo, CO₂/(Fe+Mg+Ca); CO₂/Ca como indicadores de carbonatação; e (3K+Na)/Al, 3K/Al e Na/Al como índices de sericitização e albitização (Kishida & Kerrich, 1987; Eilu *et al.* 1995; Eilu & Groves, 2001; Eilu *et al.* 2001).

O enriquecimento em álcalis nas rochas encaixantes de mineralizações de ouro vem sendo descrito em muitos cinturões orogênicos e, normalmente, estes halos de enriquecimento em álcalis são bem mais desenvolvidos que o envelope de alteração hidrotermal visível, amplificando assim a dimensão dos alvos para exploração mineral (Kerrich, 1983).

Os elementos traços podem ser classificados como imóveis ou móveis em presença de fluidos hidrotermais. Os elementos imóveis incluem os HFSE (*high field strenght elements*) e os Elementos Terras Raras (ETR), enquanto os LILES (*large ion lithophile elements*), como Cs, Rb, Na e K, e os elementos Pb, Ba e Sr são extremamente solúveis na presença de fluidos (Heath & Campbell, 2004).

O enriquecimento em álcalis nas zonas hidrotermalizadas resulta da quebra do feldspato e perda de K e outros LILEs, tais como Cs e Rb. Minerais secundários como micas e argilas tornam-se enriquecidos nestes elementos à medida que fluidos hidrotermais migram para as porções distais dos veios mineralizados. Assim, a distribuição dos álcalis nas zonas mineralizadas pode registrar o caminho dos fluidos em torno dos veios mineralizados. O enriquecimento de álcalis nas zonas mais distais da mineralização pode aumentar a dimensão do alvo de exploração e, se a concentração aumenta em direção aos corpos mineralizados, fornece um vetor importante de exploração para mineralizações auríferas associadas a sistemas tipo *lode* (Heath & Campbell, 2004).

Os elementos Cs e Rb podem ser indicadores mais sensíveis do fluxo de fluidos que o K, pois segundo Melzer (1999), esses elementos podem substituir preferencialmente o K em

minerais hidratados como as micas, levando ao fracionamento significativo dos LILE entre o fluido e a rocha.

Portanto, a análise geoquímica apresentada neste trabalho será focada no estudo da distribuição dos álcalis dentro da zona mineralizada com o intuito de testar uma técnica de exploração proposta por Heath & Campbell (2004), que demonstra a possibilidade de mapear zonas de alteração hidrotermal relacionadas com mineralizações de ouro além da alteração potássica visível, utilizando para isso a mobilidade de álcalis expressa na razão dos elementos traços móveis Cs e Rb e o elemento-traço Th considerado imóvel.

5.2.2.1 Análise dos Elementos-Traço

A avaliação da mobilidade química em rochas alteradas requer uma estimativa de sua concentração antes do processo de alteração. No caso de rochas ígneas, esta avaliação pode ser efetuada com o auxílio de diagramas de variação normalizados para o manto primitivo. Na figura 5.9 estão representados os diagramas multi-elementos normalizados ao manto primitivo de Sun & McDonough (1989) para os metabasaltos da área estudada, onde os elementos-traço são distribuídos no diagrama, da esquerda para a direita, no sentido de aumento da incompatibilidade.

Nos três furos, foram escolhidas seis amostras de metabasaltos das porções distais da mineralização apresentando menor deformação e alteração, podendo exibir texturas ígneas preservadas, bem como a amostra coletada fora da zona mineralizada, totalizando sete amostras para uma estimativa da concentração dos elementos-traço da rocha encaixante, antes das modificações pela alteração hidrotermal (Figura 5.9 A). Para comparação, foram plotadas todas as amostras dos furos que interceptam o corpo sub-econômico Luiza (0.5 ppm de Au) (Figura 5.9B) e os corpos econômicos Melechete (25 ppm de Au) e M2 (>100 ppm de Au) (Figuras 5.9C e D respectivamente.). Desta forma, foram selecionadas amostras alteradas (símbolos abertos na Figura 5.8), assim como menos alteradas (símbolos fechados na Figura 5.9), totalizando 10 amostras do furo subeconômico BBD014, 15 amostras do furo MMD001 e 24 amostras do furo MMD049 para o entendimento e avaliação da mobilidade dos álcalis nas zonas mineralizadas estudadas.

Na figura 5.9A, onde estão representadas as amostras melhor preservadas da alteração, as relações entre os elementos móveis e imóveis das análises apresentam padrões de variação relativamente aplainados e paralelos, preservando os valores de composição da rocha original. Esse padrão da maioria dos elementos mostrando pouca variação entre amostras indica que eles

são relativamente imóveis. Estas amostras são sistematicamente empobrecidas em Rb e Ba, quando comparado com o elemento imóvel Th, sugerindo perda de álcalis nas regiões mais distais durante o processo de alteração hidrotermal. Nota-se neste diagrama empobrecimento em K e pequeno enriquecimento em Cs em comparação ao Th.

No furo que intercepta o corpo sub-econômico Luiza (Figura 5.9B), os valores de Th permanecem constantes. Observa-se enriquecimento em Cs relativo ao Th e, também uma tendência de enriquecimento em Rb e Ba em todas as amostras analisadas. O Rb exibe grande variação sendo a maioria das amostras enriquecidas. As concentrações de K também aumentam significativamente nas amostras mais alteradas.

O padrão de distribuição de elementos-traço obtido para as amostras do depósito econômico Melechete (Figura 5.9C), é mais enriquecido em Cs, mas ainda preservam os valores constantes para Th. De maneira geral, observa-se uma tendência de enriquecimento de Cs, Rb e Ba, neste corpo mineralizado. O comportamento do K é também de enriquecimento.

A figura 5.9D, apresenta os dados das amostras do furo que contém o corpo de minério (M2), com valores de Cs sempre enriquecidos, e valores de Rb e Ba variando de enriquecido a empobrecido, em relação ao Th, dependendo da distância da zona mineralizada e conseqüentemente do grau de alteração hidrotermal. Os valores de Th permanecem aproximadamente constantes para a maioria das análises, porém em três amostras afetadas pela alteração hidrotermal nota-se pequena mobilidade.

Comparando os quatro diagramas, nota-se maior dispersão dos LILEs (Cs, Rb e K) nos corpos econômicos e no sub-econômico do que nas amostras melhor preservadas. Esses *trends* de dispersão em diagramas de variação são indicadores úteis da mobilidade de elementos (Rollingson, 1993). Percebe-se ainda nesses diagramas que existe uma tendência clara de enriquecimento desses álcalis (Cs, Rb, K e Ba) indicando que o grau das mudanças químicas aumenta com a proximidade das zonas mineralizadas, confirmando o que foi observado pelas mudanças texturais e mineralógicas do estudo petrográfico. Também se observa empobrecimento de álcalis (Rb e Ba) relativamente ao Th nas amostras mais preservadas da alteração.

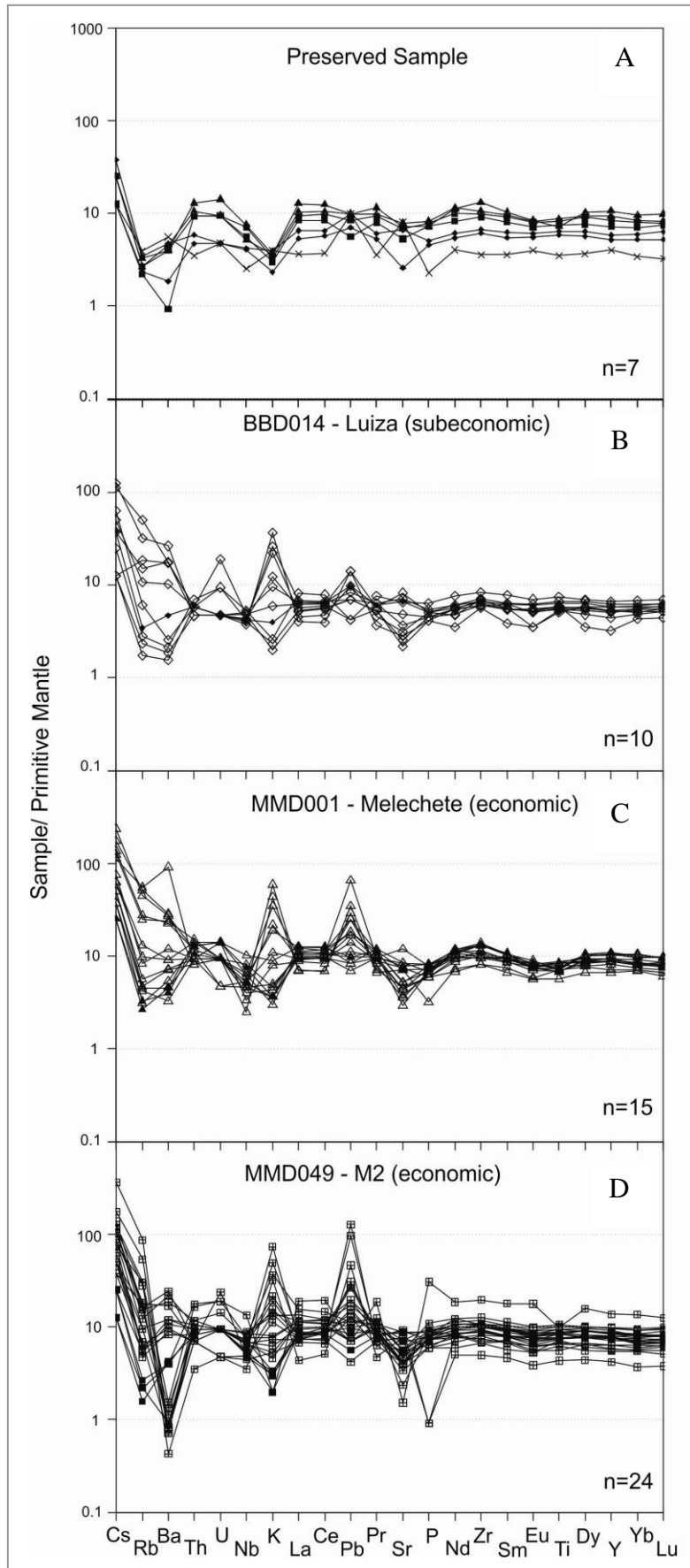


Figura 5.9: Diagrama de elementos traço normalizados ao manto primitivo de Sun & McDonough (1989) para as amostras dos metabasaltos do *greenstone belt* Andorinhas. Símbolos fechados representam amostras menos alteradas e símbolos abertos amostras mais afetadas pela alteração hidrotermal.

(A): Amostras preservadas da alteração hidrotermal nos furos estudados, (♦) metabasalto furo BBD014; (▲) metabasalto furo MMD001; (■) metabasalto furo MMD049; e (×) amostra localizada fora da zona mineralizada; (B): Amostras do furo BBD014 que intercepta o corpo sub-econômico Luiza; (C): Amostras do furo MMD001 que intercepta o corpo econômico Melechete; (D): Amostras do furo MMD049 que intercepta o corpo de minério M2.

5.2.2.2 Definição do índice de alteração hidrotermal

Ao observar as análises dos elementos, notam-se os baixos valores de Rb das amostras mais preservadas e, nas amostras mais alteradas, a tendência do Cs e Rb a serem mais móveis. A relação $((Cs+Rb)/Th)_N$, onde $_N$ indica valores normalizados ao manto primitivo de Sun & McDonough (1989), expressa o índice de alteração hidrotermal que mostra o estilo da dispersão desses elementos, com a vantagem de o denominador ser um elemento que tende a ser imóvel nas zonas de alteração associadas com a mineralização aurífera. A razão $((Cs+Rb)/Th)_N$ reflete, portanto apenas as mudanças na intensidade da alteração dos álcalis durante os processos hidrotermais que afetaram esses metabasaltos.

O índice de alteração hidrotermal $((Cs+Rb)/Th)_N$ não é um valor fixo, de modo que pode variar de depósito para depósito. Heath & Campbell (2004) definiram um valor empírico para o índice de alteração como >5 para as rochas enriquecidas em álcalis no cráton Arqueano Yilgarn (Austrália). Para definição do índice de alteração hidrotermal na área de estudo, foram utilizadas as 7 amostras melhor preservadas analisadas no tópico anterior. Utilizando a razão de álcalis $((Cs+Rb)/Th)$ normalizados para o manto primitivo (Sun & McDonough, 1989), esses dados foram analisados com base em histogramas (Figura 5.10). Todas as amostras preservadas apresentam valores ≤ 2 (Figura 5.10D), e partindo dessa informação foi possível definir o índice de alteração para o *greenstone belt* Andorinhas como 2, valor definido para diferenciar amostras enriquecidas das empobrecidas em álcalis.

Amostras que apresentam valores da razão ≤ 2 são consideradas empobrecidas e com valores >2 , enriquecidas. A Figura 5.10A mostra as amostras do furo que intercepta o corpo M2 na Mina do Mamão, sendo a maioria de suas amostras com valores da razão $((Cs+Rb)/Th)_N$ maiores que dois. No furo que intercepta o corpo Melechete e o que seria a possível continuação do corpo M2 nesse furo, os valores variam de < 2 a >2 , dependendo da proximidade com a mineralização (Figura 5.10B). A figura 5.10C, apresenta os valores da razão de álcalis $((Cs+Rb)/Th)_N$ para o corpo sub-econômico Luiza e mostra valores da razão variando de < 2 a > 2 .

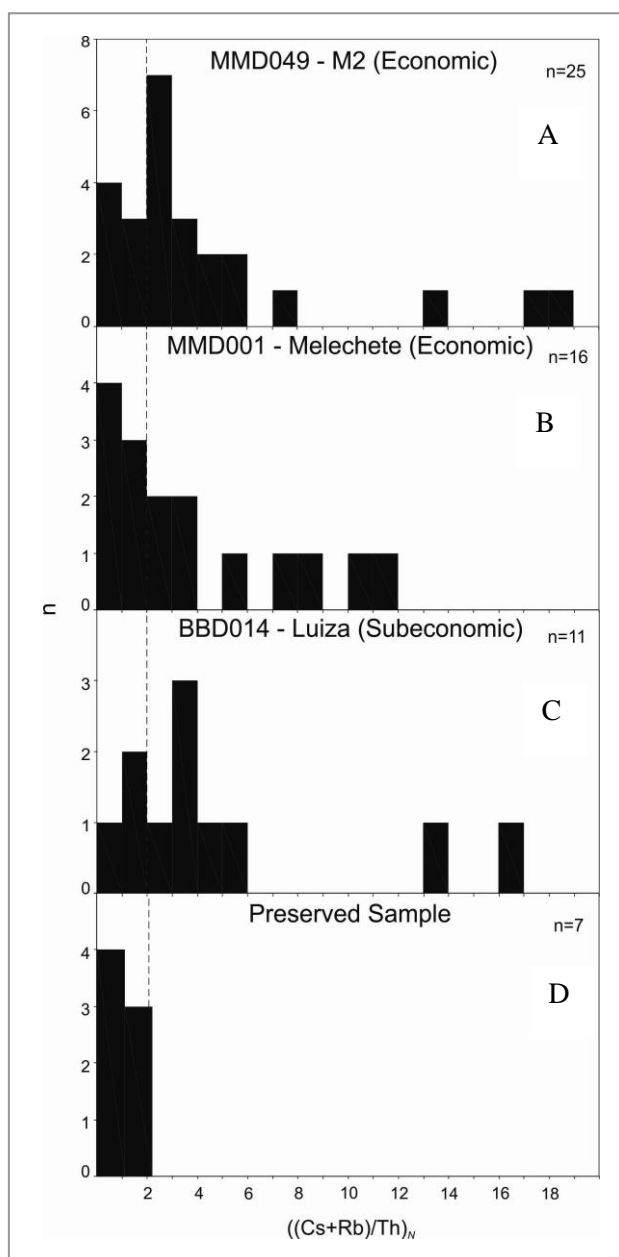


Figura 5.10: Histograma da razão $((Cs+Rb)/Th)_N$ para as amostras dos três furos de sondagem e amostra fora da zona mineralizada. (A): furo de sondagem MMD049 intercepta o corpo M2; (B): furo de sondagem MMD001, que intercepta o corpo Melechete; (C): furo de sondagem BBD014 que intercepta o corpo sub-econômico Luiza; (D): amostras melhor preservada dos três furos de sondagem e uma amostra fora da zona mineralizada. Linha tracejada marca razão $((Cs+Rb)/Th)_N = 2$.

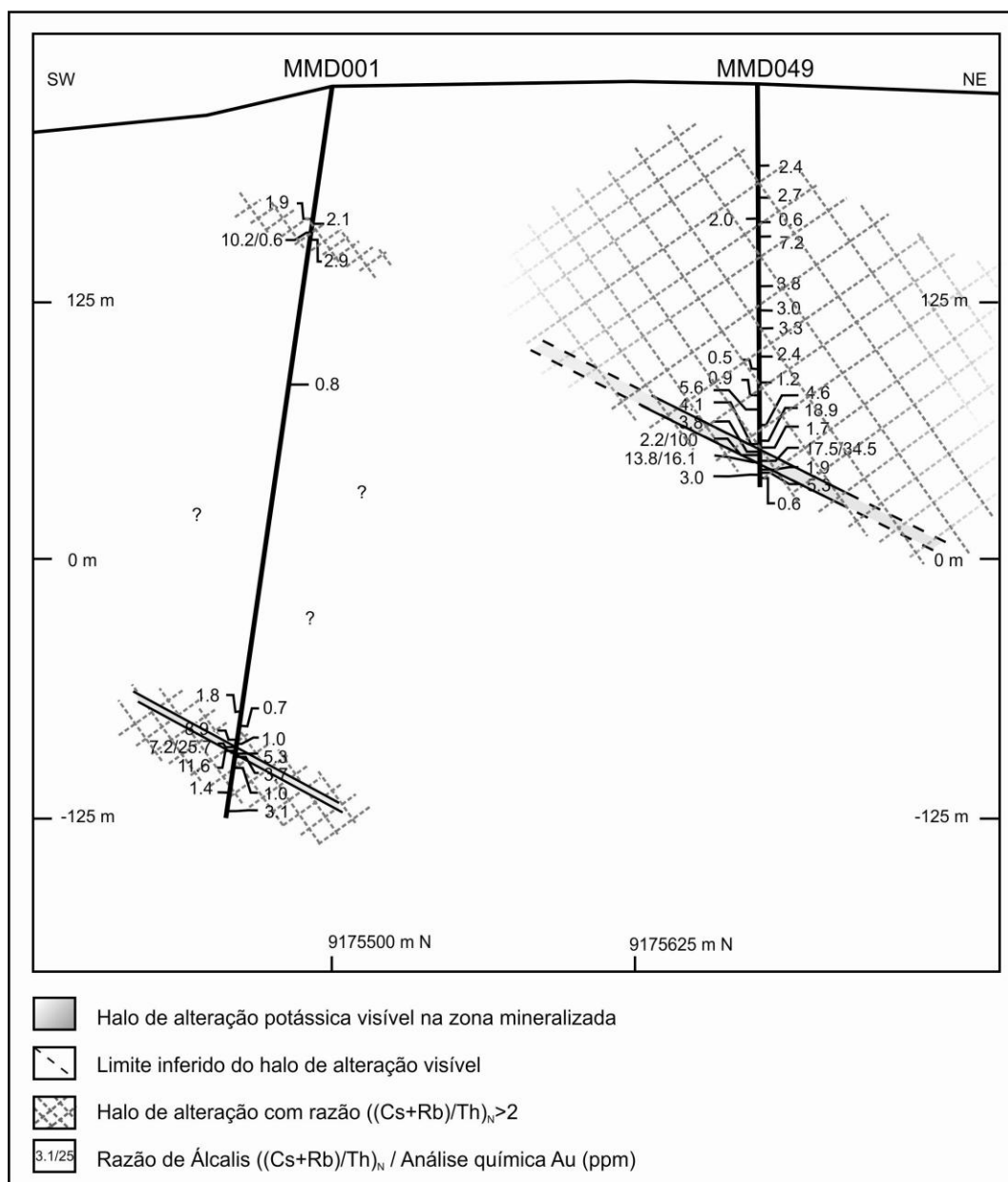
5.2.2.3 Mapeamento das zonas enriquecidas em álcalis utilizando o índice de alteração $((Cs+Rb)/Th)_N$

Observando as seções dos furos MMD049, MMD001 (Figura 5.11) e BBD014 (Figura 5.12), nota-se que os valores das razões de álcalis aumentam com a proximidade da mineralização de ouro, sendo possível mapear por esse meio a passagem de fluidos hidrotermais nesses furos. Para o *greenstone belt* Andorinhas o halo de alteração potássica visível (zona proximal) varia de 1 metro a cinco metros englobando o *lode*, como percebido nos furos de sondagem descritos (Figura 5.2). Já o halo de alteração de enriquecimento em álcalis não é restrito apenas à zona principal de mineralização, podendo ser útil ferramenta na exploração.

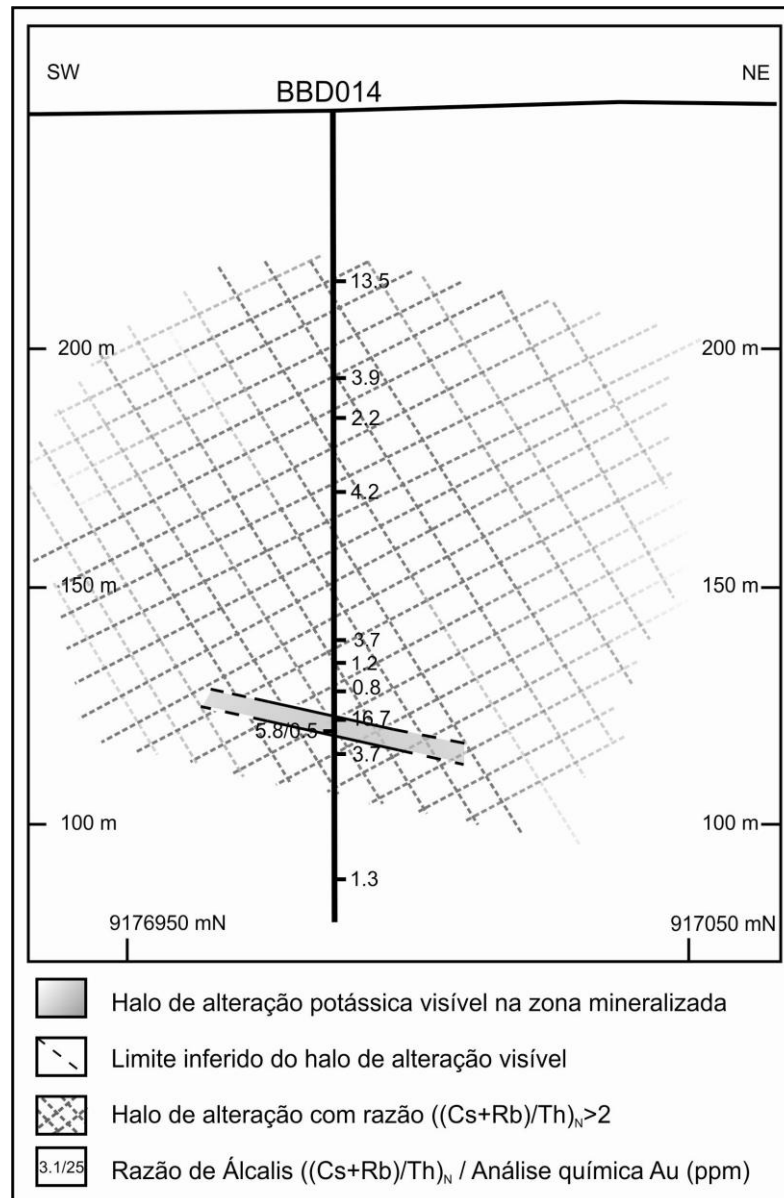
O furo MMD049 mostra forte enriquecimento na razão de álcalis $((Cs+Rb)/Th)_N$ por volta de 40 metros em torno do veio mineralizado. Se considerarmos os valores das razões >2 em todo o furo, com exceção de amostras de metabasaltos mais preservados ou com pouca influência da alteração hidrotermal, pode-se considerar que o enriquecimento em álcalis se estende por aproximadamente 150 metros, mostrando clara evidência de um halo de alteração associado à mineralização de ouro. O furo MMD001 apresenta halo de potassificação visível em torno do veio mineralizado de 3 metros e halo de enriquecimento em álcalis $((Cs+Rb)/Th)_N$ de aproximadamente 40 metros próximo da zona mineralizada, apresentando clara evidência de enriquecimento em álcalis associado com a mineralização. Na parte superior do furo, onde seria a possível continuação do corpo mineralizado M2 neste furo, há também valores de enriquecimento em álcalis $((Cs+Rb)/Th)_N$. Não foram coletadas amostras entre essas, apenas uma amostra de metabasalto bem preservada. Para o furo BBD014, notam-se altos valores para a razão de álcalis próximo ao veio mineralizado. Ao longo do furo há valores de razão de álcalis enriquecido (>2) apontando para passagem de fluidos, mas sem mineralização. Os valores nesse furo mostram um halo de alteração em álcalis $((Cs+Rb)/Th)_N$ de 110 metros aproximadamente. A amostra enriquecida na parte superior do testemunho corresponde a uma faixa com intensa alteração hidrotermal e há presença de clorita, biotita e turmalina. Apesar de ter alta razão, não apresentou valores de ouro nas análises químicas realizadas para este trabalho. Entretanto análise química do banco de dados da empresa Reinarda Mineração Ltd. mostra valor de 1.3 ppm de ouro para esta estreita faixa.

Algumas amostras se mostram empobrecidas $((Cs+Rb)/Th)_N <2$, o que se deve à competência do metabasalto nessas regiões ao longo dos testemunhos, que não foram afetados pela alteração. Já duas amostras empobrecidas (valores da razão 0.1) no furo MMD001 próximas a mineralização estão localizadas em uma faixa com intensa carbonatação (zona intermediária), podendo as venulações carbonáticas milimétricas presentes nas amostras ser responsáveis pelos baixos valores da razão de álcalis nesses intervalos. O mesmo ocorre com duas amostras no furo MMD049 (valores 1.9 e 1.7) nas mesmas condições.

Esse conjunto de informações confirma a hipótese de que a mobilidade dos álcalis possa ser utilizada como ferramenta para monitorar os fluidos associados a sistemas hidrotermais auríferos e como vetor geoquímico de exploração para mineralizações de ouro tipo lode no *greenstone belt* Andorinhas.



Figuras 5.11: Seção esquemática N40E, mostrando a localização das amostras de metabasaltos analisadas nos furos MMD001 e MMD049 e seus respectivos valores do índice de alteração expressado pela razão $((Cs+Rb)/Th)_N$. Os valores da razão $((Cs+Rb)/Th)_N$ aumentam com a proximidade da mineralização. Área cinza mostra a espessura aproximada do halo de alteração potássica visível (zona proximal) englobando o veio mineralizado. Área hachurada indicando o halo de alteração com enriquecimento em álcalis $((Cs+Rb)/Th)_N > 2$.



Figuras 5.12: Seção esquemática N40E, mostrando a localização das amostras de metabasaltos analisadas no furo BBD014 e seus respectivos valores do índice de alteração expressado pela razão $((Cs+Rb)/Th)_N$. Os valores da razão $((Cs+Rb)/Th)_N$ aumentam com a proximidade da mineralização. Área cinza mostra a espessura aproximada do halo de alteração potássica visível (zona proximal) englobando o veio mineralizado. Área hachurada indicando o halo de alteração com enriquecimento em álcalis $((Cs+Rb)/Th)_N > 2$.

5.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHA

A aquisição de propriedades físicas em furos de sondagem vem sendo cada vez mais comum em empresas de mineração e serviços geológicos de diversos países. Essas informações contribuem para uma melhor interpretação dos dados aerogeofísicos (Clark, 1997) e auxiliam na prospecção mineral quando se consegue identificar minerais e/ou minérios que possuam

características físicas e/ou químicas que possam ser diferenciadas, podendo indicar zonas potenciais mineralizadas.

As propriedades físicas coletadas nos testemunhos estudados foram susceptibilidade magnética, condutividade elétrica e os radioelementos K, eTh e eU. Para a aquisição dos dados de susceptibilidade magnética e condutividade elétrica, foi utilizado o equipamento MPP-EM2S+ (*Multi Parameter Probe*) desenvolvido pela *INSTRUMENTATION GDD INC.* (Figura 3.1A), que consiste em uma sonda com forma de pistola ligada a uma unidade de leitura (PDA) e possibilita a determinação da susceptibilidade magnética ($\times 10^{-3}$ SI) e valores de condutividade relativa e absoluta (mhos/m) em amostras. Os parâmetros do equipamento são indicam uma taxa de amostragem de 10 vezes por segundo e uma taxa apresentada a cada 0,5 segundo.

Não se obteve sucesso na coleta dos dados de condutividade. Apesar da presença de pirrotita nas zonas intermediária e em menor quantidade na zona proximal, esta se encontra disseminada. A pirita, apesar de abundante, não mostra uma assinatura como esperado. Provavelmente, porque o ouro não ocorre da estrutura da pirita e sim na forma livre. Por conta disso, associado ao fato de que, talvez, o instrumento seja mais sensível à condutividade iônica e não metálica, as amostras não apresentaram valores dessa propriedade física impossibilitando seu uso neste trabalho.

Para a coleta dos radioelementos K, eTh e eU foi utilizado o gamaespectrômetro portátil de 256 canais GR-320, *SAIC Exploranium* (Figura 3.1B), que consiste de um espectrômetro e um canhão com um cristal de iodeto de sódio ativado a tálio para medições. O equipamento permite medidas da radiação gama tanto em % de K e ppm de eU e eTh como em cintilações por segundo (cps).

As medidas de susceptibilidade foram realizadas de 1m em 1m, deixando, a cada leitura, o susceptibilímetro exposto ao ar por 5 segundos para diminuir o erro de leitura e o equipamento programado para reiniciar a cada 60 segundos. Todos os intervalos dos testemunhos amostrados foram serrados ao meio para que a medida fosse tirada com o aparelho em maior contato possível com a superfície da rocha.

A variação dos radioelementos K, eTh e eU nos furos de sondagem foi amostrada de 5 m em 5 metros ao longo dos testemunho de sondagem dos furos MMD049 e MMD001 e de 10 m em 10 metros do subeconômico, adensando a amostragem ao longo da zona mineralizada para 1 metro em 1 metro.

Segundo IAEA (2003), o tempo de amostragem necessário para uma medição depende da radioatividade da fonte e da precisão necessária. Para Lovborg & Mose (1987), um tempo de amostragem de 2 minutos para rochas altamente radioativas e 6 minutos para rochas de baixa

radioatividade é considerado aceitável, de acordo com testes realizados para um detector de 350 cm³ de NaI(Tl) com uma precisão de 10%. Como a rocha encaixante da mineralização se trata de metabasaltos, com baixa resposta dos radioelementos, fez-se testes com 5 minutos e com 6 minutos. Não obtendo diferença nos resultados optou-se pelo tempo de amostragem de 5 minutos. As medidas foram coletadas ao ar livre para que se diminuísse a influência de radiação externa como, por exemplo, telhados de galpões, equipamentos, etc., em cima de uma caixa de madeira limpa, deixando o aparelho em contato com a amostra.

Foi realizado o tratamento desses dados e análise por meio de histogramas e perfis, com o objetivo principal de caracterizar a zona mineralizada. As análises, dos radioelementos K, eTh e eU, estão apresentadas em porcentagem para o K e ppm para Th e U. As tabelas com todas as medidas coletadas se encontra em anexo (Anexos C e D).

A susceptibilidade magnética nas rochas depende da quantidade, do tamanho dos grãos e do modo de distribuição dos minerais magnéticos. Apenas alguns minerais têm susceptibilidade magnética suficientemente elevada para produzirem anomalias detectáveis nos trabalhos de prospecção. São eles, a magnetita, a pirrotita (monoclínica), a ilmenita, franklinita e a maghemita e devido a sua abundância, os três primeiros são os que mais contribuem para a magnetização das rochas (Gouvêa & Silva, 1995).

As mineralizações de ouro do tipo *lode* no *greenstone belt* Andorinhas estão estruturalmente controladas, apresentando nas adjacências das zonas mineralizadas, halos de alteração hidrotermal (Huhn, 1992). Em processos de alteração hidrotermal a magnetita é comumente destruída, resultando na quebra do cristal, diminuição do seu tamanho e progressivo desaparecimento. Esses mesmos processos hidrotermais também afetam o conteúdo relativo dos radioelementos, particularmente o K. O decréscimo da magnetização e alterações na concentração de K são comumente relacionados com zonas hidrotermalmente alteradas (Airo, 2002; Dickson & Scott, 1997). Podendo ser indicativos da mineralização aurífera.

Quando a composição mineral e/ou a quantidade de minerais magnéticos de uma rocha são alterados nos processos de deformação, as propriedades magnéticas são também alteradas. A grosso modo, os efeitos da alteração podem ser previstos com base nas propriedades físicas de rocha quando são comparados com as propriedades de rochas semelhantes inalteradas (Airo, 2002).

Foi realizada a caracterização das zonas de alteração hidrotermal presentes nos furos estudados comparando a variação dos radioelementos e da susceptibilidade magnética nos intervalos descritos dos testemunhos de sondagem.

5.3.1 Caracterização das Zonas de Alteração Hidrotermal

Para a caracterização das zonas de alteração hidrotermal com base nas propriedades físicas de rocha considerou-se como zona distal os intervalos com o predomínio de cloritização, como zona intermediária o predomínio de carbonatação e como zona proximal o predomínio de potassificação. As rochas do metamorfismo regional compreendem os intervalos onde o metabasalto se encontra sem alteração ou com menor grau de alteração hidrotermal e servem de comparação para as zonas mais alteradas. A tabela 5.1 apresenta os valores estatísticos para o metabasalto, para as zonas de alteração hidrotermal e diques máficos (diques de diabásio). A apresentação dos dados desses diques foi relevante devido à resposta radiométrica do potássio. A figura 5.13 apresenta os histogramas com todas as medidas utilizadas para o cálculo da estatística para os metabasaltos nas zonas hidrotermais identificadas.

Tabela 5.1: Valores estatísticos das propriedades físicas para os metabasaltos no *greenstone belt* Andorinhas e dos diques máficos (diques de diabásio). No destaque a zona proximal da mineralização. Sendo, Met. Regional: Metamorfismo Regional; Zona Intermed.: Zona Intermediária; Mín.: valor mínimo; Máx.: valor máximo; Méd.: média aritmética; e D.P.: desvio padrão.

	K (%)				U (ppm)			
	Mín	Máx	Méd	D.P.	Mín	Máx	Méd	D.P.
Met. Regional	0.00	0.24	0.07	0.05	0.53	1.73	1.04	0.37
Zona Distal	0.00	0.29	0.11	0.06	0.13	2.93	1.38	0.61
Zona Intermed.	0.00	0.51	0.18	0.11	0.40	3.20	1.52	0.58
Zona Proximal	0.00	0.60	0.25	0.16	0.40	2.80	1.40	0.64
Dique máfico	0.45	0.68	0.54	0.11	0.80	1.87	1.40	0.46

	Th (ppm)				Susceptibilidade ($SI \cdot 10^{-3}$)			
	Mín	Máx	Méd	D.P.	Mín	Máx	Méd	D.P.
Met. Regional	2.67	4.00	3.24	0.36	0.00	171.00	13.02	25.37
Zona Distal	2.22	4.00	3.14	0.46	0.00	247.00	23.42	41.65
Zona Intermed.	2.44	4.67	3.13	0.50	0.00	381.00	23.10	43.31
Zona Proximal	2.00	4.00	3.04	0.44	0.00	3.30	1.51	0.63
Dique máfico	3.33	4.22	3.56	0.44	33.70	313.00	179.94	81.41

Os valores de variação dos radioelementos nos metabasaltos do metamorfismo regional para o *greenstone* Andorinhas são baixos. O K não apresenta muita variação na zona distal, permanecendo praticamente o mesmo nas regiões onde há o predomínio de cloritização. Na zona intermediária (carbonatação), há um aumento na resposta radiométrica do K, sendo que os valores um pouco mais elevados ocorrem à medida que se aproxima da mineralização. Na zona

proximal da mineralização, ocorre um aumento dos valores de K. Os valores próximos a zero se devem às regiões mais ricas em vênulas de quartzo na zona proximal a mineralização. O eU apresenta uma maior variação no comportamento dos seus valores nas zonas hidrotermalizadas. Já o eTh apresenta ligeira variação em seus valores mínimos no sentido da mineralização, permanecendo praticamente constante. A susceptibilidade magnética decresce na zona mineralizada. Nas zonas distal e intermediária há grande quantidade de baixos valores e também valores mais altos de susceptibilidade magnética ocasionando um alto desvio padrão para essas amostras. O mesmo ocorre com as medidas nos metabasaltos do metamorfismo regional. Na proximidade com a região mineralizada no corpo Melechete existe a evidência da desmagnetização gradual pelo sistema hidrotermal (ver Figura 6.1B).

Os valores de K para o dique máfico (tabela 5.1) são mais elevados em comparação ao metabasalto, mostrando anomalias de K onde se encontram esses diques (Figuras 5.14 e 6.1B). O mesmo ocorre com os valores de susceptibilidade magnética que são mais altos que nos metabasaltos das diferentes zonas de alteração. Esses valores se justificam pela presença de biotita nesses diques e cristais de magnetita observados em lâmina delgada polida.

Assim como os dados de geofísica aérea, os dados de gamaespectrometria terrestre podem ser analisados por meio de produtos geofísicos. Esses produtos podem ressaltar o enriquecimento em potássio e diminuição em tório, que, segundo Dickson & Scott (1997), são indicadores de possíveis halos de alteração hidrotermal.

Os produtos de relações entre os radioelementos apresentados são os mesmos que foram utilizados no capítulo de análise da geofísica aérea (Capítulo 4). São eles, a razão K/eTh que pode realçar o enriquecimento (ou empobrecimento) do K em relação ao eTh; o potássio anômalo (Pires, 1995) que expressa desvios (anomalias) nos valores medidos de K a partir de valores ideais calculados pelas relações entre o conteúdo de K e eTh; e o fator F (Efimov, 1978), que pode indicar o enriquecimento de K com a relação entre os conteúdos de K, eTh e eU. Os três produtos foram utilizados com o intuito de destacar a presença de alteração hidrotermal associada à mineralização aurífera nos furos estudados (Figura 5.14).

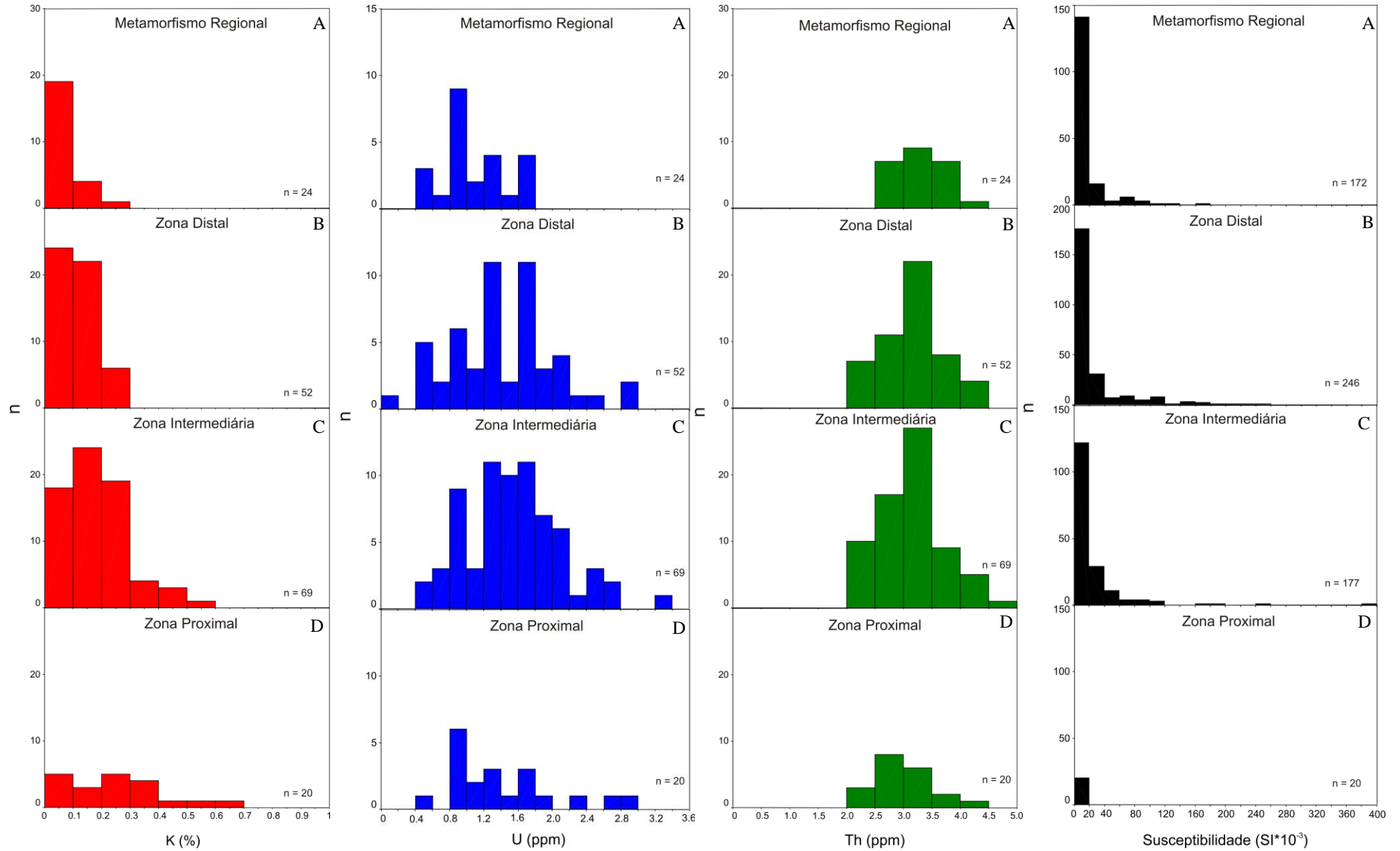


Figura 5.13: Histogramas dos dados de propriedades físicas coletados nos furos de sondagem em metabasaltos. Valores de K (%), eU (ppm), eTh (ppm) e susceptibilidade magnética (SI*10⁻³) em (A) zona de metamorfismo regional e menor grau de alteração hidrotermal; (B) zona distal (cloritização); (C) zona intermediária (carbonatação); e (D) zona proximal da mineralização (potassificação). Sendo, n: o número de amostras.

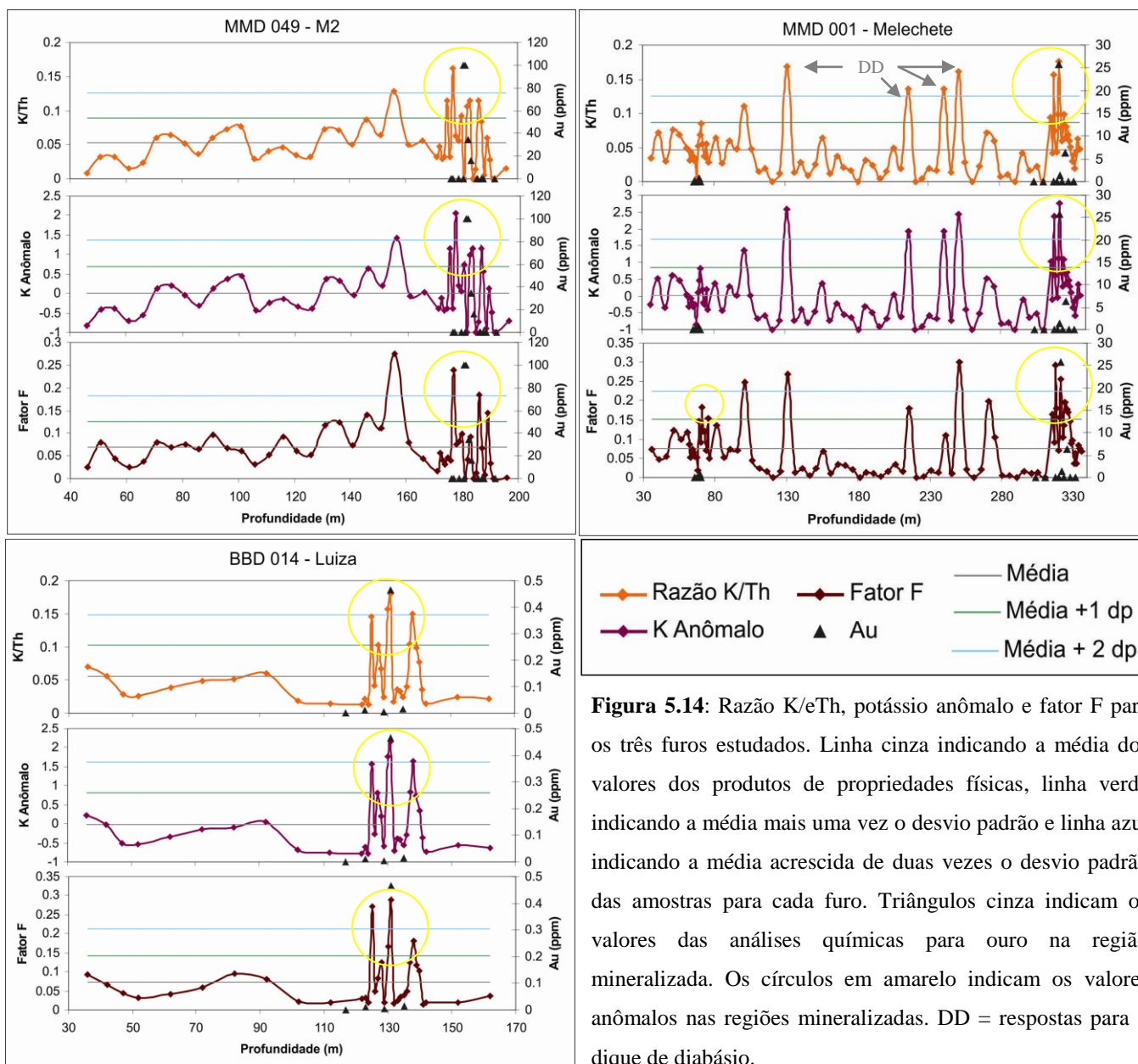


Figura 5.14: Razão K/eTh, potássio anômalo e fator F para os três furos estudados. Linha cinza indicando a média dos valores dos produtos de propriedades físicas, linha verde indicando a média mais uma vez o desvio padrão e linha azul indicando a média acrescida de duas vezes o desvio padrão das amostras para cada furo. Triângulos cinza indicam os valores das análises químicas para ouro na região mineralizada. Os círculos em amarelo indicam os valores anômalos nas regiões mineralizadas. DD = respostas para o dique de diabásio.

Para melhor visualização das possíveis anomalias, calculou-se os desvios padrão nas amostras por meio dos valores médios dos produtos geofísicos e o desvio padrão. As amostras que possuem valores acima da média acrescida de uma vez o desvio padrão podem ser consideradas anômalas. Análises químicas de ouro estão representadas pelos triângulos pretos nas zonas mineralizadas.

Os intervalos mineralizados (círculos em amarelo) nos três furos de sondagem apresentam valores anômalos para os produtos geofísicos e fazem correspondência para os valores acima da média mais uma vez o desvio padrão. Isto se deve à potassificação na zona de alteração hidrotermal junto à mineralização. No furo MMD 001, na região onde seria a

continuação do corpo M2 (círculo amarelo menor) apenas o fator F apresenta resposta anômala de K.

O incremento na variação do canal de K na zona proximal se deve principalmente ao aumento modal de cristais de biotita, indicando a potassificação com a proximidade da mineralização no sistema hidrotermal. Já a diminuição dos valores de susceptibilidade magnética se dá pelo consumo da magnetita presente nos metabasaltos da zona distal e intermediária e transformação dessa magnetita em sulfetos na zona proximal a mineralização.

Observam-se alguns valores anômalos para os resultados do Fator F, da razão K/eTh e K anômalo, nos furos MMD049 e MMD001, que não correspondem à zona mineralizada. Esses resultados serão discutidos no próximo tópico, que se refere à integração dos dados.

6. ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS MULTIFONTE

A análise integrada dos resultados obtidos objetiva combinar as diferentes ferramentas utilizadas na tentativa de mapear zonas de alteração hidrotermal (Figuras 6.1, 6.2 e 6.3). As figuras 6.1, 6.2 e 6.3 apresentam a descrição dos furos estudados, bem como dos dados petrográficos, geoquímicos e de propriedades físicas nos testemunhos. Destaca-se ainda, o fator F e o K Anômalo calculados a partir dos radioelementos adquiridos ao longo dos furos, a razão $((Cs+Rb)/Th)_N$ e os teores de ouro.

O primeiro perfil, nas figuras 6.1, 6.2 e 6.3, apresenta a litologia descrita nos testemunhos estudados e a localização dos corpos mineralizados. No segundo perfil, está representada a faixa de alteração hidrotermal dominante nos respectivos furos, sendo que a zona do metamorfismo regional representa as porções do furo onde a rocha encontra-se melhor preservada, ou com pouca alteração hidrotermal. A zona distal é caracterizada pela predominância de cloritização, a zona intermediária representa porções onde a carbonatação é predominante e a zona proximal onde a potassificação e sulfetação são representativas. Essas zonas não são perfeitamente simétricas e muitas vezes estão sobrepostas, existindo, por exemplo, carbonatação em faixas da zona distal, porém o predomínio nessas faixas é de cloritização.

Os perfis com os dados radiométricos mostram a distribuição das contagens dos radioelementos K, eU e eTh expressos em % e ppm nos testemunhos estudados, além da representação das variáveis gamaespectrométricas K Anômalo e Fator F. Outro perfil de propriedades físicas de rocha indica a resposta da susceptibilidade magnética (SM) ao longo desses testemunhos. Os dados geoquímicos estão representados em dois perfis que destacam as anomalias de ouro (ppm) e os valores da razão $((Cs+Rb)/Th)_N$.

A figura 6.1 mostra a integração dos dados para o furo MMD 049 (corpo M2) com destaque para a região do corpo mineralizado M2 em cinza. Notam-se os picos das anomalias de K Anômalo e Fator F na região mineralizada, indicando um aumento no radioelemento K nessa área, acompanhado dos altos valores para a razão de álcalis. Os valores de susceptibilidade magnética não são muito elevados na proximidade da mineralização, porém nota-se a queda desses valores na região que corresponde à anomalia aurífera, que pode estar relacionada à ausência de magnetita na zona de alteração proximal (vide figura 5.5). Um pouco acima da zona mineralizada (profundidade de 156 m) há uma anomalia nos perfis das variáveis gamaespectrométricas, correspondendo ao valor do índice de alteração um pouco elevado, que

na análise petrográfica é coincidente com uma zona de alteração intermediária mais enriquecida em biotita.

No furo MMD 001 (Figura 6.2), os valores de SM mostram queda abrupta na zona mineralizada (corpo Melechete), refletindo a destruição da magnetita nesta zona. As anomalias positivas das variáveis gamaespectrométricas (K Anômalo e Fator F) estão intimamente relacionadas aos elevados teores de ouro da zona mineralizada e o mesmo acontece com os valores elevados da razão de álcalis. A anomalia percebida no Fator F na profundidade de 270 m não é tão proeminente no K Anômalo e no canal de K, e possivelmente está relacionada ao elevado valor de U. Na parte superior desse furo (MMD 001), no intervalo entre 68 e 70 metros destaca-se outra zona de alteração que coincide com a extensão final do corpo M2. O índice de alteração aponta para a presença de concentração de álcalis neste intervalo e o Fator F mostra um pico anômalo, ambos coincidentes com a anomalia positiva de Au. Na profundidade de 101 metros existe anomalia nos perfis das variáveis gamaespectrométricas, podendo ser indicativo da potassificação pela passagem do fluido hidrotermal sendo necessário a confirmação com dados petrográficos e geoquímicos. Outros picos anômalos correspondem aos diques de diabásio que cortam esses metabasaltos, podendo ser claramente identificados também pelos altos valores de susceptibilidade magnética em função da presença de magnetita na composição modal destes diques.

O corpo subeconômico Luiza (Figura 6.3) mostra as mesmas correlações observadas nos furos anteriores apesar dos teores mais baixos de Au. Observa-se íntima correlação entre as anomalias positivas de K, baixos valores de SM e o índice de alteração hidrotermal elevado na proximidade da anomalia aurífera. No início do furo, no metro 35 aproximadamente, nota-se um valor elevado para a razão de álcalis, dados de amostragem da empresa Reinarda Ltda. indicam até 1.3 ppm de ouro para esta região que está relacionada com pequenas venulações de quartzo.

(Figura 6.1 – A3)

(figura 6.2 – A3)

(Figura 6.3 A3)

A integração dos dados obtidos nesta pesquisa demonstrou que nos três furos analisados, a variação da resposta radiométrica indica um aumento na concentração de potássio na zona mineralizada. Os furos MMD049 e MMD001 que cortam os principais corpos de minério (M2 e Melechete respectivamente) apresentaram um decréscimo da SM, indicando desmagnetização na zona mineralizada. A análise dos dados geoquímicos demonstrou que os altos valores da razão dos álcalis coincidem com a localização da alteração hidrotermal nos três furos amostrados, além de indicar a alteração hidrotermal no que seria a continuação do corpo M2 no furo MMD001. Esta relação confirma a hipótese de que a mobilidade dos álcalis possa ser utilizada como ferramenta para monitorar zonas mineralizadas, em sistemas hidrotermais auríferos, e como vetor geoquímico para localização de novos depósitos de ouro. Os resultados obtidos nesta pesquisa mostram a eficácia da aplicação de dados geofísicos e geoquímicos na identificação de zonas de alteração hidrotermal associadas às mineralizações de ouro no *greenstone belt* Andorinhas.

A integração de dados petrográficos, geoquímicos e geofísicos permitiu o refinamento dos vetores de exploração indicados por Costa-Silva (2011) e a indicação de um novo vetor baseado na mobilidade de álcalis. Os métodos aqui empregados devem ser usados com cautela, sempre associados com a descrição geológica para evitar interpretações errôneas. A integração de diversos parâmetros pode em muito contribuir para a identificação de novos alvos para prospecção de ouro em metabasaltos no *greenstone belt* Andorinhas, bem como em contexto geológico similares.

III. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

III. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A integração de dados aerogeofísicos, petrográficos, geoquímicos e de propriedades físicas de rocha mostrou-se eficiente na determinação de vetores para a exploração de ouro na região do *greenstone belt* Andorinhas. A seguir destacam-se os principais resultados obtidos.

Aerogeofísica de alta resolução:

A interpretação dos produtos derivados do campo magnético anômalo e dos gradientes medidos Gx e Gy realçam os corredores ENE-WNW, bem como estruturas E-W de segunda ordem e estruturas N-S tardias. A integração dos vários produtos derivados do campo magnético anômalo e os gradientes medidos permitiu refinar o mapeamento de zonas favoráveis para hospedar mineralizações auríferas na área de estudo.

A imagem ternária RGB (KeTheU) mostra baixos teores dos radioelementos na região do *greenstone belt* Andorinhas, onde está localizado o *trend* Mamão-Babaçu. Os produtos K Anômalo e Fator F mostram anomalias de K na janela de interesse, indicando uma potassificação devido à alteração hidrotermal.

Petrografia:

As rochas encaixantes da mineralização são metabasaltos deformados e metamorfisados na transição entre fácies xisto verde superior e anfibolito. Nas porções hidrotermalizadas observa-se na zona distal intensa cloritização, a zona intermediária com intensa carbonatação e na zona proximal da mineralização aumento considerável de biotita. Destacam-se na zona proximal, uma biotitização que reflete a potassificação e uma piritização. Esses dados validam as informações obtidas anteriormente através dos dados aerogeofísicos.

Geoquímica:

A classificação química da rocha encaixante é toleíta alto ferro, e apresenta assinatura de ETR predominantemente plana. Análises relativas de mobilidade de elementos-traço nos metabasaltos indicam uma forte tendência de enriquecimento em álcalis (Cs, Rb e K) e Ba nas amostras hidrotermalmente alteradas e, nas amostras mais preservadas, empobrecimento em Rb e Ba, relativo ao Th. A definição do índice de alteração $((Cs+Rb)/Th)_N$ se mostra eficiente no mapeamento de fluidos hidrotermais na região da Mina do Mamão, onde valores da razão $((Cs+Rb)/Th)_N$ acima de 2 podem ser considerados enriquecidos em álcalis e como indicativos da passagem de fluidos hidrotermais. Próximos das regiões mineralizadas o valor dessa razão

aumenta e indicativo do aumento desses álcalis na zona mineralizada além da alteração potássica visível.

Propriedades Físicas:

Análises estatísticas dos dados permitiram a caracterização das zonas de alteração hidrotermal, indicando baixo teor de K para os metabasaltos e gradual incremento à medida que se aproxima da zona proximal. Os valores de eU mostram maior variação nas rochas hidrotermalmente alteradas. O elemento eTh permanece praticamente constante. Na zona proximal a mineralização apresentou baixos valores de susceptibilidade magnética devido à quebra da magnetita no sistema hidrotermal. As variáveis gamaespectrométricas Fator F, K anômalo e razão K/Th se mostraram eficazes na identificação das zonas mineralizadas.

Integração:

Ao visualizar os resultados dos diferentes parâmetros lado a lado, conseguiu-se uma resposta positiva para identificação das zonas mineralizadas. Essa interpretação é relevante para identificação de halos de alteração hidrotermal em metabasalto mineralizados. Obteve-se um resultado satisfatório na identificação da potassificação do sistema hidrotermal além da alteração potássica visível, tanto na mobilidade de álcalis quanto nas propriedades físicas.

IV. REFERÊNCIAS

IV. REFERÊNCIAS

AcmeLabs Schedule of Services & Fees, 2011. Disponível em http://acmelab.com/pdfs/Acme_Price_Brochure.pdf. Acessado em 18 de fevereiro de 2011.

Almeida, F.F.M. 1981. O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. In: SBG, Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais, Salvador. Anais..., p. 1-10.

Amaral, G. 1974. Geologia pré-cambriana da região Amazônica. Tese de livre docência. São Paulo. Instituto de Geociências, USP.

Airo, M.L. 2002. Aeromagnetic and aeroradiometric response to hydrothermal alteration. *Surveys in Geophysics*, 23, p. 273-302.

Boynton, W.V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P. (ed.), *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, p. 63-114.

Bucher, K. & Frey, M. 1994. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 318p.

Carrino, T.A. 2010. Geotecnologias aplicadas ao reconhecimento de áreas-chaves à exploração aurífera na Província Mineral do Tapajós. Dissertação de Mestrado em Geologia. Universidade de Brasília, D.F.-Brasília, 192p.

Clark, D.A. 1997. Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys. Australian Geological Survey Organization. *Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17 (2), p. 83-103.

Cordani, U.G., Tassinari, C.C.G., Teixeira, W., Basei, M.A.S., Kawashita, K., 1979. Evolução Tectônica da Amazônia com base nos dados Geocronológicos. II Congresso Geológico Chileno, Arica, Chile, Actas, p. 137-148.

Cordell, L.; Grauch, V.J.S. 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico, in: W.M. Hinze (Ed.), *The Utility of Regional Gravity and Magnetic Maps*, Soc. Exploration Geophysics, p. 181–197.

Costa, J.B.S. & Hasui, Y. 1997. Evolução Geológica da Amazônia. In: Costa, M.L. & Angélica, R.S. (eds.) *Contribuições à Geologia da Amazônia*. SBG, Núcleo Norte, p. 15-19.

Costa-Silva, E., 2011. Integração de Dados Geofísicos e Geológicos com Ênfase na Geração de Alvos Potenciais para Exploração Aurífera em terrenos Granito-*Greenstone* da região do Sudeste do Pará. Dissertação de Mestrado nº 281, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 170p.

Costa-Silva, E.; Silva, A.M.; Toledo, C.L.B.; Mol, A.G.; Otterman, D.W.; Souza, S.R.C., 2012. Mineral potential mapping for orogenic gold deposits in the Rio Maria granite greenstone terrane, southeastern Pará State, Brazil. *Economic Geology*, 107, p. 1387-1402.

Dardenne, M.A. & Schobbenhaus, C., 2001. *Metalogênese do Brasil*. Editora Universidade de Brasília, Brasília. 292p.

Dickson, B. L., Scott, 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, **17**(2): 187-200.

DOCEGEO (Rio Doce Geologia e Mineração - Distrito Amazônia) 1988. Revisão litoestratigráfica da província mineral de Carajás, Pará. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 35, Belém, Volume Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais, Anexos, p.11-54

Efimov A.V. 1978. Multiplikativnyi pokazatel dlja videlenija endogennyh rud po aerogamma-spektrmetrceskim dannym. *In: Metody rudnoj geofisiki*, edited by: Maucno-proizvodstvennoje objedinenie "Geofizica" Leningrad.

Eilu, P., Groves, D.I. 2001. Primary alteration and geochemical dispersion haloes of Archaean orogenic gold deposits in the Yilgarn Craton: the pre-weathering scenario. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, **1**, p. 183-200.

Eilu, P., Groves, D. I., Mikucki, E.J., McNaughton, N.J., Ridley, J.R. 1995. Alteration indices and pathfinder elements in wallrock alteration zones around Archaean lode-gold deposits. *In: Passava, J., Kribek, B., Zac, K. (eds.) Mineral Deposits: from their origin to their environmental impacts. Proceedings of the 3rd Bienial SGA Meeting, Prague, 28-31 August 1995*. Balkema, Rotterdam, p. 113-116.

Eilu, P., Mikucki, E.J., Dugdale, A.L. 2001. Alteration zoning and primary geochemical dispersion at the Bronzewing lode-gold deposit, Western Australia. *Mineralium Deposita*, **36**, p.13-31.

Ferreira, A.T.R., Almeida, J.A.C.; Dall'Agnoç, R., 2008. Geologia e Petrologia Magnética dos diques da área de Bannach, Terreno granito-greenstone de Rio Maria, Sudeste do Pará. IV Simpósio de vulcanismo e Ambientes associados. Foz do iguaçu, PR.

Fornazzari Neto, L., & Ferreira, F.J.F. 2003. Gamaespectrometria integrada a dados exploratorios multifonte em ambiente SIG aplicada a prospecção de ouro na folha Botuverá, S.C. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, p. 197-208.

Gnojek, I., Prichystal, A. 1985. A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia (Czechoslovakia). *Geoexploration*, v. 23, p. 491-502.

Gouvêa Luiz, J.; Da Costa e Silva, L.M. 1995. *Geofísica de Prospecção*. Belém. EDUFPA. p.

Goldfarb, R.J.; Miller, L.D.; Leach, D.L.; Snee, L.W. 1997. Gold deposits in metamorphic rocks in Alaska. *Economic Geology Monograph*, v. 9, p. 151-190.

Goldfarb, R.J.; Groves, D.I., Gardoll, S. 2001. Orogenic Gold and geologic time: a global synthesis: *Ore Geology Reviews*, v 18, p. 1-75.

Grauch, V.J.S.; Cordell, L. 1987. Limitations of determining density or magnetic boundaries from the horizontal derivative of gravity or pseudogravity data. *Geophysics*, 52, p. 118–121.

Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F., 1998, Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13, p. 7–27.

Hasui, Y., Haraly, N.L.E., Shobenbhenhauss, C. 1984. elementos geofísicos e geológicos da região amazônica: Subsídios para o modelo geotectônico. II Symposium Amazônico, Anais, p. 129-148.

Heath, C.J. & Campbell, I.H. 2004. A New Geochemical Technique for Gold Exploration: Alkali Element Mobility Associated with Gold Mineralization in the West Australian Goldfields. *Economic geology*, 99, p. 313-324.

Huhn, S.R.B., 1992. Geologia, controle estrutural e gênese do depósito aurífero Babaçu, região de Rio Maria, sul do Pará. UnB, Brasília, Dissertação de Mestrado, 169p.

IAEA, International Atomic Energy Agency, 2003. Guidelines for radioelement using gamma ray spectrometry data. Viena, 173p.

Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, p. 523–548.

Janoušek, V., Farrow, C.M. & Erban, V., 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, 47, p. 1255–1259.

Jensen, L. S., 1976. A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks. Ontario Geological Survey Miscellaneous Paper 66.

Kerrick, R. 1983, Geochemistry of gold deposits in the Abitibi greenstone belt: Canadian Institute of Mining and Metallurgy Special Paper, v. 27, 75 p.

Kishida, A. & Kerrich, R. 1987. Hydrothermal alteration zoning and gold concentration at the Kerr-Addison Archean Lode Gold Deposit, Kirkland Lake, Ontario. *Economic Geology*, 82, p. 649-690.

Kovarch, A., Flood, P.G., Tyne, E., 1994. Geographical information system for regional scale geological analysis: the Manila case study. In: Proceedings of the 7th Australian Remote Sensing Conference. pp. 1076–1083.

LASA Engenharia e Prospecções, 2008. Levantamento Aeromagnetométrico Gradiométrico e Aerogamaespectrométrico – Área Andorinhas, Rio Maria, PA. Relatório Final de Aquisição e Processamento de Dados, Textos Técnicos e Anexos, 98p.

Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali–silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745–750.

Lovborg, L., Mose, E., 1987. Counting statistics in radioelement assaying with a portable spectrometer. *Geophysics*, 52, n.4, 555-563.

Medeiros, H. 1987. Petrologia da porção leste do maciço Granodiorito Rio Maria, sudeste do Pará. Dissertação de Mestrado. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 184p.

Melzer, S., 1999, Experimentally determined K-Rb-Cs exchange coefficients between micas, amphiboles and aqueous chloride solution [abs.]: EOS Supplement, 80, no. 17, 361p.

Miller, H.G., Singh, V. 1994. Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources: *Journal of Applied Geophysics*, 32, p. 213-217.

Nabighian, M.N. 1972. The analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, v. 37, n. 3, p. 507-517.

Nabighian, M.N., 1974, Additional comments on the analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 39, p. 85-92.

Nabighian, M.N.; Grauch, V.J.S.; Hansen, R.O.; Lafehr, T.R.; LI, Y.; Pierce, J.W.; Phillips, J.D.; Ruder, M.E. 2005. The historical development of the magnetic method in exploration - 75th Anniversary. *Geophysics*, 70, n. 6, p. 33-61.

Oliveira, C.V. 1993. Interação entre os processos de deformação, metamorfismo e mineralização aurífera durante a evolução da zona de cisalhamento de Diadema, sul do Pará. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília. 187p.

Oliveira, C.G.; Santos, R.V.; Leonardos, O.H. 1995. Geologia e mineralização aurífera do *greenstone* belt Sapucaia, sudeste do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 7, p. 61-91.

Pimentel, M.M. & Machado, N., 1994. Geocronologia U–Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriu, pp. 390–391.

Pires, A.C.B. 1995. Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 25 (1), p. 61-68.

Quadros, T.F.P., Koppe, J.C., Strieder, A.J., Costa, J.C.L. 2003. Gamma-ray data processing and integration for lode-Au deposits exploration. *Natural Resources Research*, 12 (1).

Rieder, M., Cavazzini, G., D'Yakonov, Y.S., Frank-Kamenetskii, V.A., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval, P.V., Müller, G., Neiva, A.M.R., Radoslovich, E.W., Robert, J.L., Sassi, F.P., Takeda, H., Weiss, Z., Wones, D.R., 1998. Nomenclature of Micas. *The Canadian Mineralogist*, 36, p. 41-48.

Roest, W.R.; Verhoef, J.; Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57, p. 116–125.

Rollingson, H.R. 1993. Using Geochemical Data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical, 352p.

Sabins, F. F. 1996. Remote Sensing: Principles and interpretation. Third Edition, W. H. Freeman and Company. New York, 494p.

Santos, A.; Pena Filho, J.I.C. 2000. Xinguara: folha SB.22-Z-C. Estado do Pará, escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 1 CD-ROM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

Santos, J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: Bizzi, L.A. et al. (Ed.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, p. 169-226, il.

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E., G, D.I., McNaughton, N.J. & Fletcher, I.R., 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U–Pb and Sm–Nd geochronology. *Gondwana Research*. 3 (4), 453–488.

Saunders, A.D., Tarney, J., Keer, A.C., Kent, R.W. 1995. The formation of large oceanic provinces. *Litho*, 37, p. 81-95.

Shieves, R. B. K., Charbonneau, B. W., Ford, K. L., 1997. The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry-recognition of alteration related to mineralization. *In* Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration. Edited by A. G. G. Gugins, p.741-752.

Silva, A.R.B. e Cordeiro, A.A.C., 1988. Depósitos de ouro da Serra das Andorinhas, Rio Maria, Pará. *In*: Principais Depósitos Minerais do Brasil, eds. Schobbenhaus, C. e Coelho, C.E.S., vol. III, p.559-567. DNPM, Brasília.

Souza, C. S. 1999. Gênese e controle do depósito aurífero de Lagoa Seca, Greenstone Belt de Andorinhas, Rio Maria, PA. Dissertação de Mestrado n°. 146, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

Souza, Z.S., Medeiros, H., Althoff, F.J. & Dall’Agnol, R., 1990. Geologia do terreno “granito-greenstone” da região de Rio Maria, sudeste do Pará. Congresso Brasileiro de Geologia, Natal 6, 2913–2928.

Souza, Z. S.; Potrel, A.; Lafon, J. M.; Althoff, F. J.; Pimentel, M. M.; Dall’Agnol, R.; Oliveira, C. G. 2001. Nd, Pb and isotopes in the Identidade Belt, na Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajás Province, Brazil: implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, v. 109, p. 293-315.

Souza Z.S. 1994. Geologia e petrogênese do “Greenstone Belt” Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-“greenstone” de Rio Maria, SE do Pará. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 624p.

Stockwell, C.H. 1961. Structural Provinces, orogenies, and time classification of rocks in the Canadian Province Shield. *In*: Age Determinations by the Geological Survey of Canada, Geol. Survey Canadá., Pap. 61-17, p. 108-118.

Sun, S.S. & McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society Special Publication 42, p. 313–345.

Tassinari C.C.G. 1996. O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos. 1996. 139 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Tassinari, C.C.G. & Macambira, M.J.B., 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes* 22, 174–182.

Tassinari, C.C.G.; Macambira, M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto, V. et al. (Ed.). *Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, p. 471-485.

Tassinari C.C.G., Bettencourt J.S., Geraldles M.C., Macambira M.J.B., Lafon J.-M. 2000. The Amazon Craton. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (eds). *Tectonic Evolution of South America*. 31^a Int. Geol. Congr., Rio de Janeiro, p. 41-95.

Teixeira, W., Tassinari, C.C.G., Cordani, U.G., Kawashita, K., 1989. A review of the geochronological of the Amazonian Craton: Tectonic Implications. *Precambrian Research*, 42, p. 213-227.

Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T., Silva C.M.G., Klein E.L., 2008. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará*. Organizadores, Marcelo Lacerda Vasquez, Lúcia Travassos da Rosa-Costa. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008.

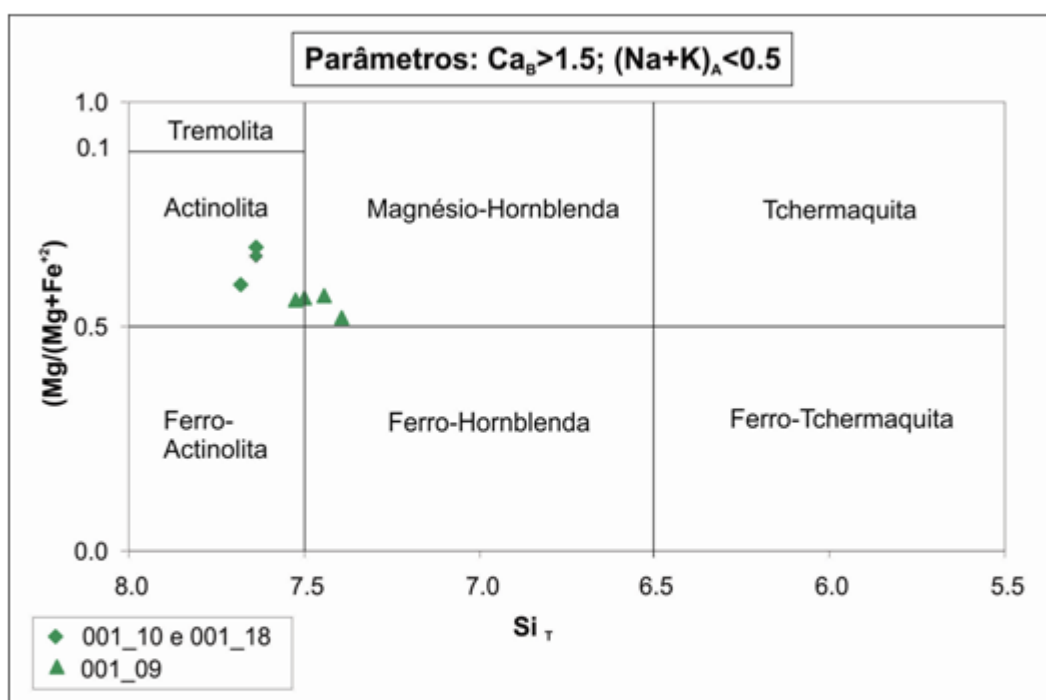
Xu, Y., 1999, The stable isotope and trace element geochemistry of the Victory gold deposit, Western Australia: Unpublished Ph.D. thesis, Canberra, ACT, The Australian National University, 145 p.

Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London.

ANEXOS

Anexo A: (cont.)

Classificação dos anfíbólios cálcicos (Leake *et.al.*, 1997)



Leake B.E., Wooley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresh W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L, Whittaker E.J.W. & Youzhi G. 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist*, 82:1019-1037

Anexo B: Análises de Rocha Total dos testemunhos no *greenstone belt* Andorinhas. Amostras de metabasaltos, veios de quartzo, metaandesito, diabásio e metagabros. Além da amostra fora da zona mineralizada.

Furo MMD 001

Amostra	MMD 001/01	MMD 001/02	MMD 001/05	MMD 001/06	MMD 001/07	MMD 001/08	MMD 001/09	MMD 001/10	MMD 001/11	MMD 001/12	MMD 001/13	MMD 001/14	MMD 001/15
Litologia	metabasilto	metabasilto	metabasilto	metabasilto	metabasilto	diabásio	metabasilto	metabasilto	metabasilto	metabasilto	ore	metabasilto	metabasilto
wt (%)													
SiO ₂	47.07	44.22	45.48	45.28	49.30	52.08	52.21	51.44	48.82	49.70	57.83	47.53	49.07
TiO ₂	1.84	1.81	1.54	1.76	1.90	2.35	1.62	1.57	1.49	1.58	0.89	1.24	1.49
Al ₂ O ₃	13.59	12.97	11.22	12.57	12.72	12.06	12.62	12.42	11.93	12.06	7.78	10.81	11.75
Fe ₂ O ₃	13.68	13.81	13.22	14.56	14.66	15.38	14.82	14.10	13.00	13.14	8.49	11.62	13.05
MnO	0.21	0.20	0.23	0.19	0.20	0.20	0.18	0.17	0.18	0.15	0.17	0.20	0.16
MgO	4.18	5.77	4.11	5.98	5.23	3.41	5.55	5.20	5.25	5.07	3.39	4.87	5.19
CaO	10.10	8.83	10.78	8.25	10.77	7.07	6.87	8.11	7.91	7.39	10.02	9.80	7.38
Na ₂ O	2.43	2.72	0.27	2.05	1.59	2.76	3.10	2.39	2.37	2.28	1.52	2.61	2.54
K ₂ O	0.15	0.13	1.80	0.24	0.11	1.85	0.27	0.11	1.05	0.14	0.73	1.32	0.66
P ₂ O ₅	0.18	0.16	0.13	0.15	0.18	1.44	0.15	0.16	0.14	0.15	0.04	0.07	0.13
Cr ₂ O ₃	0.018	0.026	0.017	0.016	0.013	0.006	0.005	0.007	0.005	0.003	0.007	0.007	0.005
LOI (%)	6.3	9.1	10.9	8.7	3.1	1.1	2.3	4.1	7.6	8.1	9.0	9.7	8.3
Total	99.75	99.75	99.70	99.75	99.77	99.71	99.70	99.78	99.75	99.76	99.87	99.78	99.73
(ppm)													
Ba	51	50	644	84	32	681	64	28	192	32	210	202	159
Rb	3.6	3.0	35.5	5.3	1.7	54.9	6.3	2.1	29.0	2.9	14.9	33.1	17.6
Sr	178.7	93.4	97.4	75.3	165.6	379.4	180.3	150.7	79.2	62.2	120.2	150.5	93.1
Y	40.4	40.1	33.0	37.3	42.5	51.7	49.9	48.4	42.8	46.5	24.9	30.6	42.9
Zr	113.7	107.4	92.4	108.3	118.8	270.2	148.0	147.2	129.3	147.6	66.5	91.1	125.7
Nb	3.3	2.9	3.4	2.4	3.7	9.9	7.3	5.4	4.7	5.8	0.9	1.8	3.8
Ta	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.6	0.4	0.5	0.4	0.4	0.2	0.2	0.3
Th	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	3.5	1.2	1.1	1.0	1.2	0.5	0.7	1.0
Pb	0.5	4.7	2.5	1.8	0.7	1.5	0.6	0.7	0.8	1.3	2.4	2.1	1.2
Ga	19.4	19.0	16.3	18.7	19.8	19.6	20.2	18.0	17.3	18.3	13.5	15.6	17.7
Zn	95	124	95	103	66	78	59	62	98	69	63	81	81
Cu	89.8	103.4	51.2	76.0	77.9	27.8	170.2	136.4	94.6	88.3	107.7	134.1	98.5
Ni	68.5	62.2	59.8	61.4	36.7	14.9	34.4	35.0	44.2	40.9	35.0	46.8	45.8
V	520	495	430	492	535	193	469	445	429	466	278	337	436
Hf	3.3	2.8	2.4	2.9	2.9	6.4	3.7	3.7	3.2	4.0	1.9	2.4	3.4
Cs	0.4	0.4	0.9	0.6	0.2	3.9	0.5	0.2	1.9	0.3	0.6	1.4	1.1
Co	49.8	51.6	40.6	43.9	42.7	31.4	48.6	44.7	40.0	43.4	27.3	38.9	40.4

Amostra	MMD 001/01	MMD 001/02	MMD 001/05	MMD 001/06	MMD 001/07	MMD 001/08	MMD 001/09	MMD 001/10	MMD 001/11	MMD 001/12	MMD 001/13	MMD 001/14	MMD 001/15
(ppm)													
U	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.6	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1
W	<0.5	1.0	11.8	1.4	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	38.0	13.7	1.6
La	6.8	7.6	4.9	6.1	7.1	61.2	8.8	8.8	6.8	7.4	3.8	4.8	6.4
Sc	42	39	34	39	41	31	43	41	39	38	25	35	39
Ce	17.7	19.2	12.3	15.0	18.7	123.5	22.5	22.2	17.9	19.4	8.9	12.4	17.3
Pr	2.64	2.77	1.99	2.29	2.70	15.39	3.31	3.19	2.74	2.94	1.40	1.86	2.59
Nd	13.7	13.5	9.3	13.0	15.6	61.7	15.0	15.3	15.0	14.4	7.6	9.9	12.8
Sm	4.14	4.16	3.37	3.80	4.29	11.86	4.83	4.61	4.07	4.64	2.14	2.99	4.22
Eu	1.42	1.33	0.99	1.30	1.39	3.02	1.39	1.41	1.30	1.27	0.66	0.95	1.26
Gd	6.06	5.64	4.55	5.22	5.92	10.64	6.67	6.22	5.72	6.16	3.28	4.08	5.71
Tb	1.01	0.98	0.79	0.93	1.02	1.60	1.21	1.18	1.04	1.15	0.60	0.77	1.05
Dy	6.67	6.47	5.72	5.85	6.96	9.00	7.78	7.53	6.72	7.57	3.85	4.94	6.69
Ho	1.33	1.29	1.12	1.21	1.48	1.76	1.71	1.68	1.44	1.65	0.93	1.08	1.48
Er	3.99	3.78	3.30	3.61	4.34	4.99	5.22	4.80	4.34	5.01	2.58	3.38	4.15
Tm	0.61	0.59	0.48	0.57	0.65	0.76	0.76	0.74	0.67	0.73	0.38	0.48	0.62
Yb	4.02	4.02	3.55	3.73	4.19	4.81	5.00	4.74	4.57	5.21	2.51	3.44	4.09
Lu	0.59	0.57	0.49	0.53	0.61	0.65	0.73	0.73	0.64	0.72	0.38	0.45	0.63
As	5.0	6.5	28.0	6.0	5.4	3.5	3.9	14.3	5.1	8.8	108.3	70.5	4.3
Se	<0.5	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5
Mo	0.3	0.4	1.4	0.3	0.4	1.4	0.7	0.4	0.2	0.4	0.5	0.5	0.3
Ag	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.3	0.4	0.1
Au (ppb)	4.0	6.9	595.6	5.4	6.0	2.5	7.1	1.6	5.4	10.3	25711.0	1292.3	98.9
((Cs+Rb)/Th) _n	1.3	1.5	3.4	2.0	0.6		1.1	0.5	5.0	0.7	3.2	5.3	2.9

Anexo B (cont.)

	Furo MMD 001 (cont.)				Furo MMD 049																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Amostra	MMD 001/16	MMD 001/17	MMD 001/18	MMD 001/20	MMD 049/03	MMD 049/04	MMD 049/05	MMD 049/06	MMD 049/07	MMD 049/08	MMD 049/09	MMD 049/10	MMD 049/11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Litologia	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	gabro	gabro	gabro	gabro	andesito	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
wt (%)														SiO ₂	50.48	48.75	49.59	48.96	55.39	54.91	55.13	55.64	57.92	41.12	42.87	40.64	46.03	TiO ₂	1.56	1.81	1.52	1.83	2.39	2.40	2.38	2.25	0.74	1.41	1.35	2.18	1.81	Al ₂ O ₃	11.71	10.43	12.35	14.21	12.58	12.35	12.44	12.88	16.04	11.80	11.45	16.23	14.42	Fe ₂ O ₃	12.99	14.45	14.25	14.06	13.38	13.18	13.39	12.66	7.54	12.42	14.56	18.18	15.78	MnO	0.18	0.20	0.18	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.10	0.27	0.25	0.22	0.21	MgO	3.85	3.64	5.70	5.65	2.68	2.68	2.66	2.58	4.32	3.96	3.97	7.15	6.09	CaO	7.94	9.61	8.66	8.88	6.30	6.20	6.29	6.39	3.64	13.88	14.18	8.74	9.68	Na ₂ O	3.49	2.87	2.30	2.22	3.09	3.09	3.04	3.12	5.70	2.43	1.93	1.29	1.67	K ₂ O	0.57	0.09	0.11	0.33	1.88	1.86	1.79	1.81	0.48	0.09	0.16	0.14	0.06	P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7
SiO ₂	50.48	48.75	49.59	48.96	55.39	54.91	55.13	55.64	57.92	41.12	42.87	40.64	46.03	TiO ₂	1.56	1.81	1.52	1.83	2.39	2.40	2.38	2.25	0.74	1.41	1.35	2.18	1.81	Al ₂ O ₃	11.71	10.43	12.35	14.21	12.58	12.35	12.44	12.88	16.04	11.80	11.45	16.23	14.42	Fe ₂ O ₃	12.99	14.45	14.25	14.06	13.38	13.18	13.39	12.66	7.54	12.42	14.56	18.18	15.78	MnO	0.18	0.20	0.18	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.10	0.27	0.25	0.22	0.21	MgO	3.85	3.64	5.70	5.65	2.68	2.68	2.66	2.58	4.32	3.96	3.97	7.15	6.09	CaO	7.94	9.61	8.66	8.88	6.30	6.20	6.29	6.39	3.64	13.88	14.18	8.74	9.68	Na ₂ O	3.49	2.87	2.30	2.22	3.09	3.09	3.04	3.12	5.70	2.43	1.93	1.29	1.67	K ₂ O	0.57	0.09	0.11	0.33	1.88	1.86	1.79	1.81	0.48	0.09	0.16	0.14	0.06	P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7														
TiO ₂	1.56	1.81	1.52	1.83	2.39	2.40	2.38	2.25	0.74	1.41	1.35	2.18	1.81	Al ₂ O ₃	11.71	10.43	12.35	14.21	12.58	12.35	12.44	12.88	16.04	11.80	11.45	16.23	14.42	Fe ₂ O ₃	12.99	14.45	14.25	14.06	13.38	13.18	13.39	12.66	7.54	12.42	14.56	18.18	15.78	MnO	0.18	0.20	0.18	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.10	0.27	0.25	0.22	0.21	MgO	3.85	3.64	5.70	5.65	2.68	2.68	2.66	2.58	4.32	3.96	3.97	7.15	6.09	CaO	7.94	9.61	8.66	8.88	6.30	6.20	6.29	6.39	3.64	13.88	14.18	8.74	9.68	Na ₂ O	3.49	2.87	2.30	2.22	3.09	3.09	3.04	3.12	5.70	2.43	1.93	1.29	1.67	K ₂ O	0.57	0.09	0.11	0.33	1.88	1.86	1.79	1.81	0.48	0.09	0.16	0.14	0.06	P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																												
Al ₂ O ₃	11.71	10.43	12.35	14.21	12.58	12.35	12.44	12.88	16.04	11.80	11.45	16.23	14.42	Fe ₂ O ₃	12.99	14.45	14.25	14.06	13.38	13.18	13.39	12.66	7.54	12.42	14.56	18.18	15.78	MnO	0.18	0.20	0.18	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.10	0.27	0.25	0.22	0.21	MgO	3.85	3.64	5.70	5.65	2.68	2.68	2.66	2.58	4.32	3.96	3.97	7.15	6.09	CaO	7.94	9.61	8.66	8.88	6.30	6.20	6.29	6.39	3.64	13.88	14.18	8.74	9.68	Na ₂ O	3.49	2.87	2.30	2.22	3.09	3.09	3.04	3.12	5.70	2.43	1.93	1.29	1.67	K ₂ O	0.57	0.09	0.11	0.33	1.88	1.86	1.79	1.81	0.48	0.09	0.16	0.14	0.06	P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																										
Fe ₂ O ₃	12.99	14.45	14.25	14.06	13.38	13.18	13.39	12.66	7.54	12.42	14.56	18.18	15.78	MnO	0.18	0.20	0.18	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.10	0.27	0.25	0.22	0.21	MgO	3.85	3.64	5.70	5.65	2.68	2.68	2.66	2.58	4.32	3.96	3.97	7.15	6.09	CaO	7.94	9.61	8.66	8.88	6.30	6.20	6.29	6.39	3.64	13.88	14.18	8.74	9.68	Na ₂ O	3.49	2.87	2.30	2.22	3.09	3.09	3.04	3.12	5.70	2.43	1.93	1.29	1.67	K ₂ O	0.57	0.09	0.11	0.33	1.88	1.86	1.79	1.81	0.48	0.09	0.16	0.14	0.06	P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																								
MnO	0.18	0.20	0.18	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.10	0.27	0.25	0.22	0.21	MgO	3.85	3.64	5.70	5.65	2.68	2.68	2.66	2.58	4.32	3.96	3.97	7.15	6.09	CaO	7.94	9.61	8.66	8.88	6.30	6.20	6.29	6.39	3.64	13.88	14.18	8.74	9.68	Na ₂ O	3.49	2.87	2.30	2.22	3.09	3.09	3.04	3.12	5.70	2.43	1.93	1.29	1.67	K ₂ O	0.57	0.09	0.11	0.33	1.88	1.86	1.79	1.81	0.48	0.09	0.16	0.14	0.06	P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																						
MgO	3.85	3.64	5.70	5.65	2.68	2.68	2.66	2.58	4.32	3.96	3.97	7.15	6.09	CaO	7.94	9.61	8.66	8.88	6.30	6.20	6.29	6.39	3.64	13.88	14.18	8.74	9.68	Na ₂ O	3.49	2.87	2.30	2.22	3.09	3.09	3.04	3.12	5.70	2.43	1.93	1.29	1.67	K ₂ O	0.57	0.09	0.11	0.33	1.88	1.86	1.79	1.81	0.48	0.09	0.16	0.14	0.06	P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																				
CaO	7.94	9.61	8.66	8.88	6.30	6.20	6.29	6.39	3.64	13.88	14.18	8.74	9.68	Na ₂ O	3.49	2.87	2.30	2.22	3.09	3.09	3.04	3.12	5.70	2.43	1.93	1.29	1.67	K ₂ O	0.57	0.09	0.11	0.33	1.88	1.86	1.79	1.81	0.48	0.09	0.16	0.14	0.06	P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																		
Na ₂ O	3.49	2.87	2.30	2.22	3.09	3.09	3.04	3.12	5.70	2.43	1.93	1.29	1.67	K ₂ O	0.57	0.09	0.11	0.33	1.88	1.86	1.79	1.81	0.48	0.09	0.16	0.14	0.06	P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																
K ₂ O	0.57	0.09	0.11	0.33	1.88	1.86	1.79	1.81	0.48	0.09	0.16	0.14	0.06	P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																														
P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.13	0.17	1.21	1.20	1.25	1.16	0.21	0.13	0.13	0.19	0.16	Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																												
Cr ₂ O ₃	0.003	0.006	0.006	0.014	0.004	<0.002	0.003	0.004	0.014	0.015	0.013	0.015	0.017	LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																										
LOI (%)	6.9	7.8	5.0	3.2	0.6	1.6	1.1	1.0	3.1	12.3	8.9	4.7	3.8	Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																								
Total	99.82	99.83	99.80	99.71	99.684	99.65	99.653	99.664	99.804	99.825	99.763	99.675	99.727	(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																						
(ppm)														Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																				
Ba	167	38	23	64	1143	1098	1107	1089	217	63	68	84	30	Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																		
Rb	15.9	2.0	2.7	8.4	56.2	58.5	54.8	50.8	14.5	3.0	4.1	3.6	1.0	Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																
Sr	112.2	109.2	156.7	252.8	376.2	383.1	385.9	375.6	145.9	72.0	86.4	186.4	188.7	Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																														
Y	48.6	46.5	39.9	40.8	37.5	37.6	38.7	35.3	16.1	29.1	25.1	45.1	34.1	Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																												
Zr	156.4	147.0	112.7	112.8	221.1	219.7	224.7	212.1	140.8	77.9	75.7	120.7	99.7	Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																										
Nb	4.3	4.6	3.3	3.7	10.0	9.4	10.4	8.7	7.1	3.5	3.2	4.8	3.8	Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Ta	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Th	1.3	1.1	0.8	0.8	5.3	5.2	5.3	5.0	3.7	0.6	0.6	0.9	0.7	Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Pb	1.8	1.3	1.0	0.6	5.3	4.1	5.2	4.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Ga	18.8	18.4	18.6	19.1	19.1	20.1	19.8	19.1	17.5	14.7	15.1	22.5	19.8	Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Zn	86	98	72	71	79	89	91	80	59	88	73	110	77	Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Cu	77.2	60.8	110.9	75.2	21.3	21.8	21.2	19.7	29.5	50.7	196.2	130.6	81.8	Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Ni	34.2	23.4	48.2	69.8	9.1	9.4	8.7	9.0	55.5	72.0	54.4	79.2	63.2	V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
V	399	515	437	473	182	184	182	173	126	351	332	529	477	Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Hf	4.3	3.6	3.1	3.6	5.8	5.7	6.0	5.6	4.0	2.3	2.2	3.4	3.0	Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Cs	1.0	0.3	0.3	0.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.0	0.4	0.4	0.5	0.1	Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Co	35.1	39.2	49.0	44.2	28.0	30.3	29.1	27.6	20.4	34.9	44.4	53.3	46.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

Amostra	MMD 001/16	MMD 001/17	MMD 001/18	MMD 001/20	MMD 049/03	MMD 049/04	MMD 049/05	MMD 049/06	MMD 049/07	MMD 049/08	MMD 049/09	MMD 049/10	MMD 049/11
(ppm)													
U	0.2	0.3	0.2	0.2	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.1	0.1	0.2	0.2
W	2.5	1.1	<0.5	<0.5	1.0	1.0	0.9	1.1	1.2	0.9	<0.5	<0.5	<0.5
La	8.6	7.7	6.6	6.5	49.1	49.3	48.6	46.2	23.2	6.1	4.7	7.7	6.0
Sc	37	36	42	39	28	28	29	27	17	34	30	47	40
Ce	20.6	21.1	16.7	17.0	101	102.7	101.3	96.4	48.4	14.7	11.9	19.6	15.5
Pr	3.13	3.11	2.50	2.65	11.9	11.92	11.92	11.12	5.7	2.13	1.75	2.96	2.25
Nd	15.9	16.2	12.0	14.7	46.4	47.6	46.9	44.8	20.4	11.3	8.1	14.7	11.6
Sm	4.70	4.57	3.93	4.18	8.38	8.42	8.27	7.91	3.99	3.21	2.54	4.54	3.61
Eu	1.51	1.30	1.19	1.33	2.59	2.63	2.65	2.39	1.06	1.02	0.9	1.56	1.2
Gd	6.69	6.19	5.37	5.57	7.89	7.94	7.96	7.61	3.8	4.32	3.7	6.39	5
Tb	1.20	1.14	0.96	1.01	1.19	1.19	1.21	1.11	0.57	0.81	0.7	1.19	0.92
Dy	7.64	7.37	6.17	6.32	6.32	6.41	6.26	5.91	2.94	4.71	4.11	7.2	5.67
Ho	1.63	1.60	1.36	1.36	1.41	1.43	1.4	1.3	0.61	1.09	0.92	1.65	1.31
Er	4.84	4.83	4.09	3.99	3.61	3.66	4.03	3.53	1.72	3.35	2.65	4.72	3.66
Tm	0.78	0.75	0.62	0.64	0.57	0.54	0.57	0.53	0.27	0.47	0.41	0.72	0.57
Yb	5.21	4.93	3.95	4.26	3.58	3.31	3.61	3.08	1.69	2.95	2.71	4.59	3.68
Lu	0.72	0.71	0.58	0.59	0.53	0.52	0.53	0.5	0.25	0.47	0.38	0.71	0.54
As	5.2	1.3	3.4	7.3	1.1	1.2	0.7	0.9	0.7	1.9	2.5	3.1	2.6
Se	<0.5	<0.5	1.1	<0.5	<0.5	1	1.1	0.8	0.7	0.5	1.2	0.6	0.9
Mo	2.6	0.6	0.3	0.3	1.6	1.6	1.5	1.6	0.4	0.3	0.3	0.6	0.3
Ag	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Au (ppb)	6330.3	96.4	77.4	9.4	<0.5	<0.5	<0.5	6.2	0.7	0.8	1.9	1.1	<0.5
$\frac{((Cs+Rb)/Th)_t}{(U)_t}$	2.0	0.7	1.0	1.7						1.8	1.8	1.5	0.4

Anexo B (cont.)

Furo MMD 049 (cont.)

Amostra	MMD 049/12	MMD 049/13	MMD 049/14	MMD 049/15	MMD 049/16	MMD 049/17	MMD 049/18	MMD 049/19	MMD 049/20	MMD 049/21	MMD 049/22	MMD 049/23	MMD 049/24
Litologia	metabasalto	andesito	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto
wt (%)													
SiO ₂	40.97	57.99	48.81	36.39	40.34	46.93	52.33	47.55	47.23	48.21	46.63	43.26	45.83
TiO ₂	1.56	0.72	2.21	1.58	2.04	2.31	2.12	1.86	1.62	1.45	2.05	1.9	1.84
Al ₂ O ₃	11.13	15.33	12.74	9.71	11.51	13.52	11.75	13.15	12.51	10.93	14.37	12.11	12.43
Fe ₂ O ₃	18.06	7.51	16.3	19.34	18.16	14.41	20.42	14.2	13.9	12.7	15.78	14.46	14.16
MnO	0.29	0.11	0.24	0.34	0.29	0.19	0.21	0.17	0.2	0.22	0.22	0.2	0.18
MgO	3.61	5.21	4.55	4.52	4.81	3.15	3.06	4.83	6.16	3.92	6.2	5.79	5.57
CaO	13.50	4.02	8.97	14.33	11.79	8.45	3.46	7.11	9.8	13.44	7.3	9.68	7.71
Na ₂ O	2.68	5.56	2.21	0.69	0.93	3.35	1.62	2.73	2.3	1.3	3.27	2.18	2.47
K ₂ O	0.34	0.64	0.24	0.1	0.19	0.43	0.06	0.16	0.09	0.42	0.4	0.47	2.21
P ₂ O ₅	0.14	0.21	0.21	0.16	0.2	0.24	0.67	0.18	0.16	0.13	0.2	0.16	0.17
Cr ₂ O ₃	0.012	0.025	0.004	0.005	0.008	<0.002	<0.002	0.02	0.018	0.018	0.02	0.014	0.014
LOI (%)	7.5	2.3	3.3	12.6	9.5	6.8	4.2	7.8	5.8	7.1	3.3	9.6	7.2
Total	99.792	99.625	99.784	99.765	99.768	99.78	99.9	99.76	99.788	99.838	99.74	99.824	99.784
(ppm)													
Ba	170	1765	152	58	84	131	28	76	28	119	9.4	5.6	5.2
Rb	10.3	7.9	7.8	3.7	6.1	9.8	1.4	3.4	1.7	11.2	9.7	11.6	55.3
Sr	111.5	148.1	149.6	82.8	85.8	116.6	32.1	49.7	112.4	160.5	117.6	90	85.3
Y	26.0	17.2	44.2	36.1	40.3	44.9	62.5	36.4	32.9	29	41.7	38.6	35.5
Zr	84.6	136.5	131.6	91.7	118.3	141.7	219.9	114.9	102.8	89.6	123.3	112.8	105.2
Nb	3.4	6.8	6.1	3.6	4.9	6.3	9.6	4.7	4	3.5	6.1	5.1	4.7
Ta	0.3	0.6	0.5	0.2	0.4	0.4	0.7	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3
Th	0.6	3.6	0.9	0.7	0.8	1	1.5	0.8	0.8	0.6	0.8	0.9	0.8
Pb	9.1	1.2	1.4	2.2	0.5	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5	2	1.9
Ga	14.9	17.3	19.6	15.4	18.5	19.8	23	18.9	17.5	15.6	20	16.2	17.1
Zn	109	51	83	105	109	109	172	108	69	59	100	94	97
Cu	119.4	55.1	66.9	50.2	110.7	83.4	12.9	91.3	97.7	49.1	136.2	117.1	89.7
Ni	44.8	67.6	23.8	22.1	28.2	20.7	1.8	59.1	58.8	41.2	63.6	55.4	57.3
V	378	136	455	361	417	384	28	454	401	381	495	415	457
Hf	2.5	3.8	3.9	2.9	3.5	4.3	6	3.5	3.1	2.8	3.5	3.6	3.2
Cs	1.1	0.5	0.9	0.6	0.7	0.4	0.2	0.2	0.2	0.7	0.9	0.8	2.9
Co	42.4	24.1	43	36.8	44.7	45.1	17.3	42.8	43.2	35	45.2	43	39.7

Amostra	MMD 049/12	MMD 049/13	MMD 049/14	MMD 049/15	MMD 049/16	MMD 049/17	MMD 049/18	MMD 049/19	MMD 049/20	MMD 049/21	MMD 049/22	MMD 049/23	MMD 049/24
(ppm)													
U	0.5	0.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
W	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1.2	2.9	0.6	<0.5	<0.5	24.4	1.4
La	5.0	21.7	8	5.8	6.8	7.9	13	7.7	5.8	5.2	9.4	5.6	5.2
Sc	31	18	40	30	37	39	37	41	37	33	49	42	42
Ce	13.2	47	20.9	14.7	17.8	21.4	34.5	19	15	12.7	21.3	17.6	16
Pr	1.94	5.53	2.95	2.23	2.66	3.08	5.15	2.75	2.21	1.95	2.98	2.55	2.31
Nd	10.4	21.4	15.3	10.4	13.4	16.6	25.3	13.3	11.2	9.3	14.4	12.9	12.4
Sm	2.95	4.04	4.55	3.52	4.09	5.02	7.99	4.15	3.6	2.98	4.25	3.93	3.58
Eu	0.89	1.02	1.64	1.07	1.41	1.69	3	1.43	1.2	1.06	1.52	1.33	1.31
Gd	3.93	3.61	6.45	5.17	5.77	6.75	10.77	5.6	4.78	4.29	5.97	5.3	4.83
Tb	0.73	0.55	1.2	0.95	1.11	1.26	1.93	1.05	0.91	0.81	1.13	1.06	0.94
Dy	4.54	2.99	7.42	6.07	6.67	7.51	11.68	6.02	5.66	4.93	7.1	6.66	5.82
Ho	1.08	0.58	1.65	1.37	1.56	1.73	2.5	1.45	1.29	1.16	1.36	1.3	1.14
Er	2.95	1.71	4.9	3.94	4.54	4.95	6.91	4.01	3.54	3.33	4.42	4.35	3.68
Tm	0.45	0.26	0.73	0.62	0.67	0.77	1.05	0.62	0.55	0.48	0.64	0.63	0.55
Yb	2.84	1.62	4.52	4.09	4.19	4.73	6.71	3.79	3.49	3.16	3.98	3.95	3.42
Lu	0.45	0.25	0.69	0.61	0.66	0.73	0.93	0.59	0.55	0.46	0.59	0.58	0.51
As	1.9	0.9	2.3	1.8	1.4	6.4	1.4	3.4	2.5	1.8	3.1	24.7	7.6
Se	1.4	<0.5	0.9	0.9	1	0.7	0.7	0.8	0.8	0.5	<0.5	0.5	0.5
Mo	0.8	0.6	0.7	0.2	0.4	0.5	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1
Au (ppb)	0.7	<0.5	<0.5	0.9	2.7	2.7	0.9	5.4	2.3	<0.5	6.3	8.7	5.4
$\{(Cs+Rb)/Th\}_i$	4.9	0.4	2.7	2.3	2.3	1.1	0.4	0.7	0.7	3.1	3.0	4.1	18.9

Anexo B (cont.)

Furo MMD 049 (cont.)

Amostra	MMD 049/25	MMD 049/26	MMD 049/27	MMD 049/28	MMD 049/29	MMD 049/30	MMD 049/31	MMD 049/32	MMD 049/33	MMD 049/34	MMD 049/35	MMD 049/36
Litologia	metabasalto	metabasalto	ore	ore	metabasalto	metabasalto	andesito	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	andesito
wt (%)												
SiO ₂	45.73	44.89	85.92	95.95	68.38	63.06	53.59	45.78	45.81	47.4	48.88	60.4
TiO ₂	1.64	1.65	0.25	0.03	0.94	1.21	0.85	1.89	1.85	1.63	1.79	0.73
Al ₂ O ₃	12.6	12.84	2.27	0.71	6.33	5.22	13.91	12.72	12.58	13.49	13.53	14.34
Fe ₂ O ₃	13.21	13.7	3.59	1.75	7.65	10.5	7.76	14.21	14.21	12.59	14.55	7.04
MnO	0.17	0.17	0.05	0.02	0.11	0.13	0.11	0.18	0.19	0.19	0.2	0.11
MgO	5.51	5.68	1.07	0.24	2.42	3.18	3.89	5.68	5.85	5.18	6.33	4.13
CaO	8.69	8.43	3.56	0.66	5.66	7.62	7.21	8.14	7.96	12.2	9.26	5.03
Na ₂ O	2.64	2.56	0.4	0.23	2.15	1.04	5.04	2.45	2.37	1.95	2.43	5.89
K ₂ O	0.22	0.58	0.08	0.01	0.97	1.48	0.09	0.23	0.65	1.11	0.1	0.13
P ₂ O ₅	0.16	0.19	0.02	0.01	0.02	0.02	0.18	0.18	0.17	0.18	0.17	0.21
Cr ₂ O ₃	0.017	0.019	0.004	0.003	0.007	0.003	0.025	0.014	0.015	0.019	0.021	0.040
LOI (%)	9.2	9.1	2.8	0.4	5.2	6.4	7.2	8.3	8.1	3.8	2.5	1.8
Total	99.787	99.809	100.014	100.013	99.837	99.863	99.855	99.774	99.755	99.739	99.761	
(ppm)												
Ba	5	5.4	1	0.5	3	5.8	18.5	7.9	5.7	10.8	6.5	57
Rb	4.4	11.1	1.3	0.3	19.4	34.2	1.5	6	17.9	19.3	1.4	1.4
Sr	112.8	182.5	65	8.8	161.6	197.1	130.8	99	85.7	117.3	145.3	47.7
Y	35.2	35.8	5.8	0.8	19.2	26.6	20.4	39.5	39.1	34	37.9	16.0
Zr	99.7	104	14.2	3.8	55.9	75.6	124.9	118.9	113.8	117.7	110.2	132.9
Nb	4.8	4.7	0.8	0.2	2.5	3.7	6.4	5.5	5.2	5.6	5.1	6.1
Ta	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5
Th	0.8	0.6	0.2	0.2	0.3	0.6	3.4	1	0.9	1.4	0.8	3.2
Pb	1	1.4	1.2	0.4	3.3	6.9	1.1	1.2	0.9	0.8	0.6	0.5
Ga	16.8	18.7	3.2	1	6.3	8	17	18.7	17.9	18.1	19.8	12.8
Zn	88	95	23	4	42	60	61	73	95	47	67	35
Cu	81.8	83.4	35.6	7.3	342.7	70	48.8	101.8	60.9	85.5	112	39.5
Ni	67.3	74.1	9.7	4	27.3	19.8	100.4	57.4	60.3	38	52.6	50.4
V	442	458	93	10	151	306	204	511	510	435	513	120
Hf	3	3.2	0.4	0.1	1.4	1.9	3.5	3.4	3.1	3.2	3.4	3.5
Cs	0.3	0.3	0.1	0.1	1	1.4	0.1	0.4	0.9	0.6	0.1	0.1
Co	40.2	41.3	8.2	1.5	21.1	23.9	28.4	49.5	43	39.1	48.1	21.3

Amostra	MMD 049/25	MMD 049/26	MMD 049/27	MMD 049/28	MMD 049/29	MMD 049/30	MMD 049/31	MMD 049/32	MMD 049/33	MMD 049/34	MMD 049/35	MMD 049/36
(ppm)												
U	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	0.3	0.2	0.4	0.2	0.9
W	2.8	13.7	37.3	1.5	76.1	216.1	4.7	1.9	1.2	1.9	0.5	0.5
La	5	5.4	1	0.5	3	5.8	18.5	7.9	5.7	10.8	6.5	21.0
Sc	39	39	8	1	22	26	21	43	41	40	45	17
Ce	15.4	16.3	2.7	1.3	9.1	14.5	43.6	20.8	15.8	25.9	17.4	47.0
Pr	2.2	2.34	0.37	0.13	1.3	2.14	5.23	2.87	2.46	3.45	2.58	5.67
Nd	11.4	11.3	1.8	0.6	6.8	11.2	22.8	14.5	13.6	16.6	13.6	22.4
Sm	3.48	3.51	0.51	0.11	2.07	3.13	4.15	4.28	4.08	4.29	4.1	4.08
Eu	1.14	1.28	0.19	0.04	0.65	0.94	1.78	1.43	1.37	1.25	1.35	1.09
Gd	4.73	4.81	0.8	0.15	2.66	4.06	3.99	5.68	5.68	5.2	5.57	3.56
Tb	0.9	0.94	0.15	0.02	0.51	0.75	0.62	1.07	1.02	0.91	1.02	0.53
Dy	5.71	5.76	0.93	0.14	3.24	4.79	3.59	6.83	6.74	5.7	6.75	3.00
Ho	1.1	1.11	0.2	0.02	0.61	1	0.74	1.45	1.42	1.23	1.42	0.62
Er	3.66	3.67	0.56	0.07	2.01	3	2.1	4.29	4.15	3.62	4.18	1.68
Tm	0.54	0.54	0.09	0.01	0.31	0.42	0.3	0.62	0.6	0.51	0.59	0.24
Yb	3.25	3.33	0.57	0.07	1.83	2.74	2.06	4.19	4.08	3.55	3.97	1.66
Lu	0.49	0.51	0.09	0.01	0.28	0.41	0.3	0.6	0.6	0.53	0.58	0.26
As	9.8	25.7	41.9	7.5	201.1	198.5	14.9	19.8	5.9	47.7	8.2	3.7
Se	0.5	0.5	0.5	0.5	2	2.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7
Mo	0.4	0.4	0.5	0.8	0.4	0.8	1.2	0.5	0.4	0.7	0.5	1.9
Ag	0.1	0.2	7.4	20.1	3.7	2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Au (ppb)	31.8	58.9	100000	100000	34447.5	16079.6	3.2	9.9	2.2	7.8	2.6	0.5
$\frac{((Cs+Rb)/Th)_t}{(U)_t}$	1.7	3.8	2.2	1.5	17.5	13.8	0.1	1.9	5.3	3.0	0.6	

Anexo B (cont.)

Furo BBD 014

FORA Z.M

Amostra	BBD 014/01	BBD 014/02	BBD 014/03	BBD 014/04	BBD 014/05	BBD 014/06	BBD 014/07	BBD 014/08	BBD 014/09	BBD 014/10	BBD 014/11	REG 100
Litologia	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	metabasalto	ore	metabasalto	metabasalto	basalto
wt (%)												
SiO ₂	45.73	47.42	47.09	41.11	47.66	42.84	45.16	44.13	76.80	35.41	47.48	48.98
TiO ₂	1.20	1.45	1.40	1.10	1.19	1.27	1.25	1.16	0.09	1.30	1.64	0.76
Al ₂ O ₃	11.22	14.14	14.18	11.37	12.65	12.50	12.42	13.25	1.75	13.94	14.26	15.73
Fe ₂ O ₃	12.26	15.08	13.92	10.13	12.61	12.20	12.04	12.22	2.55	11.92	14.27	10.66
MnO	0.18	0.23	0.18	0.18	0.19	0.16	0.18	0.18	0.10	0.21	0.18	0.20
MgO	5.87	6.81	6.84	4.58	6.74	6.62	6.59	7.69	1.12	7.19	6.09	5.69
CaO	10.73	8.90	10.26	15.45	11.04	10.75	9.74	7.76	9.41	12.79	9.65	14.09
Na ₂ O	0.82	1.44	2.01	1.79	1.86	2.14	2.15	0.84	0.07	2.65	1.54	1.80
K ₂ O	0.79	0.29	0.12	0.37	0.67	0.07	0.06	1.12	0.20	0.18	0.08	0.12
P ₂ O ₅	0.10	0.12	0.11	0.09	0.10	0.10	0.11	0.09	0.03	0.11	0.14	0.05
Cr ₂ O ₃	0.014	0.025	0.017	0.016	0.040	0.034	0.031	0.053	0.008	0.035	0.017	0.050
LOI (%)	10.8	3.8	3.6	13.6	5.0	11.1	10.1	11.3	7.9	14.0	4.4	1.7
Total	99.71	99.71	99.73	99.79	99.75	99.78	99.83	99.79	100.03	99.74	99.75	99.83
(ppm)												
Ba	186	72	33	124	121	13	11	124	19	18	15	39
Rb	20.6	6.8	2.2	9.7	11.8	1.5	1.1	32.1	4.7	3.9	1.8	2.5
Sr	78.6	151.2	140.2	46.4	103.1	54.7	67.2	59.5	80.3	175.2	137.0	171.6
Y	24.0	28.3	26.6	24.2	23.0	23.7	26.4	20.4	4.9	14.8	30.4	18.3
Zr	67.7	80.9	75.4	76.9	68.4	69.0	78.4	64.6	8.3	72.9	94.5	40.4
Nb	3.0	3.6	3.0	3.1	3.0	2.9	3.5	2.7	0.3	3.5	3.8	1.8
Ta	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	<0.1	0.2	0.3	0.1
Th	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	<0.2	0.5	0.6	0.3
Pb	0.5	0.6	0.7	0.3	0.5	0.5	0.7	1.0	1.0	1.0	0.3	0.7
Ga	13.9	17.9	16.6	12.9	14.7	15.2	15.5	15.1	2.2	14.8	18.4	15.6
Zn	82	69	49	59	44	75	78	71	12	75	75	23
Cu	104.9	100.1	106.4	105.7	98.5	108.9	64.2	73.1	9.0	101.8	87.1	105.4
Ni	83.3	86.7	67.8	74.5	117.8	70.4	69.6	128.3	17.1	85.5	70.6	98.2
V	309	405	390	284	331	361	345	327	40	308	433	305
Hf	2.1	2.3	2.1	2.1	2.1	2.0	2.4	1.9	0.3	2.5	2.8	1.2
Cs	1.0	0.4	0.3	0.3	<0.1	0.1	<0.1	0.9	0.2	0.5	0.2	0.1
Co	43.9	58.9	49.0	32.8	66.5	43.0	42.7	45.4	5.9	35.4	44.8	54.7

Amostra	BBD 014/01	BBD 014/02	BBD 014/03	BBD 014/04	BBD 014/05	BBD 014/06	BBD 014/07	BBD 014/08	BBD 014/09	BBD 014/10	BBD 014/11	FORA Z.M.
(ppm)												
U	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.2	<0.1	0.1	0.1	<0.1	0.4	0.2	0.1
W	1.2	0.6	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	2.0	2.3	32.3	1.0	0.5
La	4.7	4.5	4.5	3.9	3.6	3.7	3.1	2.8	1.2	4.3	5.6	2.5
Sc	33	42	41	32	37	39	39	34	6	34	36	45
Ce	11.8	11.4	11.5	10.6	9.8	10.2	8.4	7.0	2.6	11.1	14.1	6.6
Pr	1.75	1.76	1.68	1.52	1.47	1.46	1.29	1.03	0.32	1.61	2.13	0.98
Nd	7.5	8.3	8.3	7.6	6.6	7.4	6.5	4.8	1.2	7.7	10.4	5.5
Sm	2.78	2.82	2.80	2.55	2.49	2.44	2.47	1.73	0.42	2.41	3.46	1.60
Eu	0.85	1.05	1.02	0.60	0.87	0.93	0.90	0.59	0.18	0.90	1.19	0.67
Gd	3.52	4.15	3.88	3.59	3.38	3.50	3.53	2.65	0.70	2.60	4.65	2.34
Tb	0.67	0.78	0.76	0.68	0.65	0.69	0.71	0.56	0.13	0.46	0.88	0.45
Dy	4.16	4.99	4.71	4.35	3.93	4.19	4.31	3.55	0.89	2.59	5.14	2.71
Ho	0.96	1.09	1.08	0.99	0.93	0.94	1.02	0.89	0.20	0.57	1.22	0.55
Er	2.74	3.22	3.05	2.73	2.58	2.83	3.00	2.33	0.67	1.73	3.54	1.82
Tm	0.41	0.49	0.45	0.42	0.41	0.43	0.44	0.36	0.11	0.28	0.52	0.26
Yb	2.53	3.08	2.92	2.73	2.68	2.58	2.90	2.42	0.78	2.16	3.38	1.70
Lu	0.41	0.46	0.47	0.44	0.41	0.39	0.43	0.39	0.15	0.33	0.52	0.24
As	11.6	11.2	14.7	3.8	97.2	7.7	50.9	29.7	5.2	12.4	25.1	3.9
Se	<0.5	0.5	<0.5	0.6	1.6	<0.5	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	0.5
Mo	0.4	0.3	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.2	0.8	0.4	0.3	0.6
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.3
Au (ppb)	2.0	<0.5	<0.5	<0.5	46.6	1.7	12.2	3.6	463.5	14.9	5.4	0.5
$\frac{((Cs+Rb)/Th)_t}{(U)_t}$	13.5	3.9	2.2	4.2	3.7	1.2	0.8	16.7	5.8	3.7	1.3	2.0

Anexo C: Propriedades Físicas - Dados Gamaespectrométricos

Furo MMD 001

Profundidade (m)	CT	K (CPS)	U (CPS)	TH (CPS)	CT (%)	K (%)	U (%)	TH (%)
36.00	288	8	16	14	12.52	0.11	2.13	3.11
41.00	277	13	5	11	12.04	0.17	0.67	2.44
46.00	309	9	14	18	13.43	0.12	1.87	4.00
51.00	297	19	12	15	12.91	0.25	1.60	3.33
56.00	298	17	11	15	12.96	0.23	1.47	3.33
61.00	316	13	18	16	13.74	0.17	2.40	3.56
62.00	335	14	14	18	14.57	0.19	1.87	4.00
63.00	293	8	12	15	12.74	0.11	1.60	3.33
64.00	311	10	13	14	13.52	0.13	1.73	3.11
65.00	303	10	13	16	13.17	0.13	1.73	3.56
66.00	293	8	13	15	12.74	0.11	1.73	3.33
67.00	291	7	11	12	12.65	0.09	1.47	2.67
68.00	292	2	20	18	12.70	0.03	2.67	4.00
69.00	322	13	21	15	14.00	0.17	2.80	3.33
70.00	321	16	10	14	13.96	0.21	1.33	3.11
71.00	331	20	16	14	14.39	0.27	2.13	3.11
72.00	335	13	16	14	14.57	0.17	2.13	3.11
73.00	348	10	24	16	15.13	0.13	3.20	3.56
74.00	324	10	15	17	14.09	0.13	2.00	3.78
75.00	317	12	21	13	13.78	0.16	2.80	2.89
76.00	312	8	13	17	13.57	0.11	1.73	3.78
81.00	334	16	16	15	14.52	0.21	2.13	3.33
86.00	296	8	15	18	12.87	0.11	2.00	4.00
91.00	292	15	9	15	12.70	0.20	1.20	3.33
96.00	290	12	11	15	12.61	0.16	1.47	3.33
101.00	337	22	17	12	14.65	0.29	2.27	2.67
106.00	270	11	7	14	11.74	0.15	0.93	3.11
111.00	247	4	12	16	10.74	0.05	1.60	3.56
116.00	253	5	6	15	11.00	0.07	0.80	3.33
121.00	237	0	5	16	10.30	0.00	0.67	3.56
126.00	246	3	9	15	10.70	0.04	1.20	3.33
131.20	362	42	12	15	15.74	0.56	1.60	3.33
136.00	240	3	8	14	10.43	0.04	1.07	3.11
141.00	255	7	6	15	11.09	0.09	0.80	3.33
146.00	249	2	5	13	10.83	0.03	0.67	2.89
151.00	248	6	7	14	10.78	0.08	0.93	3.11
156.00	270	14	8	13	11.74	0.19	1.07	2.89
161.00	254	3	7	15	11.04	0.04	0.93	3.33
166.00	240	8	7	13	10.43	0.11	0.93	2.89
171.00	257	5	11	14	11.17	0.07	1.47	3.11
176.00	264	4	9	14	11.48	0.05	1.20	3.11
181.00	238	-2	7	16	10.35	0.00	0.93	3.56
186.00	248	8	3	15	10.78	0.11	0.40	3.33
191.00	239	6	3	15	10.39	0.08	0.40	3.33
196.00	251	1	7	15	10.91	0.01	0.93	3.33
201.00	248	4	8	16	10.78	0.05	1.07	3.56
206.00	258	14	5	17	11.22	0.19	0.67	3.78
211.00	244	5	6	16	10.61	0.07	0.80	3.56
216.00	336	34	10	15	14.61	0.45	1.33	3.33
221.00	242	-3	6	13	10.52	0.00	0.80	2.89
226.00	242	1	6	16	10.52	0.01	0.80	3.56
231.00	255	5	7	15	11.09	0.07	0.93	3.33
236.00	245	4	6	15	10.65	0.05	0.80	3.33
241.00	315	34	6	15	13.70	0.45	0.80	3.33

Anexo C (cont.)

MMD 001 (cont.)

Profundidade (m)	CT	K (CPS)	U (CPS)	TH (CPS)	CT (%)	K (%)	U (%)	TH (%)
246.00	252	3	6	14	10.96	0.04	0.80	3.11
251.00	392	51	14	19	17.04	0.68	1.87	4.22
256.00	241	6	6	13	10.48	0.08	0.80	2.89
261.00	240	0	4	12	10.43	0.00	0.53	2.67
266.00	251	6	7	16	10.91	0.08	0.93	3.56
271.00	332	13	21	11	14.43	0.17	2.80	2.44
276.00	308	17	13	17	13.39	0.23	1.73	3.78
281.00	250	2	4	15	10.87	0.03	0.53	3.33
286.00	247	2	4	12	10.74	0.03	0.53	2.67
290.80	238	0	8	10	10.35	0.00	1.07	2.22
296.00	248	9	3	13	10.78	0.12	0.40	2.89
301.00	251	4	5	14	10.91	0.05	0.67	3.11
306.00	257	6	4	16	11.17	0.08	0.53	3.56
311.00	245	0	6	13	10.65	0.00	0.80	2.89
316.00	334	22	13	14	14.52	0.29	1.73	3.11
317.00	317	12	16	17	13.78	0.16	2.13	3.78
318.00	360	34	14	13	15.65	0.45	1.87	2.89
319.00	316	15	18	12	13.74	0.20	2.40	2.67
320.00	309	11	12	15	13.43	0.15	1.60	3.33
321.00	341	23	12	14	14.83	0.31	1.60	3.11
322.00	360	38	11	13	15.65	0.51	1.47	2.89
323.00	330	21	10	16	14.35	0.28	1.33	3.56
324.00	331	13	17	13	14.39	0.17	2.27	2.89
325.00	316	18	15	11	13.74	0.24	2.00	2.44
326.00	329	17	21	16	14.30	0.23	2.80	3.56
327.00	325	20	16	15	14.13	0.27	2.13	3.33
328.00	309	17	16	15	13.43	0.23	2.13	3.33
329.00	294	13	11	13	12.78	0.17	1.47	2.89
330.00	309	12	14	14	13.43	0.16	1.87	3.11
331.00	291	7	9	14	12.65	0.09	1.20	3.11
332.00	286	9	12	14	12.43	0.12	1.60	3.11
333.00	270	4	14	12	11.74	0.05	1.87	2.67
334.00	285	9	14	12	12.39	0.12	1.87	2.67
335.00	288	19	9	18	12.52	0.25	1.20	4.00
336.00	286	11	11	14	12.43	0.15	1.47	3.11

Furo MMD 049

Profundidade (m)	CT	K (CPS)	U (CPS)	TH (CPS)	CT (%)	K (%)	U (%)	TH (%)
21.00	218	57	10	23	9.48	0.76	1.33	5.11
26.00	438	63	12	20	19.04	0.84	1.60	4.44
31.00	369	44	10	19	16.04	0.59	1.33	4.22
36.00	350	26	9	18	15.22	0.35	1.20	4.00
41.00	331	24	8	20	14.39	0.32	1.07	4.44
46.00	289	2	22	14	12.57	0.03	2.93	3.11
51.00	300	9	19	17	13.04	0.12	2.53	3.78
56.00	275	7	10	13	11.96	0.09	1.33	2.89
61.00	274	4	13	16	11.91	0.05	1.73	3.56
66.00	300	7	12	18	13.04	0.09	1.60	4.00
71.00	290	13	10	13	12.61	0.17	1.33	2.89
76.00	285	15	8	14	12.39	0.20	1.07	3.11
81.00	280	12	11	14	12.17	0.16	1.47	3.11
86.00	285	8	13	13	12.39	0.11	1.73	2.89
91.00	302	18	12	18	13.13	0.24	1.60	4.00
96.00	290	17	7	14	12.61	0.23	0.93	3.11

Anexo C (cont.)

MMD 049 (cont.)

Profundidade (m)	CT	K (CPS)	U (CPS)	TH (CPS)	CT (%)	K (%)	U (%)	TH (%)
101.00	276	14	6	11	12.00	0.19	0.80	2.44
106.00	258	7	8	14	11.22	0.09	1.07	3.11
111.00	277	8	10	12	12.04	0.11	1.33	2.67
116.00	306	16	15	21	13.30	0.21	2.00	4.67
121.00	277	11	13	19	12.04	0.15	1.73	4.22
126.00	300	6	12	11	13.04	0.08	1.60	2.44
131.00	321	22	12	18	13.96	0.29	1.60	4.00
136.00	299	13	13	11	13.00	0.17	1.73	2.44
141.00	280	11	11	13	12.17	0.15	1.47	2.89
146.00	298	16	12	11	12.96	0.21	1.60	2.44
151.00	292	16	13	15	12.70	0.21	1.73	3.33
156.00	327	28	16	13	14.22	0.37	2.13	2.89
161.00	282	10	12	12	12.26	0.13	1.60	2.67
166.00	261	12	6	13	11.35	0.16	0.80	2.89
171.00	258	8	4	15	11.22	0.11	0.53	3.33
172.00	276	11	9	14	12.00	0.15	1.20	3.11
173.00	268	7	10	14	11.65	0.09	1.33	3.11
174.00	270	6	7	11	11.74	0.08	0.93	2.44
175.00	293	23	3	12	12.74	0.31	0.40	2.67
176.00	252	6	9	11	10.96	0.08	1.20	2.44
177.00	330	38	11	14	14.35	0.51	1.47	3.11
178.00	290	18	9	17	12.61	0.24	1.20	3.78
179.00	278	15	11	16	12.09	0.20	1.47	3.56
180.00	—	20	8	13	0.00	0.27	1.07	2.89
181.00	228	0	7	11	9.91	0.00	0.93	2.44
182.00	278	23	3	13	12.09	0.31	0.40	2.89
183.00	288	21	6	11	12.52	0.28	0.80	2.44
184.00	234	0	7	9	10.17	0.00	0.93	2.00
185.00	270	3	7	13	11.74	0.04	0.93	2.89
186.00	331	23	12	12	14.39	0.31	1.60	2.67
187.00	285	25	6	18	12.39	0.33	0.80	4.00
188.00	256	1	11	11	11.13	0.01	1.47	2.44
189.00	280	12	18	12	12.17	0.16	2.40	2.67
190.00	249	6	9	13	10.83	0.08	1.20	2.89
191.00	258	0	13	10	11.22	0.00	1.73	2.22
196.00	238	4	1	16	10.35	0.05	0.13	3.56

Furo BBD 014

Profundidade (m)	CT	K (CPS)	U (CPS)	TH (CPS)	CT (%)	K (%)	U (%)	TH (%)
36.00	314	22	10	19	13.65	0.29	1.33	4.22
42.00	285	14	9	15	12.39	0.19	1.20	3.33
47.00	271	7	12	15	11.78	0.09	1.60	3.33
52.00	267	7	9	16	11.61	0.09	1.20	3.56
62.00	256	7	8	11	11.13	0.09	1.07	2.44
72.00	266	9	9	11	11.57	0.12	1.20	2.44
82.00	318	11	14	13	13.83	0.15	1.87	2.89
92.00	279	13	10	13	12.13	0.17	1.33	2.89
102.00	266	5	9	16	11.57	0.07	1.20	3.56
112.00	271	3	10	13	11.78	0.04	1.33	2.89
122.00	256	3	17	14	11.13	0.04	2.27	3.11
123.00	261	4	11	11	11.35	0.05	1.47	2.44
124.00	250	3	11	14	10.87	0.04	1.47	3.11
125.00	323	34	14	14	14.04	0.45	1.87	3.11
126.00	282	9	9	13	12.26	0.12	1.20	2.89

Anexo C (cont.)

BBD 014 (cont.)

Profundidade (m)	CT	K (CPS)	U (CPS)	TH (CPS)	CT (%)	K (%)	U (%)	TH (%)
127.00	300	24	6	14	13.04	0.32	0.80	3.11
128.00	296	18	14	16	12.87	0.24	1.87	3.56
129.00	260	6	6	15	11.30	0.08	0.80	3.33
130.00	317	34	8	13	13.78	0.45	1.07	2.89
131.00	347	45	12	15	15.09	0.60	1.60	3.33
132.00	257	4	7	14	11.17	0.05	0.93	3.11
133.00	250	7	5	12	10.87	0.09	0.67	2.67
134.00	260	6	8	11	11.30	0.08	1.07	2.44
135.00	265	5	12	12	11.52	0.07	1.60	2.67
136.00	274	10	9	15	11.91	0.13	1.20	3.33
137.00	294	19	9	11	12.78	0.25	1.20	2.44
138.00	321	35	9	14	13.96	0.47	1.20	3.11
139.00	293	23	9	14	12.74	0.31	1.20	3.11
140.00	304	18	10	14	13.22	0.24	1.33	3.11
141.00	253	9	3	15	11.00	0.12	0.40	3.33
142.00	256	3	10	12	11.13	0.04	1.33	2.67
152.00	254	5	6	12	11.04	0.07	0.80	2.67
162.00	263	5	13	14	11.43	0.07	1.73	3.11

Anexo D: Propriedades Físicas: Dados de Susceptibilidade Magnética

Furo MMD 001

Profund. (m)	SM (SI*10-3)	Profund. (m)	SM (SI*10-3)	Profund. (m)	SM (SI*10-3)
36.00	81.2	90.00	26.9	144.00	1.9
37.00	46.8	91.00	12.6	145.00	14.6
38.00	19.9	92.00	9.5	146.00	6.6
39.00	73.2	93.00	32.6	147.00	4.2
40.00	172	94.00	10.1	148.00	4.6
41.00	153	95.00	25.3	149.00	8.2
42.00	55.3	96.00	6	150.00	9.4
43.00	220	97.00	18.2	151.00	9.9
44.00	2	98.00	31.8	152.00	1.7
45.00	2.5	99.00	38.8	153.00	1.7
46.00	1	100.00	26	154.00	16.9
47.00	381	101.00	1.4	155.00	6.7
48.00	1.1	102.00	3.2	156.00	7.4
49.00	14.2	103.00	10	157.00	6.4
50.00	1.2	104.00	15.2	158.00	0
51.00	24	105.00	18.1	159.00	6.7
52.00	46	106.00	0.8	160.00	8.8
53.00	2	107.00	1.7	161.00	1.8
54.00	24.7	108.00	99.3	162.00	2.4
55.00	100	109.00	32.2	163.00	4.8
56.00	93	110.00	24.8	164.00	3.3
57.00	4.2	111.00	9.9	165.00	2.6
58.00	18.4	112.00	7	166.00	2.8
59.00	14.9	113.00	12.3	167.00	1.8
60.00	17.7	114.00	6.1	168.00	1.3
61.00	0.8	115.00	5.7	169.00	1.5
62.00	0.9	116.00	6.1	170.00	1.5
63.00	24.2	117.00	17.4	171.00	1.4
64.00	30.2	118.00	0.7	172.00	1.6
65.00	54.5	119.00	1.8	173.00	1.8
66.00	64.8	120.00	1.6	174.00	1.8
67.00	15.4	121.00	2.6	175.00	1.2
68.00	1.9	122.00	1.5	176.00	1.7
69.00	1.8	123.00	7.7	177.00	1.6
70.00	1.4	124.00	6.3	178.00	1.4
71.00	20.2	125.00	4.1	179.00	0.9
72.00	21	126.00	3.7	180.00	1.7
73.00	21	127.00	9.5	181.00	1.5
74.00	11.8	128.00	4	182.00	2.1
75.00	20	129.00	4.1	183.00	1.7
76.00	14	130.00	2.8	184.00	1.3
77.00	20.5	131.20	6.9	185.00	1.3
78.00	30.3	132.00	201	186.00	7.7
79.00	32.7	133.00	219	187.00	3.9
80.00	6.5	134.00	187	188.00	1.4
81.00	2.8	135.00	4.6	189.00	2.9
82.00	2.8	136.00	1.7	190.00	19.7
83.00	2.1	137.00	1.8	191.00	1.7
84.00	2.3	138.00	11.6	192.00	1.7
85.00	4.3	139.00	3.6	193.00	1.3
86.00	13.2	140.00	2	194.00	1.7
87.00	8	141.00	3.9	195.00	2.8
88.00	27.6	142.00	1.8	196.00	1.6
89.00	41.4	143.00	1.9	197.00	16

Anexo D (cont.)

MMD 001 (cont.)		Profund. (m) SM (SI*10-3)		Profund. (m) SM (SI*10-3)	
Profund. (m)	SM (SI*10-3)				
		252.00	240	306.00	106
198.00	3	253.00	8.1	307.00	152
199.00	6.6	254.00	1.4	308.00	116
200.00	2.1	255.00	1.6	309.00	99.2
201.00	1.3	256.00	1.4	310.00	71.8
202.00	1.5	257.00	4.8	311.00	63.3
203.00	7.6	258.00	7.3	312.00	25.5
204.00	1.8	259.00	1.6	313.00	17.2
205.00	1.2	260.00	4.7	314.00	38.3
206.00	1.2	261.00	2.5	315.00	43.1
207.00	1	262.00	4.3	316.00	16.8
208.00	61.6	263.00	1.5	317.00	15.1
209.00	1.5	264.00	1.2	318.00	29.6
210.00	1.5	265.00	1.2	319.00	8.6
211.00	2.3	266.00	1.7	320.00	13.7
212.00	1.5	267.00	1.5	321.00	3.3
213.00	1.6	268.00	1.4	322.00	1.4
214.00	1.8	269.00	1.1	323.00	2.5
215.00	34.5	270.00	3.3	324.00	9.8
216.00	117	271.00	5	325.00	5.2
217.00	213	272.00	1	326.00	38.1
218.00	33.7	273.00	10.2	327.00	170
219.00	2.2	274.00	7.8	328.00	81
220.00	2.6	275.00	2.4	329.00	258
221.00	2.1	276.00	0	330.00	196
222.00	3.5	277.00	9.3	331.00	83.2
223.00	3.1	278.00	9.9	332.00	86
224.00	3.3	279.00	11.9	333.00	52.3
225.00	18.9	280.00	6.8	334.00	33.2
226.00	8.2	281.00	5.5	335.00	67.8
227.00	3.1	282.00	4.6	336.00	55.5
228.00	4.5	283.00	19.9	337.00	117
229.00	6.1	284.00	20.2	338.00	51
230.00	20.5	285.00	19.5	339.00	111
231.00	7.4	286.00	14.1	340.00	90.1
232.00	8.1	287.00	13.1	341.00	103
233.00	14.3	288.00	19.7	342.00	14.4
234.00	9.5	289.00	15.6	343.00	123
235.00	1.3	290.00	1.9	344.00	61.7
236.00	1.2	290.80	8.7	345.00	20.7
237.00	1.2	292.00	8.2	346.00	20.1
238.00	0.9	293.00	7.2	347.00	15.8
239.00	1.5	294.00	15.2	348.00	30.5
240.00	237	295.00	15.8	349.00	19.3
241.00	253	296.00	21.5	350.00	24.7
242.00	51.8	297.00	38.7	351.00	63.9
243.00	178	298.00	39.7	352.00	31.8
244.00	2.1	299.00	118	353.00	61
245.00	1.3	300.00	247	354.00	168
246.00	1.7	301.00	217	355.00	38.3
247.00	1.6	302.00	187	356.00	28.7
248.00	1.6	303.00	74.6	357.00	27.4
249.00	2.9	303.50	142	358.00	32.4
250.00	162	304.00	38	359.00	26.1
251.00	222	305.00	102	360.00	24.2

Anexo D (cont.)

Furo MMD 049

Profund. (m)	SM (SI*10-3)	Profund. (m)	SM (SI*10-3)	Profund. (m)	SM (SI*10-3)
4.14	24.6	68.00	2.8	119.00	2.5
10.30	0.5	69.00	2.9	120.00	42.7
19.00	80.9	70.00	1.7	121.00	55.2
19.58	104	71.00	27.9	122.00	17
20.00	99.2	72.00	9.7	123.00	49.4
21.00	80.6	72.50	3	124.00	24.2
22.00	66.4	73.00	24.6	125.00	62.9
23.00	92.3	74.00	31.5	126.00	31.4
24.00	75.5	75.00	27.8	127.00	31.6
25.00	89.5	76.00	35.6	128.00	19.7
26.00	74.8	77.00	73.7	129.00	6.2
27.00	74	77.50	40.2	130.00	1.3
28.00	61	78.00	0.6	131.00	9.1
29.00	81.3	79.00	23.7	132.00	15
30.00	86.8	80.00	38	133.00	1.5
31.00	31.8	81.00	79.2	134.00	1.8
32.00	68.2	82.00	33.8	135.00	19.4
33.00	87.8	83.00	0.5	136.00	37.1
34.00	78.5	84.00	0.6	137.00	14.6
34.50	76.4	85.00	0.6	138.00	17.2
35.00	75.5	86.00	0.6	139.00	217
36.00	35.9	87.00	171	140.00	313
37.00	1.9	88.00	79.5	141.00	20.4
38.00	0.7	89.00	5.7	142.00	1.1
39.00	0.5	90.00	85.8	143.00	9.6
40.00	0.6	91.00	50	144.00	15.7
41.00	1.2	92.00	118	145.00	12.4
42.00	3.5	93.00	0.2	146.00	10.4
43.00	14.8	94.00	0.7	147.00	11.3
44.00	25.1	95.00	52.2	148.00	24.1
45.00	1.8	96.00	99.7	149.00	14.8
46.00	2.4	97.00	80	150.00	5.2
47.00	1.4	98.00	64.2	151.00	8.5
48.00	22.3	99.00	39.6	152.00	0.3
49.00	36.8	100.00	131	153.00	9.7
50.00	15.6	100.50	61.1	154.00	13.4
51.00	17.2	101.00	24.9	155.00	13.9
52.00	1.7	102.00	37.7	156.00	31.9
53.00	1.4	103.00	23.2	157.00	47.8
54.00	1.4	104.00	114	158.00	7.4
55.00	1.9	105.00	52.5	159.00	14.7
56.00	22.3	106.00	18.1	160.00	38.2
57.00	18.6	107.00	23.4	161.00	11.8
58.00	18.9	108.00	95.1	162.00	13.5
58.50	1.8	109.00	106	163.00	23.1
59.00	2.2	110.00	47.8	164.00	10.5
60.00	1.1	111.00	34.3	165.00	18
61.00	8.3	112.00	34.2	166.00	27.5
62.00	6	113.00	43.3	167.00	35.8
63.00	3.4	114.00	15.3	168.00	31
64.00	3.7	115.00	41.1	169.00	15.1
65.00	3.3	116.00	66.6	170.00	33.2
66.00	1.9	117.00	75.5	171.00	23.7
67.00	11.2	118.00	15.4	172.00	14

Anexo D (cont.)

MMD 049 (cont.)		Furo BBD 014			
Profund. (m)	SM (SI*10-3)	Profund. (m)	SM (SI*10-3)	Profund. (m)	SM (SI*10-3)
173.00	6	36.00	0.7	89.00	1.5
174.00	103	37.00	1.3	90.00	1.8
175.00	7.8	38.00	1.4	91.00	1.7
176.00	62.6	39.00	1.4	92.00	1.8
177.00	41.3	40.00	4.4	93.00	1.6
178.00	11.2	41.00	2.5	94.00	1.3
179.00	1	42.00	3.9	95.00	1.5
180.00	1.4	43.00	3.6	96.00	1.6
181.00	0	44.00	16.1	97.00	1.2
182.00	1.7	45.00	2.7	98.00	3.6
183.00	35.8	46.00	1.8	99.00	1.4
184.00	1.4	47.00	1.9	100.00	2.7
185.00	0.9	48.00	1.1	101.00	1.2
185.50	5.2	49.00	0.7	102.00	2.5
186.00	19.2	50.00	0.5	103.00	1.8
187.00	9.2	50.50	1.1	104.00	2.9
188.00	0.6	51.00	0.3	105.00	1.7
189.00	5.7	52.00	1.9	106.00	1
190.00	0.6	53.00	1.7	107.00	1.7
191.00	2.3	54.00	1.9	108.00	1.4
192.00	1.1	55.00	2.8	109.00	1.4
193.00	1.5	56.00	2.2	110.00	1.6
194.00	1.4	57.00	1.7	111.00	1.6
195.00	1.3	58.00	2.1	112.00	1.6
196.00	1.2	59.00	0.8	113.00	1.6
197.00	0.5	60.00	1	114.00	1.5
		61.00	2.1	115.00	1.8
		62.00	1.8	116.00	1.2
		63.00	3.1	117.00	1.4
		64.00	1.7	118.00	1.6
		65.00	1.7	119.00	1.7
		66.00	1.3	120.00	0.9
		67.00	0	121.00	1.2
		68.00	0	122.00	1.5
		69.00	0	123.00	1.6
		70.00	0	124.00	1.4
		71.00	1.9	125.00	1.7
		72.00	0	126.00	1
		73.00	1.5	127.00	1.4
		74.00	2.4	128.00	1.4
		75.00	1.5	129.00	1.5
		76.00	0	130.00	1.7
		77.00	0	131.00	1.2
		78.00	3.8	132.00	1.4
		79.00	0.8	133.00	1.4
		80.00	1.4	134.00	1.8
		81.00	1.3	135.00	0.8
		82.00	1.5	136.00	0.9
		83.00	1.7	137.00	1.1
		84.00	1	138.00	1
		85.00	1.2	139.00	1.2
		86.00	1.5	140.00	0.7
		87.00	1.8	141.00	1.2
		88.00	1.4	142.00	1

Anexo D (cont.)

BBD 014 (cont.)

Profund. (m)	SM (SI*10-3)
143.00	1.1
144.00	1
145.00	1
146.00	1
147.00	1.1
147.10	0.8
148.00	1.1
149.00	1.3
150.00	1.3
151.00	1.4
152.00	1.2
153.00	1.5
154.00	1.4
155.00	1.3
156.00	1.3
157.00	1.3
158.00	1.3
159.00	1.2
160.00	1.3
161.00	1.3
162.00	1.5
163.00	3.5
164.00	2.6
165.00	1.9
166.00	2.1
167.00	4
168.00	1.8
169.00	3.3
170.00	1.5