

**INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – GEOQUÍMICA**

WILSON LOPES DE OLIVEIRA NETO

**A INFLUÊNCIA DA FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA NA DISTRIBUIÇÃO DOS
ELEMENTOS QUÍMICOS EM SEDIMENTOS DE CORRENTE, REGIÃO DE PIATÃ
- BA, BRASIL: UMA ABORDAGEM GEOQUÍMICA E ESTATÍSTICA BASEADA NA
COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS AMOSTRAIS PROPOSTAS PELOS
SERVIÇOS GEOLÓGICOS DO BRASIL E DA CHINA**



**NITERÓI
2023**

WILSON LOPES DE OLIVEIRA NETO

**A INFLUÊNCIA DA FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA NA DISTRIBUIÇÃO DOS
ELEMENTOS QUÍMICOS EM SEDIMENTOS DE CORRENTE, REGIÃO DE PIATÃ
- BA, BRASIL: UMA ABORDAGEM GEOQUÍMICA E ESTATÍSTICA BASEADA NA
COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS AMOSTRAIS PROPOSTAS PELOS
SERVIÇOS GEOLÓGICOS DO BRASIL E DA CHINA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Geoquímica Ambiental.

Orientador:

Prof.º Dr.º Emmanoel Vieira da Silva Filho

Coorientador:

Dr.º Eduardo Duarte Marques

NITERÓI

2023

Ficha catalográfica automática - SDC/BGQ
Gerada com informações fornecidas pelo autor

048i Oliveira Neto, Wilson Lopes de
A influência da fração granulométrica na distribuição dos elementos químicos em sedimentos de corrente, região de Piatã - Ba, Brasil : Uma abordagem geoquímica e estatística baseada na comparação das metodologias amostrais propostas pelos Serviços Geológicos do Brasil e da China / Wilson Lopes de Oliveira Neto. - 2023.
137 f.: il.

Orientador: Emmanoel Vieira da Silva Filho.
Coorientador: Eduardo Duarte Marques.
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense, Instituto de Química, Niterói, 2023.

1. Prospecção geoquímica. 2. Geoquímica de sedimento fluvial. 3. Geoquímica de exploração. 4. Geoquímica ambiental. 5. Produção intelectual. I. Silva Filho, Emmanoel Vieira da, orientador. II. Marques, Eduardo Duarte, coorientador. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Química. IV. Título.

CDD - XXX

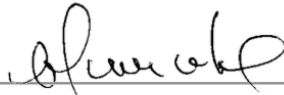
WILSON LOPES DE OLIVEIRA NETO

**A INFLUÊNCIA DA FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA NA DISTRIBUIÇÃO DOS
ELEMENTOS QUÍMICOS EM SEDIMENTOS DE CORRENTE, REGIÃO DE PIATÃ
- BA, BRASIL: UMA ABORDAGEM GEOQUÍMICA E ESTATÍSTICA BASEADA NA
COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS AMOSTRAIS PROPOSTAS PELOS
SERVIÇOS GEOLÓGICOS DO BRASIL E DA CHINA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Geoquímica Ambiental.

Aprovada em abril de 2023

BANCA EXAMINADORA



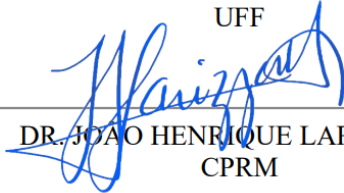
PROF. DR. EMMANOEL VIEIRA DA SILVA FILHO
ORIENTADOR / UFF



DR. EDUARDO DUARTE MARQUES
COORIENTADOR/CPRM



PROF. DR. EDISON DAUSACKER BIDONE
UFF



DR. JOAO HENRIQUE LARIZZATTI
CPRM

NITERÓI
2023

Dedico primeiro a Deus por existir e ter tido condições de desenvolver e absorver os conhecimentos e aprendizados necessários para o desenvolvimento desta atividade. A meus pais e em especial a minha tia Dina por sempre terem me incentivado e me proporcionado o primeiro contato com as geociências. A minha filha por ser minha maior motivação e inspiração. A minha namorada pelo companheirismo, parceria, por toda participação e dedicação e suporte em todas as situações. A todos os amigos e professores da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM por ter me proporcionado amplas condições de desenvolvimento tanto pessoal quanto profissional, além de ter me dado o apoio necessário para a realização desta atividade. Em especial, a Diretoria de Geologia e Recursos minerais (DGM), ao chefe do Departamento de Recursos Minerais (DEREM), Marcelo Esteves Almeida, à chefe da Divisão de Geoquímica (DIGEOQ), Silvana de Carvalho Melo, pela confiança e oportunidade de desenvolver esta pesquisa. A colega Caroline Couto Santos, por todo o apoio, toda participação e contribuição e a todos os demais colegas integrantes da DIGEOQ, todos de alguma forma contribuiu com essa construção. Ao colega Cassiano Castro por todo o incentivo e apoio na idealização deste trabalho ao professor Otávio Licht pela prontidão em me atender e pela ajuda no amadurecimento do tema.

A Universidade Federal Fluminense (UFF) por todas as oportunidades de obtenção de conhecimento e desenvolvimento. Ao Professor Dr. Emmanoel Vieira da Silva Filho e Dr. Eduardo Duarte Marques pela orientação durante o desenvolvimento desta dissertação e compreensão dos percalços pessoais e profissionais que ocorreram pelo caminho. E a todos os professores e colegas do departamento de geoquímica da UFF por terem proporcionado um ambiente próspero e produtivo de conhecimento em alto nível, mesmo diante de todas as adversidades impostas pela época, principalmente aquelas da pandemia de COVID-19. Tivemos perdas, porém, estamos vencendo!

RESUMO

Este trabalho derivou do Projeto Mapeamento Geoquímico da Folha Piatã, realizado em cooperação técnica entre os serviços geológicos do Brasil (SGB-CPRM) e China (CGS), executado na porção central da Bahia, nordeste do Brasil no contexto geológico do Bloco Gavião, unidade geotectônica do Cráton do São Francisco. Foram utilizados sedimentos ativos de corrente de dois contextos geológicos diferentes, que foram peneirados a três frações granulométrica: a) entre 10 e 60 *mesh*, menor que 80 *mesh*, e menor que 120 *mesh* (entre 2 e 0,25, menor que 0,177 e menor que 0,125 milímetros), após foram digeridas em água régia e analisadas em ICP-MS/OES, com a finalidade de avaliar o impacto da composição textural (tamanho das partículas) no *background* geoquímico, além da influência do substrato litológico e da variação da fração granulométrica na obtenção de resultados geoquímicos. Os resultados foram explorados através de técnicas estatísticas não-paramétricas adequadas a variáveis quantitativas, contínuas (concentração dos elementos químicos). Foi possível identificar para a maioria dos elementos a tendência de obter resultados mais elevados à medida que analisamos frações granulométricas mais finas, sugerindo atenuação da diluição dos teores, decorrente da menor participação de quartzo e outros minerais primários inertes, ou menos reativos à ação da água régia. Foi possível identificar também que para os elementos Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Mo, Sr e Sn, a fração granulométrica que apresentou os melhores resultados foi a menor que 80 *mesh* (0,177 mm). As faixas de *background* geoquímico dos elementos definidas para as duas regiões estudadas também foram definidas considerando as três frações granulométricas, as quais foram estimadas por duas técnicas estatísticas comumente utilizadas para esses fins, a mediana + 2 MAD (desvio absoluto da mediana) e o Tukey's Inner Fence – TIF (também conhecido como *boxplot range*).

Palavras-chave: Sedimento de corrente; prospecção geoquímica; mapeamento geoquímico; *background* geoquímico.

ABSTRACT

This work derives from the Folha Piatã Geochemical Mapping Project, developed in a cooperation agreement between the geological surveys of Brazil (SGB-CPRM) and China (CGS), carried out in the state of Bahia, northeastern Brazil, in the geological context of the Gavião Block. Active stream sediments from two different geological contexts were sieved at three different particle size fractions, namely, a) between 10 and 60, b) smaller than 80 and c) smaller than 120 mesh (between 2 and 0.25 millimeter, smaller than 0.17 millimeter and smaller than 12 micrometers, respectively). After digested by aqua regia and the element concentrations determined by ICP-MS/OES, the impact of textural composition (or particle size) on the geochemical background, the influence of lithological substrates and the granulometric variation in obtaining geochemical results was evaluated. The results were explained with non-parametric statistical techniques of quantitative continuous variables (chemical elements concentrations). It was possible to identify, for most of the elements, a tendency to obtain higher concentration values as finer granulometric fractions are analyzed, suggesting attenuation of the contents dilution, due to the smaller participation of quartz and other inert primary minerals or other mineral phase less reactive to the digestion power of the aqua regia in these fractions. It was also possible to identify that for the elements Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Mo, Sr and Sn, the granulometric range that presented the best results was the smaller than 80 mesh. The geochemical background range of the chemical elements defined for the two studied regions were also satisfactory considering the three granulometric fractions, which were estimated by two statistical techniques commonly used for these purposes, namely, median + 2 MAD (median absolute deviation), and Tukey's Inner Fence – TIF (also known as boxplot range).

Keywords: Stream sediment; geochemical prospecting; geochemical mapping; geochemical background.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização e acessos à região estudada, apresentando a disposição dos principais municípios ao longo do caminho e a malha rodoviária no estado da Bahia.	17
Figura 2 - Ciclo geoquímico.....	21
Figura 3 - Potencial iônico.	22
Figura 4 - Mobilidade relativa dos elementos químicos no ambiente secundário.....	23
Figura 5- Relações granulométricas de partículas nos solos e sedimentos.	31
Figura 6- Desenho esquemático exemplificando o balanço de massa aproximado para as bacias de captação das amostras.....	33
Figura 7- Quadro com registros fotográficos de alguns ambientes encontrados na Folha Piatã.	35
Figura 8- Mapa de divisão política da Folha Piatã, com localização das áreas estudadas e limite dos municípios inscritos na folha.....	36
Figura 9– Mapa com unidades de clima, conforme classificação de Köppen-Geiger, para a Folha Piatã, com destaque para as áreas estudadas neste trabalho.	38
Figura 10 - Gráfico comparativo com a temperatura média por mês para as três séries temporais disponíveis.	40
Figura 11– Normais climatológicas da precipitação acumulada mensal para a região estudada.	41
Figura 12– Mapa das sub-bacias hidrográficas definidas pela ANA que ocorrem na Folha Piatã, com indicação dos principais rios presentes na folha e a localização das áreas do trabalho. ..	42
Figura 13– Mapa de vegetação da Folha Piatã, conforme o BDIA do IBGE, com indicação das áreas estudadas.....	42
Figura 14– Mapa de unidades de solo da Folha Piatã, conforme o BDIA do IBGE, com indicação das áreas de coleta das amostras do estudo	44
Figura 15– Mapa de geomorfologia da Folha Piatã conforme o BDIA do IBGE, com indicação das áreas estudadas.	45
Figura 16– Quadro com características de relevo da Área A.....	45
Figura 17– Quadro com características de relevo da Área B.....	47
Figura 18- Mapa de compartimentação geotectônica da Folha Piatã com indicação das áreas estudadas.	48

Figura 19 – Mapa geológico da Folha Piatã com indicação das áreas estudadas nesta dissertação.	49
Figura 20 - Mapa geológico da Área B mostrando a relação espacial entre os domínios geológicos presentes na área e a localização das drenagens e das amostras utilizadas no trabalho.	51
Figura 21 - Coluna estratigráfica do Supergrupo Espinhaço na região da Chapada Diamantina Ocidental.	53
Figura 22 - Mapa geológico da Área A, com indicação das estações de amostragem utilizadas na dissertação.	56
Figura 23 - Quadro contendo o registro fotográfico da região do Garimpo do Engenho.	56
Figura 24 - Fluxograma apresentando as etapas de desenvolvimento das atividades do trabalho.	59
Figura 25 - Mapa de amostragem do projeto mapeamento geoquímico da Folha Piatã, com a indicação das 3010 células de amostragens planejadas na densidade de 1 km ² . E destaque para as áreas e amostras utilizadas nesta dissertação	60
Figura 26 - Quadro com registros fotográficos de situações de coleta das amostras de campo.	61
Figura 27 - Quadro com registros fotográficos das atividades de preparação das amostras para serem enviadas para análise	63
Figura 28 - Fluxograma apresentado as etapas de tratamento estatístico e comparação entre os conjuntos estudados.	67
Figura 29 - Distribuição das proporções de recuperação da fração granulométrica menor que 120 <i>mesh</i> , nas amostras coletadas nas duas áreas estudadas. São apresentadas além da distribuição das recuperações nas áreas as comparações através <i>boxplot</i> destas recuperações em ambas as áreas.	86
Figura 30 - Gráfico <i>boxplot</i> das distribuições de Hg e S, log-transformadas, nas frações entre 10 e 60 <i>mesh</i> , menor que 80 <i>mesh</i> e menor que 120 <i>mesh</i> , de ambos os contextos geológicos estudados.	89
Figura 31 - Gráficos <i>boxplot</i> das distribuições de Al, Ba, U e Pb log-transformadas, frações entre 10 e 60 <i>mesh</i> , menor que 80 <i>mesh</i> e menor que 120 <i>mesh</i> , nos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A) e nos gnaisses Arqueanos (Área B).	91
Figura 32 - Gráficos <i>QQplot</i> das distribuições de Al, Ba, U e Pb, frações entre 10 e 60 <i>mesh</i> , menor que 80 <i>mesh</i> e menor que 120 <i>mesh</i> , nos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A) e nos gnaisses Arqueanos (Área B).	92

Figura 33- Gráficos <i>boxplot</i> das distribuições de Cr, Cu, Mn e Mo log-transformadas, frações entre 10 e 60 <i>mesh</i> , menor que 80 <i>mesh</i> e menor que 120 <i>mesh</i> , nos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A) e nos gnaisses Arqueanos (Área B).	94
Figura 34- Gráficos <i>QQplot</i> das distribuições de Cr, Cu, Mn e Mo, frações entre 10 e 60 <i>mesh</i> , menor que 80 <i>mesh</i> e menor que 120 <i>mesh</i> , nos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A) e nos gnaisses Arqueanos (Área B).	95
Figura 35- Gráficos <i>boxplot</i> das distribuições das diferenças entre os pares dependentes dos elementos Al, Ba, U e Pb.	98
Figura 36- Gráficos <i>QQplot</i> das distribuições das diferenças entre os pares dependentes dos elementos Al, Ba, U e Pb.	99
Figura 37- Gráficos <i>boxplot</i> das distribuições das diferenças entre os pares dependentes dos elementos Cr, Cu, Mn e Mo.	100
Figura 38- Gráficos <i>QQplot</i> das distribuições das diferenças entre os pares dependentes dos elementos Cr, Cu, Mn e Mo.	101
Figura 39- mapa com a distribuição espacial da variável Diferença 2, obtidas para os elementos Mn e Cr, na área dos metassedimentos Paleoproterozoicos.....	103
Figura 40- Mapa com a distribuição espacial da variável Diferença 1 e Diferença 2, obtidas para o elemento Mo, no domínio geológico dos ortognaisses Paleoproterozoicos.	104
Figura 41- Distribuições, através dos gráficos <i>boxplot</i> , dos teores obtidos de U, Pb, Mg e Sn nas três frações granulométricas submetidas à rotina analítica do SGB-CPRM e identificação das faixas de <i>background</i> , nos dois contextos geológicos estudados	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Diferentes variações no termo <i>background</i> utilizadas na literatura e os seus respectivos significados.	26
Tabela 2 - Resumo dos principais domínios físicos a qual pertencem as duas regiões estudadas	37
Tabela 3- Sumário de elementos analisados pelo Serviço Geológico do Brasil por ICP-MS/OES após digestão das amostras por água régia.	64
Tabela 4- Resumo da quantidade de amostras de campo e de controle analisadas por lote ...	65
Tabela 5- Sumário das análises do material de referência certificado OREAS 046.....	71
Tabela 6- Sumário das análises do material de referência certificado OREAS 047.	71
Tabela 7- Resultados do teste de normalidade e de equivalência entre os pares duplicados, os valores de <i>p</i> em negrito indicam que o teste de hipótese foi aceito a um nível de confiança de 95%.	72
Tabela 8 - Sumário estatístico com os resultados obtidos para a área a na fração granulométrica entre 10 e 60 <i>mesh</i> (entre 2 e 0,25 mm).	73
Tabela 9- Sumário estatístico com os resultados obtidos para a área a na fração granulométrica menor que 80 <i>mesh</i> (0,177 mm).	74
Tabela 10- Sumário estatístico com os resultados obtidos para a área a na fração granulométrica menor que 120 <i>mesh</i> (0,125 mm).	74
Tabela 11- Resultados do teste de Shapiro-Wilk, para as distribuições naturais e log-transformadas dos resultados das frações granulométricas entre 10 e 60 <i>mesh</i> (entre 2 e 0,25 mm), menor que 80 <i>mesh</i> (0,177 mm) e menor que 120 <i>mesh</i> (0,125 mm), coletadas na Área A e analisadas com a metodologia analítica utilizada pelo SGB-CPRM.	75
Tabela 12- Resultados para o teste de Wilcoxon realizados nas amostras da Área A.	76
Tabela 13- Sumário com classes do <i>boxplot</i> para as variáveis Diferença 1 e Diferença 2 criadas a partir das distribuições comparadas na Área A.	78
Tabela 14- Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área B na fração granulométrica entre 10 e 60 <i>mesh</i> (entre 2 e 0,25 mm).	79
Tabela 15- Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área B na fração granulométrica menor que 80 <i>mesh</i> (0,177 mm).	80

Tabela 16- Resultados do teste de Shapiro-wilk, para as distribuições naturais e log-normalizadas das frações granulométricas entre 10 e 60 <i>mesh</i> (entre 2 e 0,25 mm), menor que 80 <i>mesh</i> (0,177 mm) e 120 <i>mesh</i> (0,125 mm), na Área B.	81
Tabela 17- Resultados para o teste de Wilcoxon para a Área B. O valor <i>p</i> correspondente a variável Diferença 1 mostra a comparação entre as frações entre 10 e 60 <i>mesh</i> (entre 2 e 0,25 mm) e menor que 80 <i>mesh</i> (0,177 mm) e a variável Diferença 2 corresponde a comparação entre as frações granulométricas menor que 80 <i>mesh</i> (0,177 mm) e menor que 120 <i>mesh</i> (0,125 mm).	82
Tabela 18- Sumário com classes calculadas através do <i>boxplot</i> para as variáveis Diferença 1 e Diferença 2.	83
Tabela 19- Proporção de recuperação das frações granulométricas menor que 80 <i>mesh</i> e menor que 120 <i>mesh</i> , nas amostras das duas áreas estudadas.	85
Tabela 20- Resultado dos cálculos de limite inferior (li) e limite superior (ls) da faixa de <i>background</i> , realizados através do <i>boxplot</i> e do <i>MAD</i> para o domínio dos metassedimentos Paleoproterozoicos.	107
Tabela 21- Resultado dos cálculos de limite inferior (li) e limite superior (ls) da faixa de <i>background</i> , realizados através do <i>boxplot</i> e do desvio absoluto da mediana (<i>MAD</i>) para o ambiente metassedimentar Paleoproterozoico.	108
Tabela 22- Resultado dos cálculos de limiar inferior (li) e limiar superior (ls) da faixa de <i>background</i> , realizados através do <i>boxplot</i> e do desvio absoluto da mediana (<i>MAD</i>) para as amostras coletadas no domínio dos ortognaisses Arqueanos.	109
Tabela 23- Resultado dos cálculos de limite inferior (li) e limite superior (ls) da faixa de <i>background</i> , realizados através do <i>boxplot</i> e do desvio absoluto da mediana (<i>MAD</i>) para o domínio dos ortognaisses Arqueanos.	110

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AED	Análise exploratória de dados
ANA	Agência Nacional de Águas
BDIA	Banco de Dados de Informações Ambientais
CGS	Serviço Geológico Chinês
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV	Coefficiente de variação
Eh	Potencial redox
HFSE	Elementos com campo de baixa intensidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-MS/OES	Espectrometria de emissão de massa e óptico por plasma acoplado indutivamente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
LA-ICPMS	Ablação a laser com espectrômetro de massas com plasma indutivamente acoplado
LILE	Elementos litófilos de íons grandes
MAD	Desvio absoluto da mediana
mg/Kg	Miligramas por quilograma
µg/Kg	Microgramas por quilograma
MRC	Material de referência certificado
pH	Potencial hidrogeniônico
ROTAP	Agitador de peneiras com batidas intermitentes
SC	Sedimento de corrente
SGB-CPRM	Serviço Geológico do Brasil
TTG	Tonalito-Trondhjemito-Granodiorito

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivos gerais	19
2.2	Objetivos específicos.....	19
3	BASE TEÓRICO-CONCEITUAL	20
3.1	Geoquímica exógena.....	20
3.1.1	Equilíbrio químico e mobilidade dos elementos químicos na superfície	22
3.1.2	Dispersão geoquímica.....	24
3.2	<i>Background</i> geoquímico e anomalias geoquímicas.....	25
3.3	Sedimento de corrente.....	28
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
4.1	Clima.....	37
4.2	Recursos hídricos.....	39
4.3	Vegetação.....	40
4.4	Pedologia.....	41
4.5	Geomorfologia	42
4.6	Geologia e geotectônica	46
4.6.1	Embasamento pré-espinhaço	50
4.6.2	Supergrupo Espinhaço	52
5	MATERIAIS E MÉTODOS	58
5.1	Programação e amostragem.....	58
5.2	Separação das frações granulométricas.....	62
5.3	Rotinas Analíticas.....	62
5.4	Certificação Das Análises Químicas	64
5.5	Tratamento estatístico dos resultados.....	66

5.5.1	Métodos estatísticos de determinação de <i>background</i> geoquímico.....	68
6	RESULTADOS.....	71
6.1	Certificação das análises químicas.....	71
6.1.1	Níveis de acurácia das análises.....	71
6.1.2	Avaliação das condições de reprodutibilidade dos resultados	72
6.2	As frações granulométricas	72
7	DISCUSSÃO.....	85
7.1	A distribuição das frações granulométricas nas amostras	85
7.2	Os elementos químicos e as frações granulométricas	87
7.2.1	Teste estatístico de comparação (WILCOXON, 1945)	96
7.2.2	As diferenças entre os resultados das frações granulométricas.....	97
7.3	As faixas de <i>background</i> geoquímico	104
8	CONCLUSÕES	111
	REFERÊNCIAS	114
	APÊNDICES.....	124

1 INTRODUÇÃO

Métodos de exploração geoquímica são baseados no estudo sistemático da dispersão de elementos químicos nos materiais geológicos em ambiente exógeno, dentre eles rocha, solo, sedimento e água (KAURANNE, 1992). Tais materiais estão sujeitos à ação de agentes físicos, químicos e biológicos, muito mais notáveis no ambiente superficial, onde as condições de estabilidade e equilíbrio dos minerais são mais críticas com relação ao ambiente endógeno. E deste modo, diferente do que ocorre no ambiente interno, a ação do intemperismo físico e químico além, do material parental, são os fatores responsáveis, por condicionar a disponibilidade e dispersão dos elementos químicos, além da distribuição das frações granulométricas nos sedimentos.

Como o propósito da exploração geoquímica é identificar padrões espaciais na distribuição dos elementos (WEBB; THOMPSON, 1977), definindo halos de dispersão clástica ou química, que estão relacionados com a fase mineral e a mobilidade do elemento de interesse (ROSE *et al.*, 1979; LICHT, 1998), estudos orientativos devem ser utilizados, a fim de permitir a escolha das técnicas mais apropriadas para amostragem, análise e interpretação dos dados. Tal procedimento resulta em informações que podem enfatizar mais claramente padrões de dispersão anômalos, facilitando a distinção entre distribuições anômalas e *background* geoquímico. (BRIM, 1980).

Em se tratando de matrizes tais como solos e sedimentos, o tamanho da partícula é um dos fatores que pode influenciar no grau de detecção destes elementos químicos no ambiente superficial. Tal característica pode fornecer informações relevantes sobre a dispersão dos elementos no ambiente superficial. Segundo Marousi *et al.* (2018), é importante considerar os controles mineralógicos e geoquímicos sobre a distribuição do tamanho das partículas nos sedimentos de corrente (SC). Hassan (2011), por sua vez, cita que a distribuição dos elementos traços em diferentes frações granulométricas do SC, apresenta aspectos importantes que precisam de atenção na geoquímica prospectiva, uma vez que pode ser afetada pela fração granulométrica disponível. O autor também aponta a importância da seleção da fração granulométrica que possibilite melhores oportunidades para a detecção de mineralizações.

Os resultados nos levantamentos geoquímicos que utilizam o SC como matriz de amostragem estão sujeitos aos efeitos de uma combinação de diversos fatores, como densidade amostral, tamanho da amostra, fração granulométrica amostrada, método de digestão, método de leitura analítica, tipos e intensidade de intemperismo químico e físico, litologia e processos

mineralizantes (BOLUCEK; KALENDER, 2009). Muitos metais de transição normalmente apresentam maior afinidade por frações mais finas do SC, abaixo de 0,075 milímetros (200 *mesh*), decorre daí a preferência desta fração granulométricas, ou mais finas (silte e argila) em trabalhos de geoquímica ambiental, onde as concentrações que podem ser até quatro vezes maiores do que nas frações mais grossas. Tal preferência, desses elementos por frações granulométricas mais finas, tem relação direta com o aumento da superfície específica dos minerais, característica que é marcante nos minerais na fração argila e dos óxidos e hidróxidos de Fe e Mn, uma vez que estes minerais tendem a ter superfícies eletricamente carregadas facilitando a adsorção de elementos traço (BOLUCEK; KALENDER, 2009; HOROWITZ; ELRICK, 1987).

Horowitz e Elrick (1987) indicam também que separações físicas, seguidas de análises químicas podem ser utilizadas para estudos de determinação das concentrações dos elementos traço e ainda sugerem o uso das frações granulométricas abaixo de 0,075 mm (200 *mesh*) e lixiviação por cianeto para melhor detecção de anomalias de Cu, Zn, Mo, Co, Ag e Hg além de Au e platinóides em trabalhos em escala de detalhe.

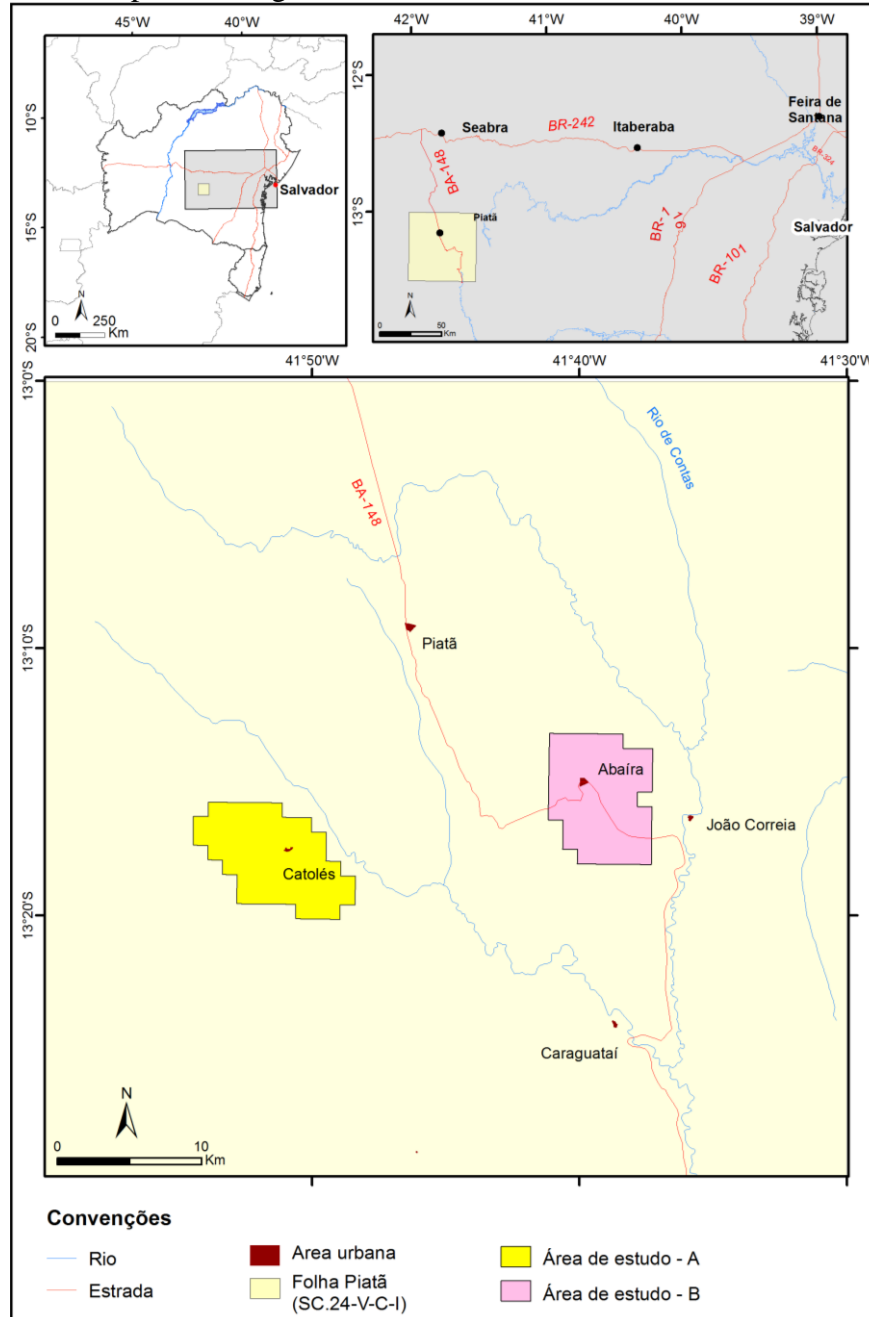
Garret (2019) defende que a vantagem de se utilizar as frações menores que 80 *mesh* (0,177 mm) ao invés de frações mais grossas em trabalhos com SC, se dá devido ao fato do aumento do conteúdo de argilas, siltes, areias finas e demais produtos do intemperismo, tendendo a reduzir o efeito diluente do quartzo enquanto Beeson (1984) aponta que frações abaixo de 0,075 mm (200 *mesh*) apresentam bons resultados na prospecção de Cu, Pb, Zn, Mo e As em climas áridos e semiáridos.

Oriunda da ação dos agentes biológicos no ambiente superficial, outro material a ser destacado, que possui importante presença em SC e solos, é a matéria orgânica. Segundo Horowitz e Elrick (1987), a matéria orgânica pode ocorrer em duas principais formas, adsorvida recobrando os grãos e em partículas disseminadas. A forma adsorvida é mais comum, junto a granulometria do sedimento mais fina, enquanto que a segunda forma tende a ser mais comum junto com a sedimentação grossa.

Diante dos aspectos intrínsecos à dispersão geoquímica e sua relação com a composição textural dos materiais no ambiente superficial e das diferenças entre as metodologias de mapeamento geoquímico sugeridas pelos dois serviços geológicos, foi idealizado este estudo orientativo, que mediante comparação entre os resultados de levantamentos geoquímicos utilizando o SC como meio amostral, busca entender a distribuição da granulometria e dos elementos químicos em amostras de sedimentos ativos de corrente, no escopo do acordo de cooperação técnica entre os serviços geológicos do Brasil e chinês,

realizado através do Projeto Levantamento Geoquímico da Folha Piatã, executado na região central do estado da Bahia (Figura 1).

Figura 1- Mapa de localização e acessos à região estudada, apresentando a disposição dos principais municípios ao longo do caminho e a malha rodoviária no estado da Bahia



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

O Projeto Levantamento Geoquímico da Folha Piatã, contempla a folha 1:100.000 do IBGE, SD.24-V-C-I (Folha Piatã), região central do estado da Bahia e para seu desenvolvimento foi utilizada a metodologia de mapeamento geoquímico proposta pelo Serviço Geológico da China (CGS) que apresenta diferenças consideráveis daquela utilizada, pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM). Dentre as diferenças nas técnicas utilizadas entre

os dois serviços geológicos, este trabalho aborda as distintas frações granulométricas adotadas pelas duas instituições, uma vez que o CGS propõe o uso da fração entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), enquanto que o SGB-CPRM utiliza a fração abaixo de 80 *mesh* (0,177 mm), que juntas com a fração menor que 120 *mesh* (0,125 mm) foram analisadas após digestão através de água régia por espectrometria de emissão de massa e óptico por plasma acoplado indutivamente (ICP-MS/OES), sendo os resultados utilizados para avaliação do impacto da composição textural (tamanho das partículas) no *background* geoquímico, além da influência do substrato litológico e da variação da fração granulométrica na obtenção de resultados geoquímicos.

Buscando entender a distribuição dos elementos químicos nos sedimentos de corrente e a influência exercida pelo substrato rochoso, foi feita a comparação dos resultados analíticos obtidos através das análises, na metodologia usual do SGB-CPRM, de três frações granulométricas oriundas das mesmas amostras de SC sob os domínios do embasamento Arqueano a Paleoproterozoico do Bloco Gavião, um dos segmentos crustais mais antigos até aqui reconhecidos na América do Sul (CUNHA *et al.*, 2000), bem como na Bacia Espinhaço Oriental, ambas as unidades geotectônicas do Cráton do São Francisco, de forma a avaliar a hipótese de que frações granulométricas diferentes de sedimentos ativos de corrente podem apresentar diferenças significativas nos resultados geoquímicos e se o domínio geológico ao qual pertencem as amostra exercem influência direta nestes resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Entender e discutir o papel da granulometria na origem de halos e padrões de dispersão de elementos maiores e traços e na distinção entre distribuições anômalas e *background* geoquímico, em sedimentos ativos de corrente, coletados em dois domínios geotectônicos distintos do Bloco Gavião, região de Piatã. Existem diferenças significativas nos resultados geoquímicos de amostras de sedimento ativo de corrente quando se varia a fração granulométrica analisada? E o domínio geológico ao qual foram coletadas as amostras, exercem uma influência direta na distribuição dos elementos e nos controles exercidos pelas frações granulométricas nos resultados geoquímicos?

2.2 Objetivos específicos

1- Avaliar o impacto da variação da fração granulométrica, em sedimentos ativos de corrente, nos resultados geoquímicos oriundos de sedimento ativo de corrente quando submetidos à rotina analítica utilizada pelo SGB-CPRM para o mapeamento geoquímico multielementar.

2- Comparar os resultados obtidos para os dois ambientes geológicos estudados, e entender a influência do substrato geológico na distribuição dos elementos químicos em cada fração granulométrica.

3- Determinar as faixas de *background* para as duas áreas, situadas em contextos geotectônicos distintos, através de duas técnicas estatísticas mais utilizadas para estes fins (*boxplot* e Desvio Absoluto da Mediana - *MAD*), nas três frações granulométricas selecionadas e submetidas à rotina analítica utilizada pelo SGB-CPRM.

4- Promover a discussão e a produção de conhecimentos que ajudem na escolha de qual a melhor fração granulométrica a ser utilizada nos levantamentos multielementares, principalmente nos mapeamentos geoquímicos em escala regional, mas também para estudos de elementos químicos específicos em relação ao contexto geológico trabalhado.

5- Fazer uma análise comparativa entre os resultados obtidos em análise de amostras de sedimento ativo de corrente coletadas através da metodologia amostral sugerida pelo SGB-CPRM e do CGS.

3 BASE TEÓRICO-CONCEITUAL

Neste capítulo serão apresentados os principais aspectos teóricos relacionados ao desenvolvimento das atividades nesta dissertação. Serão mostrados conceitos básicos pertinentes a geoquímica exógena, dando ênfase ao conjunto de processos reinantes no ambiente externo, além dos principais fatores que condicionam a dispersão dos elementos químicos. Serão abordadas também as principais características relacionadas ao sedimento ativo de corrente, abordando aspectos relacionados a sua composição textural e a sua relação com a composição química. Por fim serão apresentadas as peculiaridades relacionadas a definição e determinação das faixas de *background* em levantamentos geoquímicos.

3.1 Geoquímica exógena

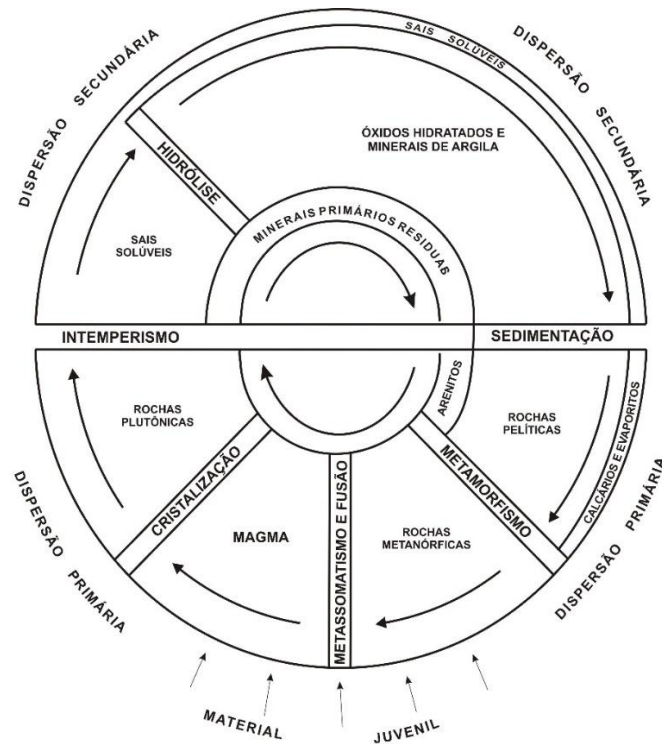
A Geoquímica, termo usado pela primeira vez pelo químico suíço Schönbein, em 1838 (WEDEPOHL, 1969; WHITE, 2005), está preocupada com as leis que controlam a abundância, e distribuição de elementos químicos, compostos e isótopos nos ambientes naturais (WEDEPOHL, 1969; DEMETRIADES, 2021). Segundo Clarke (1924), os elementos diferem amplamente em sua abundância e em seu modo de distribuição na parte acessível da crosta terrestre, características governadas pelas leis de equilíbrio químico (HAWKES, 1957).

Como em um sistema dinâmico, na Terra, os materiais são transportados e modificados pela atuação de uma grande quantidade de processos (HAWKES, 1957), seja no ambiente endógeno, caracterizado por altas pressões e temperaturas, seja no ambiente exógeno onde dominam os processos de erosão e intemperismo com baixas pressões e temperaturas, oxigênio livre abundante e livre circulação de água (LICHT, 1998) (Figura 2).

De acordo com essas características ambientais, os elementos químicos apresentam comportamentos de migração e distribuição particulares determinados por suas afinidades geoquímicas (GOLDSCHMIDT, 1937) e, deste modo, podem ocorrer associados em um dado ambiente. A afinidade geoquímica, assim como a mobilidade dos elementos, é controlada, em termos gerais, pelo potencial iônico do elemento, obtido pelo quociente da carga iônica pelo raio iônico (Figura 3) e, deste modo, os elementos podem apresentar padrão específico de mobilidade nos ambientes profundo e superficial ou secundário. Segundo Licht (1998), elementos de mesma afinidade podem se mover juntos durante a maioria dos processos no ambiente profundo e romper essa afinidade sob as condições que governam o ambiente superficial, por exemplo, elementos de mais baixo ou mais alto potencial iônico tendem a ser

cátions e ânions mais móveis, respectivamente, e a se concentrar na fração solúvel, enquanto que aqueles de potencial intermediário são menos móveis no ambiente superficial ocorrendo na parte sólida, precipitados como hidróxidos ou adsorvidos.

Figura 2 - Ciclo Geoquímico

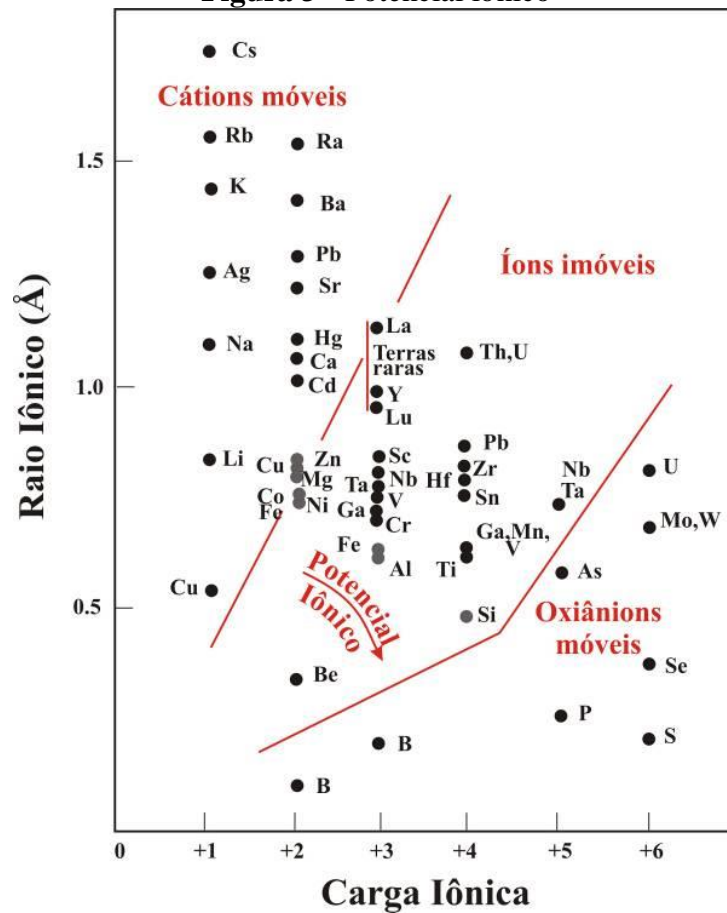


Fonte: HAWKES, 1957.

É bem conhecido que os aspetos fisiográficos desempenham um papel importante na dispersão dos elementos químicos na superfície. As características geoquímicas, principalmente, das regiões onde o leito rochoso não está exposto, dependem em grande parte, de processos predominantemente atuantes no ambiente externo. Assim, os sedimentos de corrente, os solos e a água normalmente fornecem informações mais diretamente relacionadas à dispersão dos elementos químicos neste ambiente, enquanto que as rochas, normalmente são utilizadas para os estudos realizados no ambiente primário, ou interno. Diante desses princípios, evoluiu-se o conceito de geoquímica da paisagem, a fim de tipificar as condições geoquímicas do ambiente estudado.

A geoquímica de paisagem (composições/concentrações e distribuições dos elementos) de um determinado local será uma função de uma relação complexa entre uma série de fatores, incluindo geologia e tamanho da bacia hidrográfica, dinâmica do fluxo, uso da terra, processos de intemperismo e condições redox (PLANT; RAISWELL, 1983).

Figura 3 - Potencial iônico



3.1.1 Equilíbrio químico e mobilidade dos elementos químicos na superfície

A compreensão dos equilíbrios químicos, que determinam e controlam o comportamento dos elementos no ambiente superficial, é essencial para uma boa interpretação de resultados geoquímicos obtidos no levantamento utilizando sedimentos de corrente. Os valores de pH expressam a quantidade de íons de hidrogênio presente no meio aquoso, onde quanto maior for a quantidade desses íons no meio, maior será a acidez da solução. A concentração de elétrons no ambiente, chamada também de oxi-redução ou potencial redox (Eh), é importante, pois muitos elementos ocorrem em mais de uma valência ou estado de oxidação, e as propriedades dos elementos em soluções e sólidos mudam consideravelmente de uma valência para outra. No ambiente superficial, as condições redox são diferentes das encontradas no ambiente endógeno devido ao oxigênio livre na atmosfera, dissolvido nas águas e sua liberação durante a fotossíntese das plantas. Normalmente valores positivos de Eh, indicam sistemas oxidantes, enquanto que os mais baixos indicam sistemas redutores. Em campo, uma indicação da mudança nas condições redox pode ser obtida através da coloração das rochas, solos e sedimentos, normalmente as tonalidades avermelhadas e acastanhadas são

devidas à presença de Fe^{+3} , indicação da condição oxidante, enquanto que tons verdes e acinzentados sugerem a presença dos compostos de Fe^{+2} , correspondentes às condições redutoras. (WHITE, 2005).

O mesmo grupo de elementos pode apresentar comportamentos distintos em função das condições de Eh e pH do meio (SANTOS, 2014). Assim, elementos com afinidades e mobilidades geoquímica similares no ambiente endógeno, podem apresentar mobilidades distintas no ambiente exógeno, com outras condições de pH e Eh (Figura 4).

Figura 4 - Mobilidade relativa dos elementos químicos no ambiente secundário

MOBILIDADE RELATIVA	CONDIÇÕES AMBIENTAIS			
	OXIDANTE	ÁCIDO	NEUTRO A ALCALINO	REDUTOR
MUITO ALTA	Cl, I, Br S, B	Cl, I, Br S, B	Cl, I, Br S, B Mo, V, U, Se, Re	Cl, I, Br
ALTA	Mo, V, U, Se, Re Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra Zn	Mo, V, U, Se, Re Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra
MÉDIA	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au As, Cd	As, Cd	As, Cd	
BAIXA	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl Fe, Mn	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl Fe, Mn	Si, P, K Fe, Mn
MUITO BAIXA A IMÓVEL	Fe, Mn Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Terras Raras	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Terras Raras	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Terras Raras Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Terras Raras S, B Mo, V, U, Se, Re Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au As, Cd Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl

Fonte: LEVINSON, 1974 *apud* ANDREWS-JONES, 1968.

3.1.2 Dispersão geoquímica

Os materiais geológicos normalmente passam por mudanças à medida que são submetidos aos processos de um ciclo geoquímico, tendendo a ser redistribuídos, fracionados ou misturados, se reorganizando de acordo com o conjunto de processos atuantes. Esse processo no qual átomos e partículas se movem para novos locais e ambientes geoquímicos, é chamado de dispersão geoquímica, e é resultado da interação de processos que podem ser, amplamente, classificados em mecânicos e químicos (ROSE *et al.*, 1979) de forma a redistribuírem os elementos químicos de acordo com as novas condições reinantes. Enquanto os processos puramente mecânicos, geralmente envolvem a mistura, mudança de tamanho e forma dos materiais, sem alterar a composição destes, os processos químicos e bioquímicos geralmente criam frações de composição química diferente. De uma forma geral, os elementos de maior mobilidade tendem a deixar a sua posição original e migrar para outra posição conforme permitido pelas novas condições químicas ou físicas do ambiente.

Enquanto que geralmente, no ambiente interno, os caminhos percorridos e os locais de redeposição dos elementos químicos transportados, são geralmente os espaços criados pelas estruturas geológicas e espaços intergranulares (ROSE *et al.*, 1979), no ambiente superficial, ou próximo à superfície, o conjunto de processos reinantes, são responsáveis por dispersar os elementos químicos, onde as técnicas de estudos geoquímicos superficiais buscam através dos sedimentos fluviais, solo, água, vegetação e até mesmo ao ar, entender estas formas de dispersão. Como um bom exemplo a ser citado, são os estudos de geoquímica prospectiva, na procura de vestígios ou halos de corpos mineralizados desconhecidos ou não aflorantes, uma vez que esses padrões de dispersão podem se formar em uma área consideravelmente maior do que a do corpo mineralizado, tornando maior a probabilidade de detecção destas características e conseqüentemente a descoberta da ocorrência mineral investigada. Santos (2014) cita que concentrações anômalas de elementos associados a mineralizações podem ser incorporadas aos solos, sedimentos e outros materiais superficiais, tendendo a formar halos de dispersão maiores e mais detectáveis em superfície.

A fim de determinar a existência e as características dos diferentes tipos de dispersão relacionados à região estudada, estudos orientativos devem ser realizados de forma a possibilitar a avaliação da mobilidade dos elementos de interesse, levando em consideração os parâmetros físico-químicos do ambiente e as características do material geológico estudado, possibilitando assim a definição dos melhores métodos de prospecção que trarão os melhores

resultados, incluindo possíveis técnicas analíticas e meios amostrais, além de identificar os principais critérios e fatores que influenciam na dispersão dos elementos químicos.

3.2 *Background* geoquímico e anomalias geoquímicas

A necessidade da determinação de valores de *background* geoquímico foi admitida por volta do século XX, em razão da, cada vez maior necessidade, principalmente por parte dos governantes, em definir regulamentações para monitorar e controlar as condições químicas do meio ambiente. Nesse contexto, surgiu o termo *baseline* geoquímico na definição de concentrações naturais e não naturais em áreas sob influência antrópica. Muitas outras definições, foram apresentadas ao longo do tempo para o termo (*baselines*) (CONNOR *et al.*, 1976; GOUGH; CROCK, 1997; GOUGH; ERDMAN, 1983; TIDBALL *et al.*, 1974; TIDBALL; EBENS, 1976), isso se deu devido a uma ausência de padronização na metodologia definida para este fim. Em meados da década de 90, com a criação dos primeiros projetos internacionais, surgiu o estímulo as iniciativas de realização de levantamentos geoquímicos globais seguindo uma metodologia padronizada (DARNLEY *et al.*, 1995). Com a aceitação do conceito de *background* geoquímico pela comunidade científica, passou-se a estabelecer valores de *baseline* geoquímico com uma frequência maior, onde passaram a ser utilizados principalmente para comparações em caso de necessidades futuras de se identificar alterações geoquímicas no ambiente. Posteriormente, devido ao fato do termo *baseline* dar a falsa impressão da existência de um único limite de concentração, onde, na verdade, há um intervalo de valores característico, o termo caiu em desuso, onde passou-se a adotar *background* com uma maior frequência (GAŁUSZKA; MIGASZEWSKI, 2012; NIETO *et al.*, 2005; REIMANN; GARRETT, 2005), transmitindo mais fielmente a ideia de *background* geoquímico, como um intervalo de concentração, como defendido por muitos autores (GAŁUSZKA, 2007; GAŁUSZKA *et al.*, 2014; GAŁUSZKA; MIGASZEWSKI, 2012; MATSCHULLAT *et al.*, 2000; REIMANN *et al.*, 2005; REIMANN; CARITAT, 2005, 2017; LICHT, 2020), ao invés de um único valor, como era colocado anteriormente. Em termos estatísticos o reconhecimento de uma amostra anômala, depende do estabelecimento de um intervalo de probabilidade estatística de ocorrência de teores, definida através das análises de uma quantidade a ser definida, de amostras representativas do compartimento a ser estudado, ou seja, uma faixa de *background* geoquímico.

Este conceito (*background*) desde idealizado tem sido de notável relevância e aplicação para várias áreas do conhecimento, contribuindo com estudos de áreas diversificadas das ciências ambientais, como para estudos geológicos voltados à exploração mineral, área onde

foi desenvolvido, até como guia de orientação para formuladores de políticas ambientais, onde tem tido ainda maior aplicabilidade. O avanço da conscientização ambiental global e do fortalecimento dos princípios de sustentabilidade tem proporcionado condições para o rápido desenvolvimento deste tema, o que impulsiona o surgimento de novas discussões na comunidade científica, o que culmina no aprimoramento das propostas de procedimentos de quantificação existentes para estes fins. Gałuszka (2007) propõe uma definição que contemple diferentes aspectos do meio físico, além de pontuar propostas metodológicas para a determinação dos valores de *background*.

Por vezes para a exploração mineral o *background* foi definido como a faixa de teores normais de um elemento químico (LEVINSON, 1974; LICHT, 1998; LICHT *et al.*, 2007), em qualquer material onde o equilíbrio não foi perturbado pela presença de um depósito mineral (HAWKES, 1957). Segundo Matschullat *et al.* (2000), o *background* seria equivalente a ausência de valores anômalos. Vários outros estudos discutem o uso deste termo no campo das geociências (GAŁUSZKA, 2007; GAŁUSZKA; MIGASZEWSKI, 2012; REIMANN; CARITAT, 2005; REIMANN; GARRETT, 2005) e uma comparação entre os usos nos diversos campos, não revelam uma unanimidade em relação ao conceito atrelado ao uso deste termo nos diversos campos. Como forma de facilitar este entendimento, a Tabela 1, resgata algumas variações de usos do termo *background* na literatura, com seus respectivos significados.

Tabela 1- Diferentes variações no termo *background* utilizadas na literatura e os seus respectivos significados (continua)

Termos relacionados	Descrição / Fonte
<i>Background Ambiental</i>	“As concentrações de substâncias inorgânicas naturais e substâncias inorgânicas antropogênicas ubíquas no ambiente, representativas da região circundante ao local e não atribuíveis a uma fonte identificável” (Kentucky Energy & Environment Cabinet, 2004).
<i>Background Antropogênico</i>	“Concentrações normais observadas em uma região que são resultado de atividades humanas, mas que não estão associadas a uma atividade específica de contaminação”. “Produtos químicos presentes no ambiente devido a atividades humanas que não estão relacionadas a fontes pontuais específicas ou liberações no local” (Naval Facilities Engineering Command - NAVFAC 2002, PORTIER, 2001).
<i>Background Area</i>	“As concentrações de substâncias perigosas que estão constantemente presentes no ambiente, nas proximidades de um local, resultado de atividades antrópicas” (Washington State Department of Ecology, 2013).
<i>Background Natural</i>	“A quantidade de substâncias que ocorrem naturalmente no meio ambiente, excluindo aquelas de fontes antropogênicas”. “A concentração de substância perigosa constantemente presente no ambiente que não foi influenciada por atividades humanas localizadas” (Kentucky Energy & Environment Cabinet, 2004; Washington State Department of Ecology, 2013).

Fonte: Modificado de SALOMÃO, 2020 *apud* GAŁUSZKA, 2007.

Tabela 1 - Diferentes variações no termo background utilizadas na literatura e os seus respectivos significados (conclusão)

Termos relacionados	Descrição / Fonte
<i>Background</i> de Ocorrência Natural	“Concentrações ambientais de produtos químicos presentes no ambiente que não foram influenciadas pela atividade humana” (NAVFAC, 2002).
<i>Background</i> Pedogeoquímico	“Concentrações naturais de elementos nos solos” (BAIZE; STERCKEMAN, 2001).
<i>Background</i> Pré-industrial	“... às vezes é usado quando os dados são provenientes de materiais datados e coletados de uma área de estudo antes de uma suposta atividade ‘pré-industrial’” (REIMANN; GARRETT, 2005).
<i>Background</i> Mineralizado	“Em áreas mineralizadas, as concentrações locais de <i>background</i> de elementos metálicos e metaloides em sedimentos de corrente, derivadas do intemperismo e dispersão da mineralização metalífera, geralmente são mais altas que o <i>background</i> regional” (PALUMBO-ROE <i>et al.</i> , 2016).

Fonte: Modificado de SALOMÃO, 2020 *apud* GALUSZKA, 2007.

Levinson (1974) explica que sob condições normais as concentrações anormalmente altas de um elemento, ou associação de elementos, indicam que uma mineralização pode ocorrer em uma área específica. O principal objetivo da interpretação de dados geoquímicos com fins de prospecção é o reconhecimento de tal concentração anormal de um elemento em uma amostra associada à mineralização, em comparação com a concentração do elemento em material de amostra semelhante, de uma situação geologicamente comparável, mas não mineralizada, porém a presença de um depósito mineral em uma área sob investigação não é o único fator que pode perturbar equilíbrio químico.

Nem sempre, altas concentrações de um elemento podem ser usadas como guia para a exploração mineral de uma área (SANTOS, 2014). Assim, um dos problemas na interpretação de dados de levantamento geoquímico é discriminar entre as “anomalias” que ocorrem devido a jazidas minerais ocultas na região amostrada e as que ocorrem devido a outras causas, que podem ser ambientais, analíticos ou por contaminação. Santos (2014) cita que a geração de anomalias não significativas, geralmente está associada, a condições de Eh e pH do meio, tipo de rocha parental e influência de matéria orgânica, e minerais secundários da fração argila. Um simples exemplo, é o efeito encontrado em regiões alagadas em relação a uma região bem drenada, neste caso, são duas situações com ocorrência de solos bem drenados e solos mal drenados, onde o geoquímico de exploração deve reconhecer e interpretar os dados de acordo com estes fatos. Independentemente das dificuldades e deficiências interpretativas, a aplicação prática da geoquímica de exploração baseia-se na busca de anomalias geoquímicas em amostras da crosta terrestre para avaliar o potencial mineral de uma área, onde é necessário considerar o valor do parâmetro medido, a natureza físico-química do material da amostra, o ambiente físico-químico de onde a amostra é retirada, e o padrão de distribuição espacial da variável medida.

Uma anomalia, portanto, é um teor anormalmente alto ou baixo de um elemento ou de um conjunto de elementos, ou uma distribuição espacial anormal de um elemento ou de uma combinação de elementos em uma matriz específica, que ocorrem relacionadas a um ambiente específico e medido por uma técnica analítica particular.

Ausência de anomalia em uma área também é uma observação significativa realizada por um levantamento geoquímico. Como o objetivo básico dos levantamentos é preparar os mapas geoquímicos que orientarão o futuro usuário na direção certa, as tentativas devem ser feitas não apenas para resumir as condições em que a geoquímica pode ser usada como ferramenta de exploração confiável, mas também para identificar padrões de dispersão e distribuição dos elementos em relação ao substrato geológico, funcionando, portanto, como uma importante ferramenta de mapeamento geoquímico. Os estudos orientativos devem ser feitos antes iniciar o levantamento geoquímico de qualquer área, independentemente do meio da amostra a fim de otimizar os resultados obtidos.

Propostas conceituais de definição de zona de *background* geralmente não contemplam condições específicas de realização dos levantamentos, Johnson e Demetriades (2011) ressaltam que aspectos como a fração granulométrica analisada, as técnicas de preparação física, de digestão, de leitura analítica, além das técnicas de tratamento estatístico de dados utilizadas, apresentam influência direta na resposta analítica esperada para a determinação do *background* geoquímico, Johnson e Demetriades (2011) e Licht (2020) também destacam a variabilidade natural do *background*, que deveria se expresso na forma de uma ‘superfície flutuante’, uma vez que este também varia de acordo com alguns aspectos fisiográficos, sendo um relevante o contexto geológico.

É de fundamental importância destacar que esta evolução conceitual se deu em função dos constantes avanços tecnológicos observados nas últimas décadas. Tais avanços reforçam a necessidade de promover, cada vez mais, estudos associados a esta temática com o objetivo de estabelecer protocolos uniformes e cada vez mais eficientes de determinação de valores de *background*.

3.3 Sedimento de corrente

Sedimentos ativos de corrente representam a melhor aproximação de uma amostra composta dos produtos do intemperismo e erosão das rochas e solos aflorantes numa bacia de drenagem e, por isso, é considerado o melhor meio amostral para o mapeamento geoquímico (ROSE *et al.*, 1979). Representam o material sólido de granulação fina a média (argilo-silto-arenosa), que consiste em fragmentos que são derivados da erosão de rochas e solos

intemperizados pela água do córrego ou do rio e, dependendo do tamanho das partículas e da velocidade da água, são transportados em suspensão, por saltação ou rastejando ao longo do leito do curso d'água representando assim área de captação da fonte da rede de drenagem do córrego (RANASINGHE *et al.*, 2008). Segundo Rose *et al.* (1979), nos sedimentos de corrente, os elementos químicos estão presente na estrutura dos minerais primários resistentes ao intemperismo, nos argilominerais, adsorvido nas frações argila e coloidal e co-precipitados em oxi-hidróxido de Fe e Mn.

Solos, águas e principalmente sedimentos de corrente, tem sido usado em muitos países e, em diferentes escalas, no mapeamento geoquímico (DARNLEY, 1990; REIMANN *et al.*, 1998; RICE, 1999; KEY *et al.*, 2004; SALMINEN *et al.*, 2005; JOHNSON *et al.*, 2005). Sedimentos de corrente são comumente utilizados como ferramenta de exploração para levantamentos geoquímicos regionais (COHEN *et al.*, 1999; CANNON *et al.*, 2004). Os levantamentos de sedimentos de corrente tornaram-se aceitos como uma das mais importantes ferramentas de reconhecimento de baixo custo disponíveis para os exploradores atuais (MEYER *et al.*, 1979). Os dados geoquímicos resultantes são usados para uma variedade de propósitos, incluindo exploração mineral, planejamento do uso da terra, desenvolvimento agrícola, bem como para avaliação ambiental de riscos naturais e antropogênicos (APPLETON; RIDGWAY, 1992; PLANT *et al.*, 2001).

O tamanho, a forma e o arranjo espacial dos componentes mineralógicos constituem umas das propriedades naturais mais importantes dos sedimentos. O tamanho das partículas de sedimentos detríticos, constitui uma propriedade textural fundamental. Há algumas razões principais para que as análises granulométricas sejam importantes nos estudos de sedimentos detríticos, dentre elas estão a descrição mais precisa dos sedimentos, a possibilidade de caracterização do ambiente deposicional, a obtenção de informações sobre os processos físicos atuantes e outras propriedades, como porosidade, permeabilidade e composição química, cujas modificações podem ser estimadas com base nas características granulométricas. Segundo Rose *et al.* (1979), a maioria do conteúdo metálico está, geralmente, concentrada nas frações mais finas, sendo notória uma relação inversa entre conteúdo de metais e tamanho do grão em uma ampla variedade de climas. Yang *et al.* (2022) citam que o tamanho da partícula exerce um controle significativo sobre a concentração de elementos em sedimentos de corrente sendo um critério crítico na exploração geoquímica baseada nessa matriz.

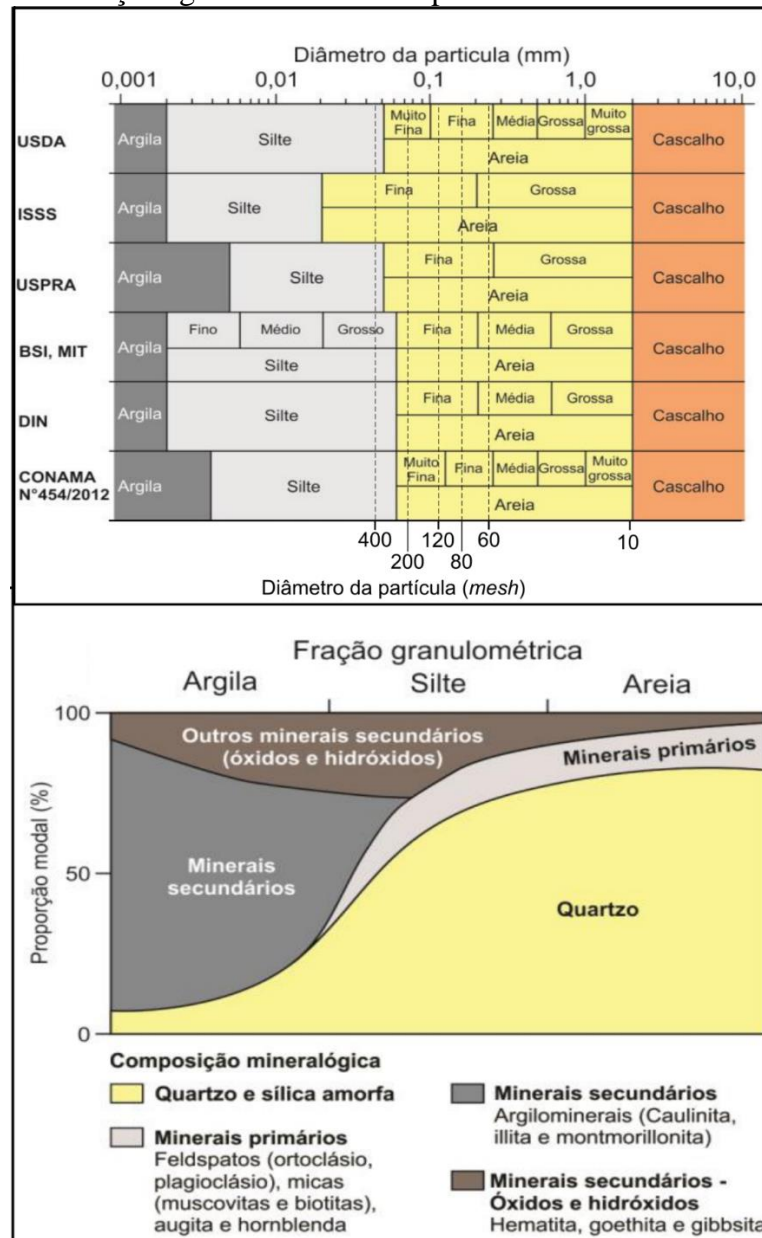
Não existe uma escala de classificação granulométrica universalmente adotada pelos diversos ramos da ciência que estudam sedimentos, porém, segundo Wentworth (1933), apesar das várias classes granulométricas utilizadas serem mais ou menos arbitrárias, elas são

intimamente correlacionáveis aos comportamentos básicos durante o transporte por água correntes ou aos diferentes modos de desintegração da rocha matriz. A Figura 5 nos mostra um esquema com as principais classificações granulométricas de partículas em solos e sedimentos propostos por importantes agências internacionais que tratam do assunto, dentre estas pode ser vista a classificação adotada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N° 454 de 2012, muito utilizada no Brasil. Na figura estão expressas em milímetros e *mesh*, a relação entre os tamanhos das partículas produzidas pelo intemperismo e presente nos sedimentos e solos, assim é possível estabelecer uma comparação entre as frações granulométricas utilizadas neste estudo e as classes definidas pelas diversas agências. Ainda, pode-se observar a relação entre a composição mineralógica modal hipotética dos solos e sedimentos e a relação entre as classes granulométricas (areia, silte e argila) e a composição mineralógica normalmente encontrada em cada classe. (SALOMÃO, 2020)

Midletown (1970) e Swift *et al.* (1959), consideram a teoria da probabilidade para explicar a origem das populações granulométricas obedecendo uma distribuição log-normal, admitindo uma corrente aquosa sobre um substrato arenoso em que a carga sólida seja ajustada às condições do fluxo. Assim, a granulometria decrescerá de montante para jusante, em consequência do empobrecimento do material mais grosso. Apesar dos materiais transportados apresentarem uma distribuição granulométrica log-normal, poucas amostras exibem uma distribuição próxima do ideal, isso significa que as partículas tendem a ser deixadas para trás quando o fundo é erodido por uma corrente mais fraca que a precedente, porém quando frações arenosas estão misturadas a materiais sílticos e argilosos, a taxa de transporte varia exponencialmente com a granulometria. Como a areia apresenta maior probabilidade de ser transportada, sofrerá a maior ação selecionadora, à medida que o sedimento é transportado, então o sedimento será progressivamente mais rico em partículas síltico-argilosas. Bidone (1980) sugere que a escala de log probabilidade serve também para a caracterização do tipo de transporte em reconstituições paleogeográficas.

Segundo Suguio (2003), teoricamente as distribuições granulométricas de sedimentos arenosos, constituem os registros hidrodinâmicos das condições de fluxo, assim análise de subpopulações que compõem os sedimentos arenosos, tem se mostrado mais eficientes que a interpretação da distribuição global. Moss (1962, 1963, 1972) concluiu que as curvas obtidas para os gráficos de probabilidade com as distribuições de areias depositadas por fluidos, continham a presença de uma mistura com três ou mais subpopulações com distribuições normais.

Figura 5- Relações granulométricas de partículas nos solos e sedimentos



Fonte: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA); INTERNATIONAL SOIL SCIENCE SOCIETY (ISSS); UNITED STATES PUBLIC ROADS ADMINISTRATION (USPRA); BRITISH STANDARDS INSTITUTE (BSI); MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT); GERMAN STANDARDS (DIN); CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) N° 454 de 2012, Modificado de SALOMÃO, 2020.

Nota: a) Esquema das principais classificações granulométricas de partículas em solos e sedimentos propostos pelas principais agências; b) Relação entre a composição mineralógica modal hipotética e as variações granulométricas areia, silte e argila.

Visher (1969) definiu que a subpopulação do arcabouço é representada pelas partículas transportadas por saltação, a subpopulação intersticial, que é representada por partículas suficientemente finas, filtradas pelos interstícios dos grãos do arcabouço e transportada em suspensão e a subpopulação de contato, as partículas transportadas por rolamento e arrasto. A frequência das três subpopulações varia dentro dos limites estabelecidos pela geometria dos grãos e pelos processos de interação entre os grãos, de acordo com a disponibilidade das três

subpopulações e também de acordo com as condições hidrodinâmicas do ambiente. Trabalhos que buscam entender as distribuições granulométricas normalmente focam em três ideias centrais, 1) as distribuições são atribuídas diretamente aos materiais das áreas fontes e de sua desintegração, 2) são atribuídas diretamente ao processo de transporte e 3) são fruto da interação entre ambos os fatores (SUGUIO, 2003).

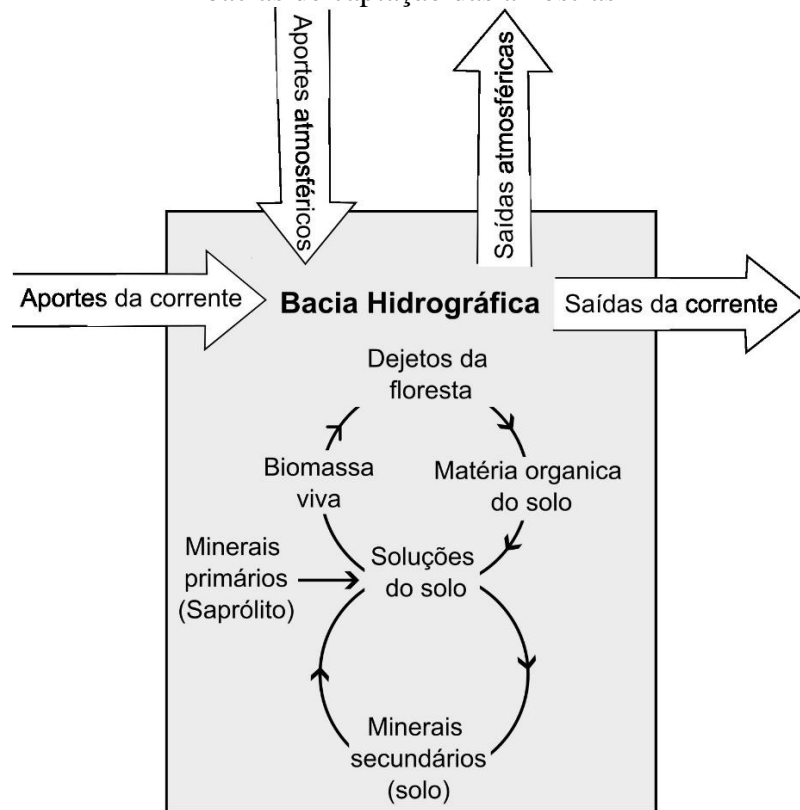
Os sedimentos são depositados em ambientes, caracterizados por diferentes concentrações de diversos íons e submetidos a temperaturas, pressões, atividade orgânicas e oxigênio dissolvidos variáveis. Os valores de Eh e pH que ocorrem na proximidade e/ou na interface água-sedimento, são também parâmetros que interferem nas composições mineralógicas e química dos sedimentos. Esses fatores determinam os diferentes caminhos que serão seguidos pelos diversos elementos químicos durante os ciclos de intemperismo, erosão transporte e deposição. Segundo Keith e Diegens (1959) as principais fases produzidas por separação geoquímica na natureza são:

- a) Fase quartzosa – O quartzo é um dos minerais mais resistentes ao intemperismo e geralmente se observa um enriquecimento no sedimento, em relação ao conteúdo da rocha fonte.
- b) Fase argilosa – O intemperismo químico de diversos silicatos origina uma lama rica em argilominerais, especialmente rica em alumínio e potássio adsorvidos, pode ocorrer também a precipitação de hidróxido de ferro por hidrólise, subsequente à oxidação do composto ferroso original.
- c) Fase carbonática – Por precipitação química e/ou biogeoquímica forma-se concentrações de carbonato de cálcio nas formas de aragonita ou calcita, que ao serem depositadas, podem ser parcialmente ou totalmente convertidos a dolomitos através de metassomatismo em processos metamórficos.
- d) Fase salina – Os elementos químicos que permanecem em solução podem ser concentrados nos oceanos e, por evaporação produzem os depósitos evaporíticos.

A Figura 6 apresenta um esquema, exemplificando o balanço de massa aproximado para a escala de bacia de captação das amostras, esta abordagem simplificada, ignora a complexidade considerável e detalhes como a ciclagem geoquímica e biogeoquímica que ocorre no solo e na biota, uma suposição chave em estudos de balanço de massa em bacias hidrográficas é que o sistema está em estado estacionário, sendo assim, teoricamente qualquer ciclagem interna não afetaria a produção líquida do sistema. Apesar de não ser uma realidade que a suposição de estado estacionário é válida, tais estudos são úteis na compreensão do

intemperismo, particularmente quando combinado com a termodinâmica e cinética para deduzir a natureza das reações de intemperismo que ocorrem. Estudos realizados por Feth *et al.* (1964) e Garrels e McKenzie (1967), mediram as concentrações dos principais constituintes em águas superficiais de córregos e mostraram que a composição dessas águas pode ser explicada pelo intemperismo do leito rochoso local.

Figura 6- Desenho esquemático exemplificando o balanço de massa aproximado para as bacias de captação das amostras



Fonte: Modificado de WHITE, 2005.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo serão abordados os principais aspectos fisiográficos presentes na região e nas áreas estudadas, proporcionando uma necessária compreensão dos ambientes, para um melhor entendimento sobre o comportamento dos elementos químicos sob o ponto de vista da dispersão geoquímica no ambiente superficial e sua relação com o contexto em que ocorrem.

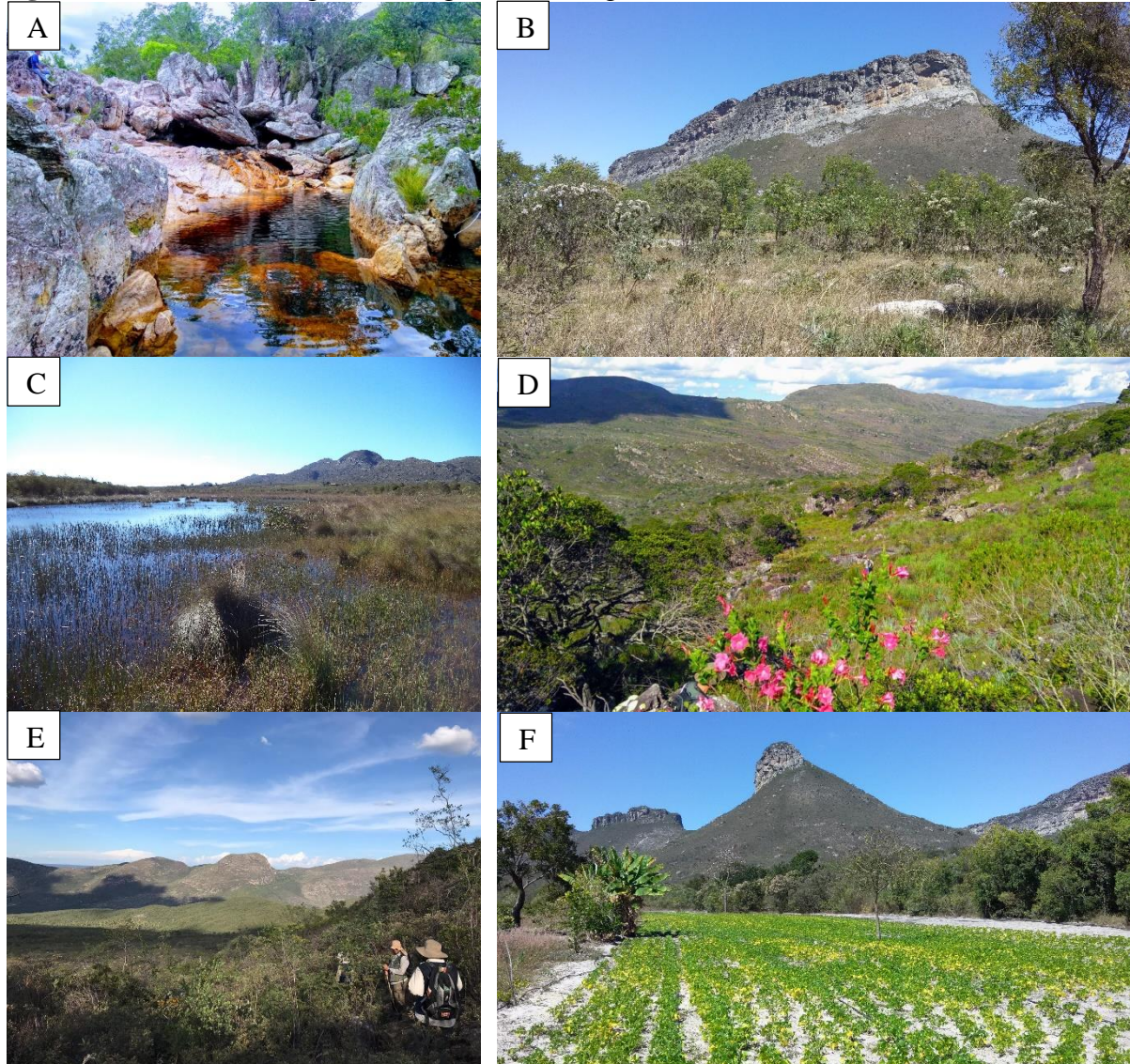
A área estudada está situada na porção central do estado da Bahia, Chapada Diamantina, região conhecida pela grande diversidade de ambientes, riquezas naturais e minerais. O principal acesso partindo de Salvador, por via terrestre, se dá por meio de cerca 550 quilômetros de vias pavimentadas, através das rodovias federais BR-324 até a cidade de Feira de Santana e BR-242, passando pelas cidades de Ipirá, Itaberaba e Seabra, até o entroncamento com a rodovia estadual BA-148, de grande importância tanto no setor turístico quanto econômico do estado da Bahia, uma vez que percorre toda a Chapada Diamantina e, na Folha Piatã, interliga as zonas urbanas dos municípios de Piatã, Abaíra, Jussiape e Rio de Contas, cortando toda a extensão da folha, de norte a sul, e possibilitando acesso as duas áreas de foco deste estudo. (Figura 1)

A porção central da Chapada Diamantina é detentora de uma grande diversidade de riquezas naturais, destacando-se nascentes de rios de importantes bacias hidrográficas do estado. Apresenta geomorfologia marcada por alternância entre serras e vales, condicionados pela trama estrutural e tectônica da área, que em combinação com outros agentes naturais como o clima e a vegetação, modelaram e modelam o atual padrão de relevo encontrado, resultando além da grande geodiversidade e biodiversidade, numa ampla possibilidade de usos e ocupações do solo, com potencial de impulsionar o desenvolvimento econômico da região.

O quadro da Figura 7 traz os registros fotográficos de diversas localidades e ambientes observados na Folha Piatã, mostrando um pouco dessa ampla geodiversidade, biodiversidade e possibilidades de usos e ocupações do solo. Através da Figura 7 fotografia A, é observado um trecho do Rio Água Suja, onde são encontradas belíssimas cachoeiras e poços com águas límpidas e cristalina, se configurando como um ambiente propício para o desenvolvimento de atividades turísticas e esportes de aventura. Na fotografia B pode ser visto em detalhe a Serra do Navio, um ponto turístico conhecido, localizado numa região onde podem ser encontrados campos e cachoeiras e uma grande quantidade e diversidade de pinturas rupestres. Na Figura 7C, observa-se regiões aplainadas suscetíveis a alagamentos e criação de brejos, geralmente apresentando vegetação hidrófita, e formas de relevo de topo de serra, com registro de planalto

no topo, nas fotografias D e mostram a diversidade geomorfológica da área com o registros de topos de serras e vales. Pode ainda ser observada na figura, áreas de cultivo, geralmente, realizados em campos aplainados que são encontrados nos diversos ambientes da Folha Piatã. (Figura 7F)

Figura 7- Quadro com registros fotográficos de alguns ambientes encontrados na Folha Piatã



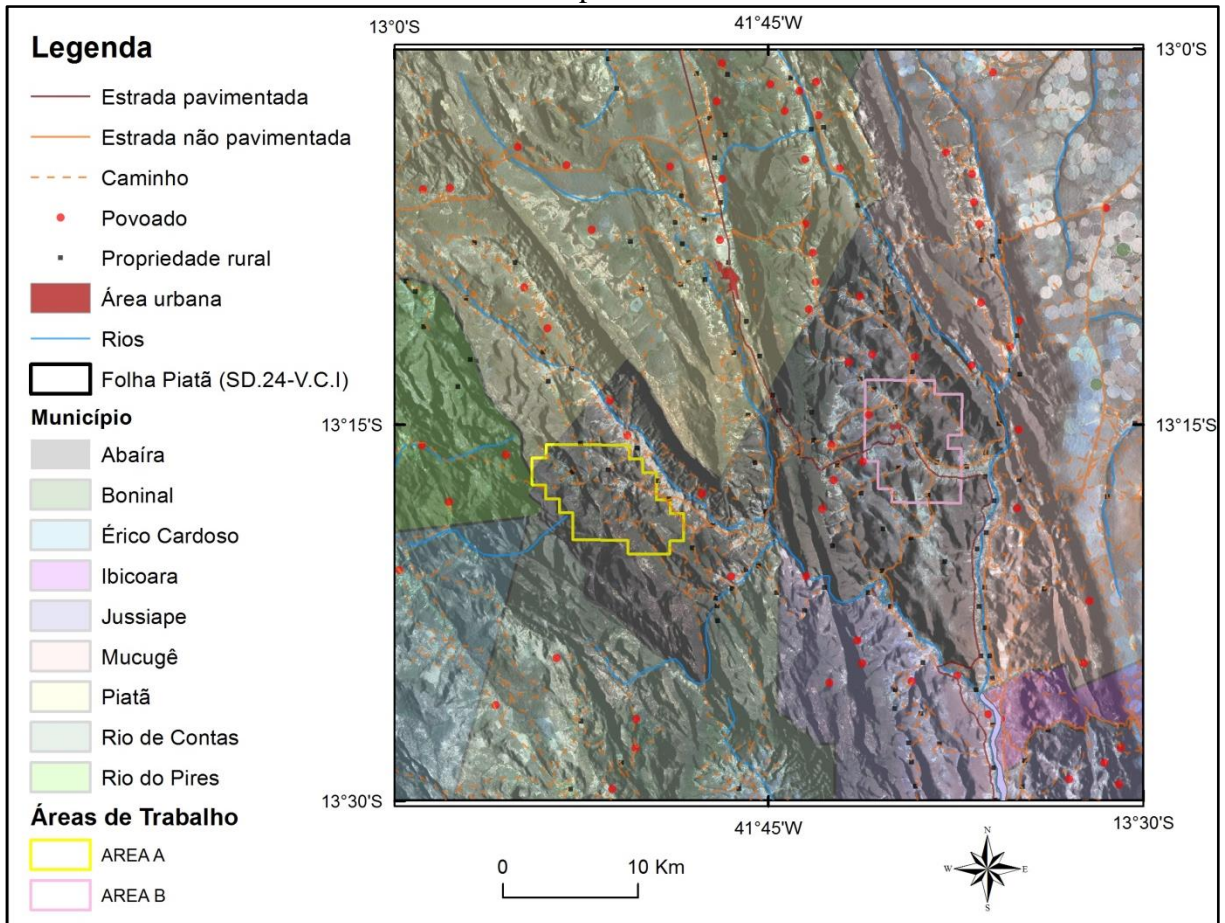
Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: A- Cachoeira do Rio Água Suja, B- Parte da serra do navio, C- Campos gerais e zonas alagadas, D- Vale e Serra, E- Planalto e Serra, F- Planícies com cultivo e serras.

As duas áreas de estudo estão localizadas no município de Abaíra, como pode ser visto na Figura 8, que está inserido na mesorregião do Centro Sul Baiano, microrregião de Seabra, conforme a divisão geográfica do país adotada até o ano de 2017, ano em que foi revisada e passou-se a utilizar o conceito de regiões intermediárias e imediatas para agrupamento dos setores, levando-se em consideração a conexão de cidades próximas através de relações de dependência e deslocamento da população em busca de bens, prestação de serviços e trabalho.

A partir desse conceito, o município de Abaíra está inserido na região intermediária de Vitória da Conquista, sendo a cidade de Brumado a região imediata, e a principal referência urbana desta localidade (IBGE, 2021a).

Figura 8- Mapa de divisão política da Folha Piatã, com localização das áreas estudadas e limite dos municípios inscritos na folha



Fonte: Adaptado de SANTOS; OLIVEIRA NETO, 2023, no prelo.

O município de Abaíra tem seus aproximadamente 538 Km², totalmente inscrito na Folha Piatã (IBGE, 2021b), na sua porção central, e apresenta uma diversidade muito grande de ambientes geomorfológico e possibilidades de uso e ocupação do solo, a exemplo de plantações de morango, cana, uma vez que a região é conhecida produtora de cachaça tipo exportação, além do cultivo de café, reconhecidos por alta qualidade. Destacam-se ainda diversas cachoeiras que podem impulsionar o turismo na região, além da vasta diversidade de recursos minerais presentes.

A Área B recebe uma maior influência de áreas urbanas, por estar situada próximo a cidade de Abaíra. Este município, em 2010 apresentou uma população de 8316 habitantes, com densidade demográfica de 15,68 habitantes (IBGE, 2010) e uma taxa de 12,2% de esgotamento

sanitário, de acordo com as informações do IBGE (2021a) em conjunto com o Ministério do Planejamento, divulgados no site do Portal Cidades@ do IBGE.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos principais domínios fisiográficos a qual pertencem as áreas estudadas, no capítulo cada aspecto fisiográfico será descrito com um nível de detalhamento maior, evidenciando as particularidades de cada área trabalhada. É importante evidenciar também que uma vez que o escopo do trabalho envolve a comparação de resultados geoquímicos em dois contextos geológicos distintos, ou seja, critérios geológicos foram os utilizados na seleção das áreas a serem trabalhadas, diante disso, foi dada uma maior ênfase a descrição dos aspectos fisiográficos relacionados as características geomorfológicas e geológicas de cada área, de modo a dar suporte à correlação entre as informações geoquímicas obtidas e o contexto em que ocorrem.

Tabela 2 - Resumo dos principais domínios físicos a qual pertencem as duas regiões estudadas

ASPECTOS FISIAGRÁFICOS		
Clima	ÁREA A	Inverno seco, verão fresco
	ÁREA B	Inverno mais seco
Hidrologia	ÁREA A	Nascentes do Rio de Contas
	ÁREA B	Nascentes do Rio Ribeirão
Vegetação	ÁREA A	Savana
	ÁREA B	Savana estépica
Pedologia	ÁREA A	Neossolo litólico distrófico
	ÁREA B	Argissolo vermelho amarelo eutrófico
Geomorfologia	ÁREA A	Dissecação estrutural convexo
	ÁREA B	Dissecação homogênea tabular
Geotectônica	ÁREA A	Interface Sin/Pós-rifte da Bacia do Espinhaço
	ÁREA B	Embasamento Pré-espinhaço
Litologia	ÁREA A	Rochas metavulcânicas e metassedimentares, hospedeira de ocorrências de ouro
	ÁREA B	Ortognaisses

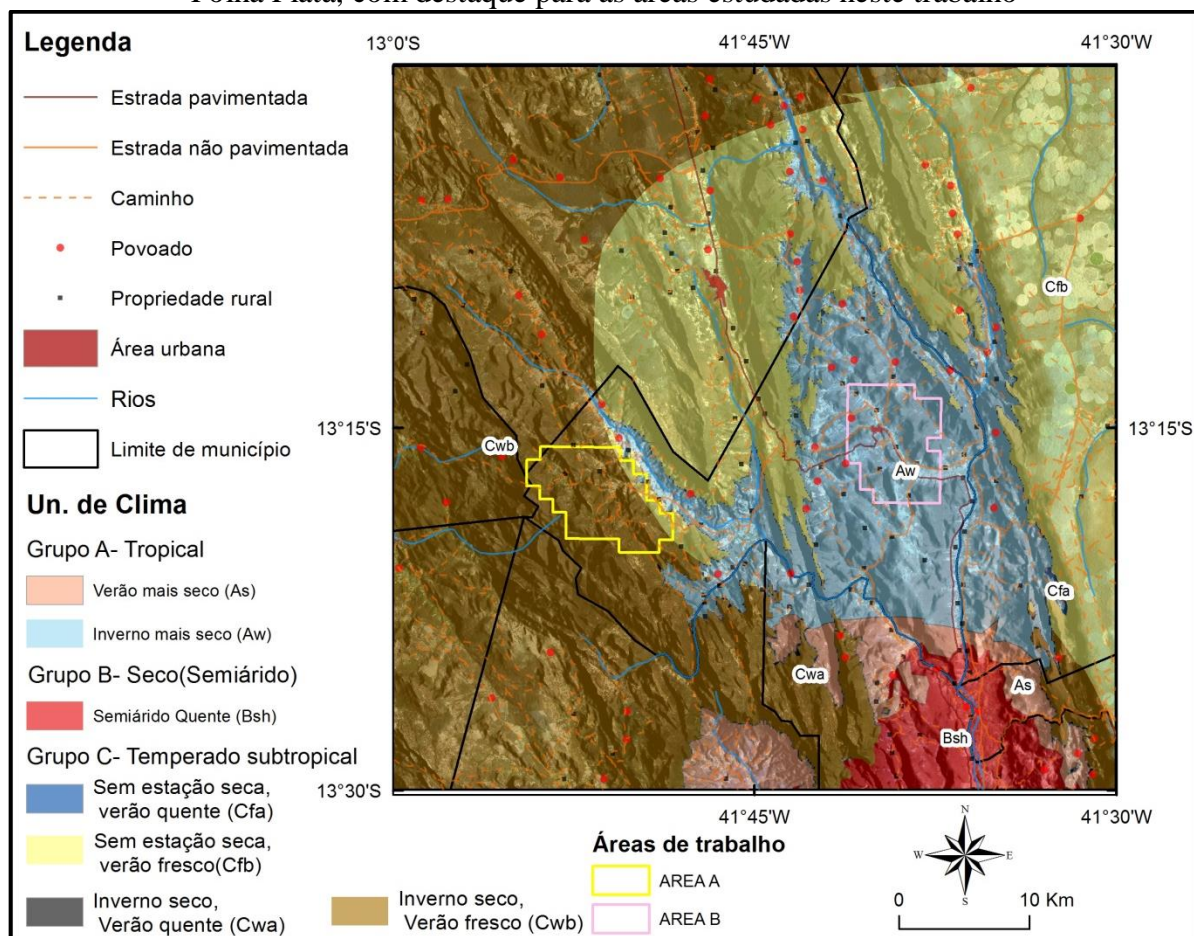
Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

4.1 Clima

O clima predominante da região de estudo é o semiárido, com variação para tropical úmido nas áreas mais elevadas. Dados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021) apontam temperatura média anual variando entre 22 a 24°C, estando acima da temperatura média do país, sendo o período entre janeiro e março o mais quente, com pico em fevereiro, e junho a agosto, com pico em julho os meses mais frios.

Conforme podemos observar na Figura 9 que mostra a classificação de Köppen-Geiger (KOTTEK *et al.*, 2006; ALVARES *et al.*, 2013), para as unidades de clima encontradas na Folha Piatã, existe a predominância dos climas Temperado, Tropical e Seco. Na Área A, observa-se a predominância do clima subtropical de altitude, que é influenciado por monções, e tem em pelo menos um mês no ano temperatura média acima de 22°C e em quatro meses acima de 10° C. No mapa, observa-se também que na Área B, o clima de predomínio é o tropical, com estação mais seca no inverno (Aw) (MCKNIGHT *et al.*, 2000).

Figura 9– Mapa com unidades de clima, conforme classificação de Köppen-Geiger, para a Folha Piatã, com destaque para as áreas estudadas neste trabalho



Fonte: Adaptado de SANTOS; OLIVEIRA NETO, 2023, no prelo.

Fazendo uma avaliação nos registros de oito estações meteorológicas, situadas num raio de 200 km da região estudada, que mostram registros de até 80 anos, foi observado, uma pequena tendência de aumento da temperatura média na região nos últimos anos, isso pode ser visto na Figura 10, quando se compara as duas séries temporais mais recentes disponíveis para esta região (1961 até 1990) e (1981 até 2010). Tais informações corroboram com os relatórios do IPCC divulgados desde 2001 até 2021, que relacionam o aquecimento global às atividades humanas, sendo que o relatório divulgado no ano de 2014 aponta como muito provável, que a

atividade humana liderada pela queima de combustível fóssil esteja fazendo a atmosfera esquentar desde meados da década de 1950, mais especificamente desde a revolução industrial. (IPCC, 2014).

Dados do INMET de distribuição das chuvas para esta região mostram uma das menores taxas de precipitação acumulada do território nacional, com índices entre 850 e 1050 mm. O período entre os meses de novembro e março tem as maiores taxas de precipitação acumulada mensal, que podem ultrapassar 100 mm, enquanto que no período entre julho a setembro, período mais seco, a precipitação média acumulada mensal é sempre menor que 50 mm. Conforme observado na Figura 11, quando comparadas às precipitações médias mensais, as informações sugerem uma leve tendência na diminuição dos índices de pluviosidade média mensal, principalmente nos meses entre outubro e maio, período onde ocorre uma maior frequência de chuvas na região. Esta informação corrobora com o apresentado no relatório do IPCC (2014) que aponta uma diminuição de até 10% na precipitação média para a região no período entre 1986 e 2005 e que prevê uma estabilidade para o cenário futuro até 2100.

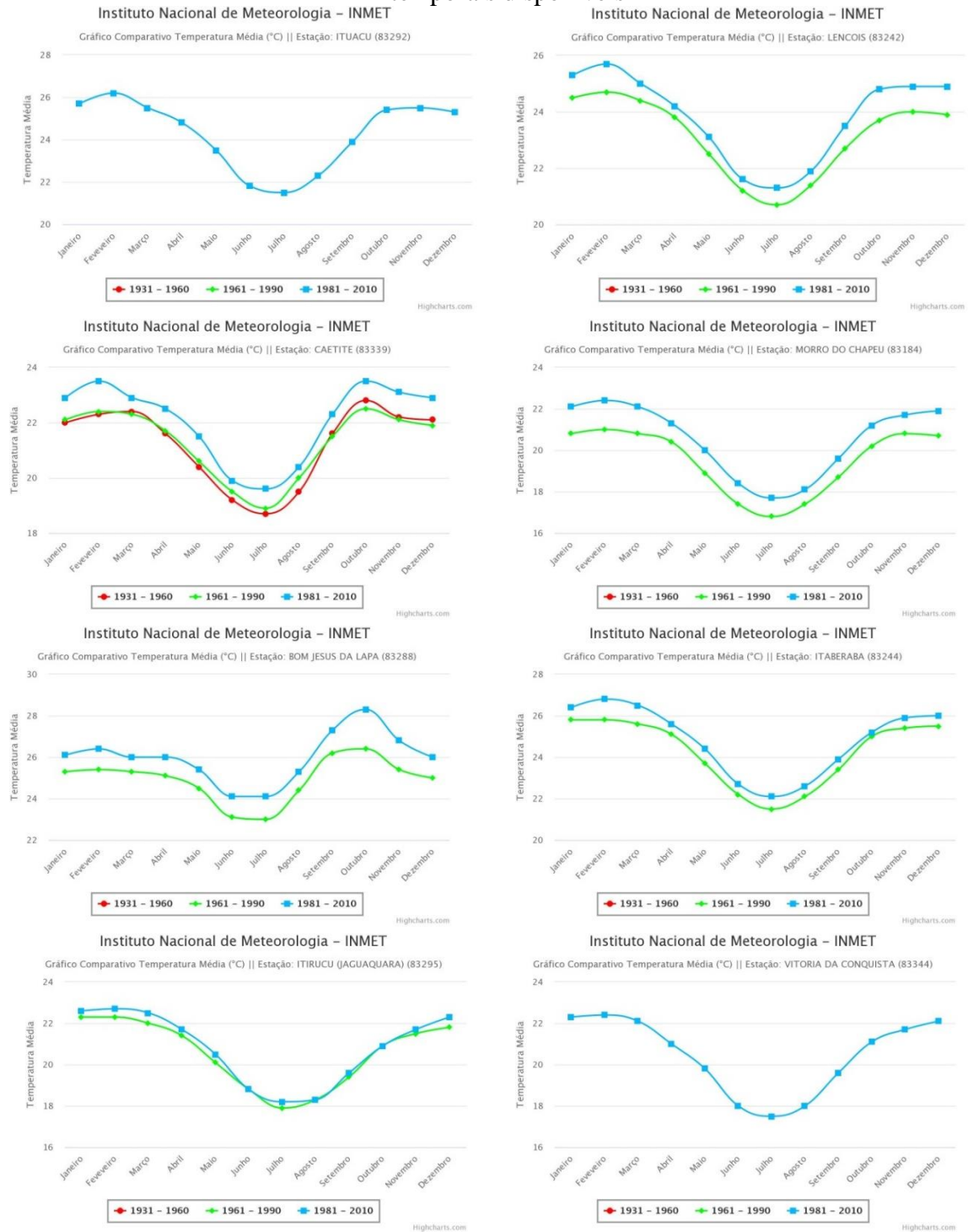
4.2 Recursos hídricos

A região de estudo está inserida numa porção estratégica em relação aos recursos hídricos da Bahia, entre duas bacias hidrográficas importantes, são elas: as Bacias São Francisco e do Atlântico Leste, se configurando como o berço de nascentes de alguns dos principais rios da região central, leste e noroeste do estado, tais como o Rio de Contas, o Paraguaçu e o Paramirim (IBGE, 2021a), respectivamente, (Figura 12).

Ambas as áreas selecionadas para o estudo estão localizadas no domínio da sub-bacia do Rio de Contas, sendo que a Área A está situada numa região onde ocorrem as nascentes de pequenos afluentes a direita do Rio Ribeirão, são drenagens de primeira a terceira ordem, intermitentes, geralmente apresentam fluxo forte, praticamente somente durante as chuvas. A Área B é cortada por afluentes da margem direita do Rio de Contas, são drenagens de primeira a quarta ordem.

O Riacho Água Branca é a maior drenagem desta área, possui terceira e quarta ordem e corta a porção central da área estudada, sendo a única drenagem perene da Área B. Ao longo do seu percurso estão instaladas pequenas barragens que são utilizadas pela comunidade local para irrigação de pequenas plantações e para o consumo de criações de animais e que tem como consequência a considerável diminuição da velocidade do fluxo deste riacho.

Figura 10 - Gráfico comparativo com a temperatura média por mês para as três séries temporais disponíveis



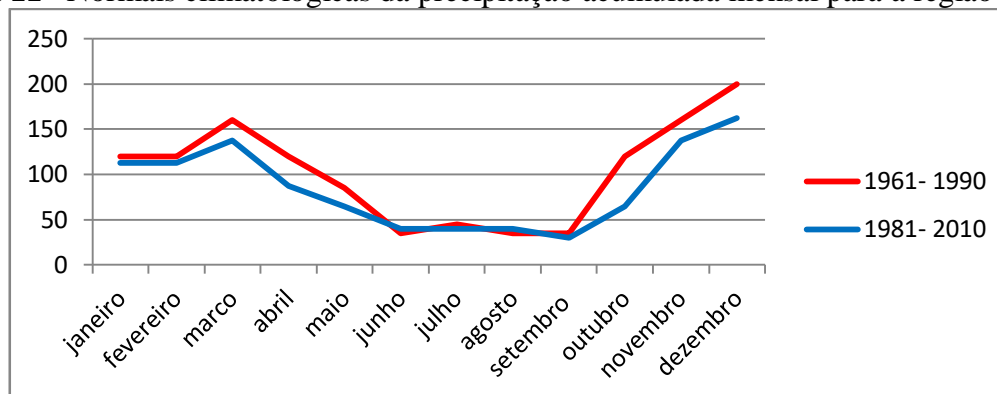
Fonte: Produzido com os dados do INMET, 2021.

4.3 Vegetação

Para a elaboração do mapa e descrição dos tipos de vegetação predominantes nas áreas estudadas, foram utilizadas as informações disponíveis no banco de dados de informações

ambientais (BDIA). O mapa com as unidades de vegetação mapeadas na Folha Piatã pode ser visto na Figura 13 junto com a indicação das áreas de trabalho desta dissertação.

Figura 11– Normais climatológicas da precipitação acumulada mensal para a região estudada



Fonte: Produzido com os dados do INMET, 2021.

A vegetação dominante da região é a Savana, com transição para a Savana estépica. Na Área A, observa-se o predomínio do Refúgio Vegetacional Montano, que envolve toda e qualquer vegetação floristicamente diferente do contexto geral da flora (IBGE, 2012). Ainda nesta área, muitas vezes se constitui uma vegetação relíquia, adaptada a condições especiais, como aquelas localizadas em altitudes acima de 1800 metros além de outros domínios intimamente relacionados aos ambientes de microclimas da Chapada Diamantina Figura 7D. Na Área B, prevalece o subgrupo Savana Estépica Arborizada, é caracterizada por espécies menores que 5 metros, em média, densidade variável, com troncos grossos e engalhamento ramificado geralmente providos de espinhos.

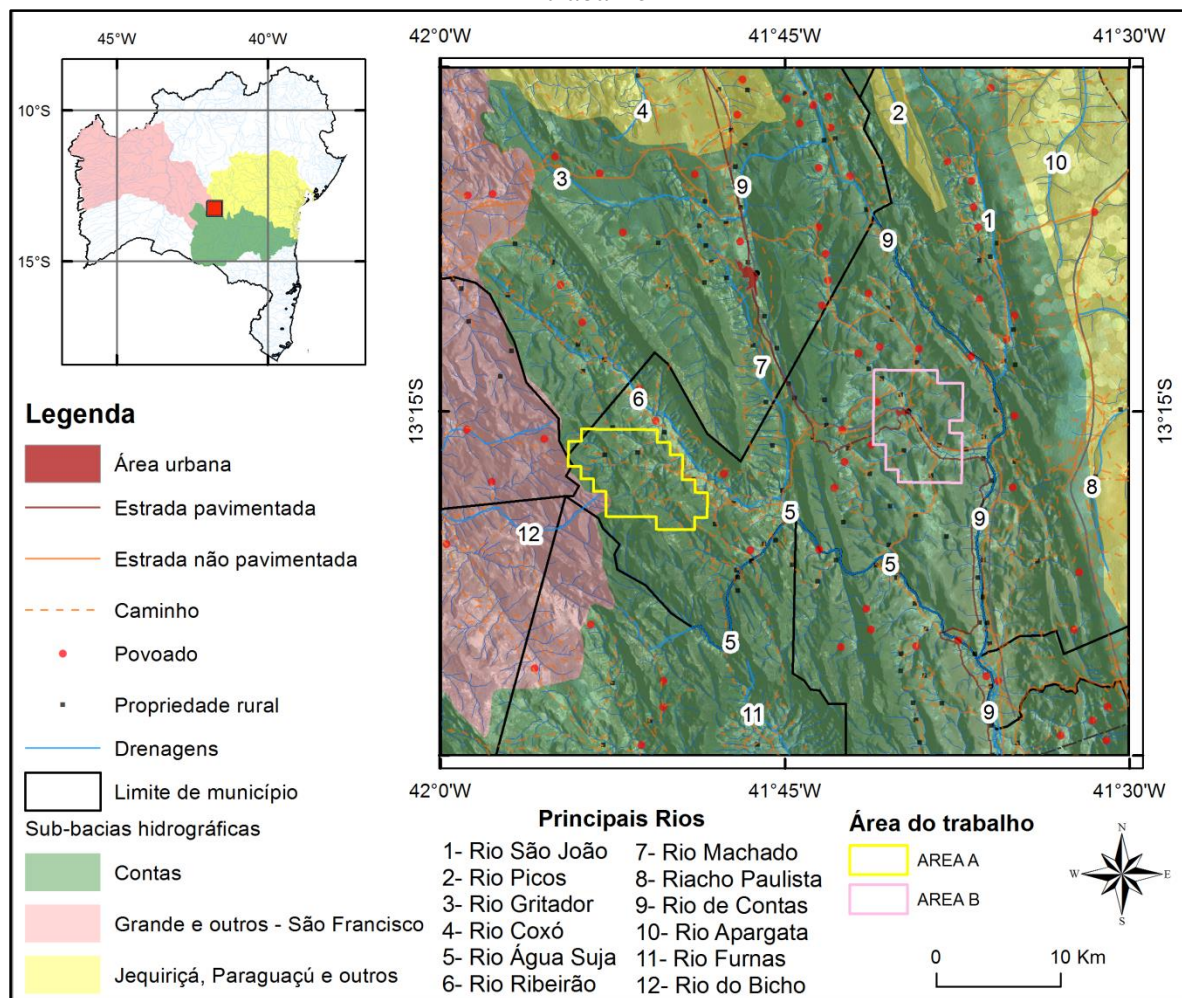
Ambas as áreas apresentam setores que são utilizados para diversos cultivos, a exemplo das regiões de agropecuária que ocupam os fundos dos vales, nas porções mais aplainadas (Figura 7F) e são áreas economicamente importantes no contexto local, uma vez que são regiões de produção agrícola expressiva, com muitos produtos reconhecidos pela sua qualidade no mercado nacional e internacional, a exemplo do morango e da cachaça de Abaíra e do café de Piatã.

4.4 Pedologia

As informações relacionadas aos tipos de solos presentes na Folha Piatã, foram retiradas do portal BDIA do IBGE. Conforme as informações do mapa de solos da folha SD.24 (IBGE, 2016), apresentadas na Figura 14, nas áreas onde foram coletadas as amostras deste trabalho predominam na Área A o Neossolo litólico distrófico (RLd), solos, normalmente, rasos e típicos de relevos acidentados associados a morros e serras e constituídos por material mineral

ou material orgânico pouco espesso, sem apresentar qualquer tipo de horizonte B. Na Área B, os argissolos, principalmente o argissolo vermelho amarelo eutrófico (PVAe). São solos que apresentam profundidade variável, mas em geral são pouco profundos, e têm como característica marcante o aumento de argila, oriunda do horizonte superficial A no subsuperficial B, denominado B textural, geralmente, acompanhado de pequena variação de cor, sendo um pouco mais escuros que o horizonte superficial (IBGE, 2009b).

Figura 12– Mapa das sub-bacias hidrográficas definidas pela ANA que ocorrem na Folha Piatã, com indicação dos principais rios presentes na folha e a localização das áreas do trabalho

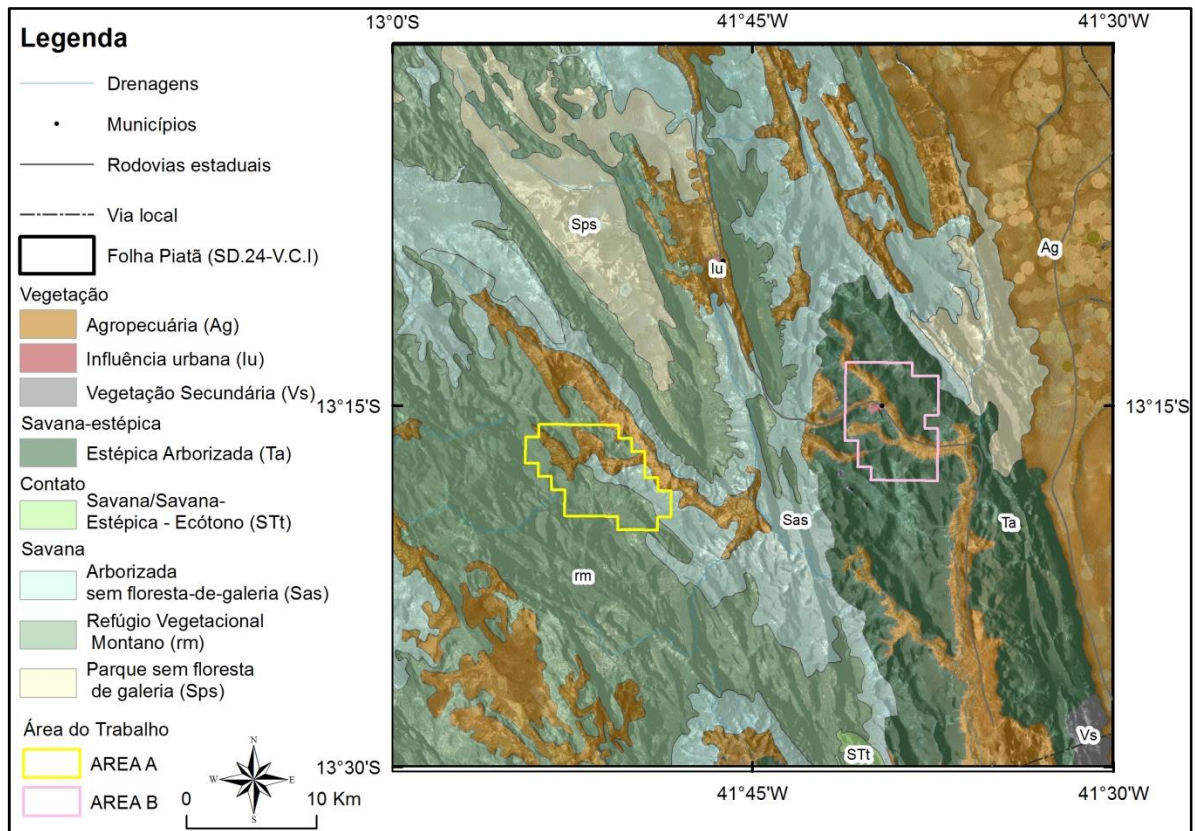


Fonte: Adaptado de SANTOS; OLIVEIRA NETO, 2023, no prelo.

4.5 Geomorfologia

Segundo as informações do manual técnico de geomorfologia (IBGE, 2009a), a folha Piatã está inserida no domínio morfoestrutural dos Crátons Neoproterozoicos, domínio morfoclimático não diferenciado, com depressões intermontanas e interplanálticas semiáridas (Figura 15).

Figura 13– Mapa de vegetação da Folha Piatã, conforme o BDIA do IBGE, com indicação das áreas estudadas



Fonte: Adaptado de SANTOS; OLIVEIRA NETO, 2023, no prelo.

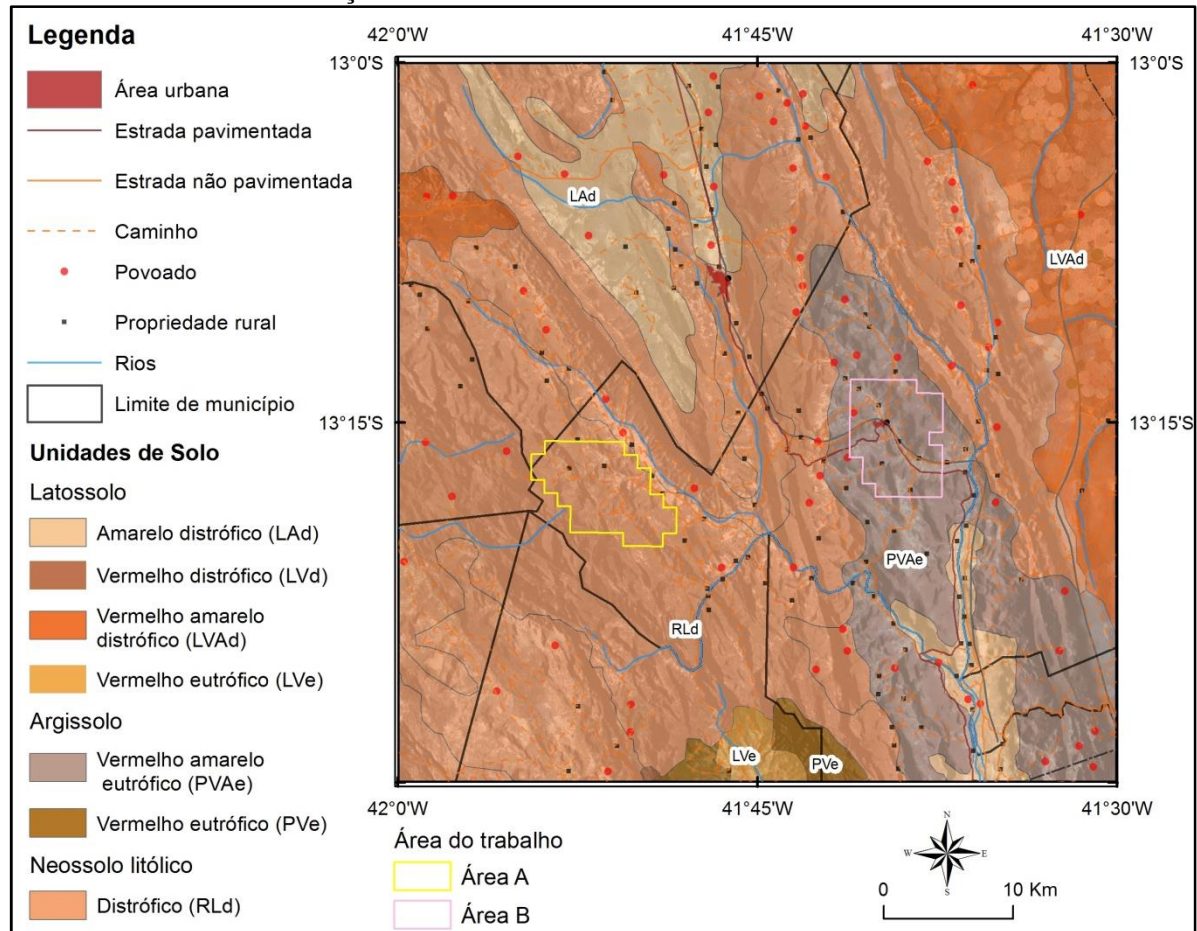
Neste domínio, é encontrada principalmente, a unidade das Serras da Borda Ocidental da Chapada Diamantina que domina toda a porção sudoeste e central da Folha Piatã e é a unidade predominante nas duas áreas de estudo (A e B). Ocorrem ainda o Pediplano Central da Chapada Diamantina sobretudo na porção leste e ocorrem também na porção central da folha, e a sul. Podem ser encontradas ainda duas pequenas regiões, pertencentes a unidade do Pediplano do Alto-Médio Rio de Contas.

A configuração geomorfológica da Área A, é dominada por modelados de dissecação estrutural de topo convexo (DEc) (Figura 15), caracterizando-se por regiões dominadas pela dissecação fluvial, e marcadas por um evidente controle estrutural em rochas metamórficas deformadas, com inúmeras cristas, vales e sulcos estruturais, que ocupam quase toda a área, exceto as regiões mais baixas, que geralmente margeiam as grandes drenagens, nos fundos dos vales, onde ocorre o modelado de aplainamento degradado desnudado (Pgu) (IBGE, 2014).

Através do mapa de relevo apresentado na Figura 16, observa-se que a Área A apresenta acentuado declive para NE, com uma diferença entre cotas que passam dos 600 m, sendo a região SW, a mais acidentada e possuindo vertentes mais inclinadas, chegando a

aproximadamente 70 graus, enquanto que seguindo para NE os declives são cada vez menores, de uma maneira geral, com inclinação média entre 5 e 10 graus e máxima de 25 graus. A seção topográfica presente (Figura 16C) nos ajuda a entender essa relação entre o relevo, as inclinações das vertentes e, conseqüentemente, as unidades geomorfológicas apresentadas nos mapas acima.

Figura 14– Mapa de unidades de solo da Folha Piatã, conforme o BDIA do IBGE, com indicação das áreas de coleta das amostras do estudo

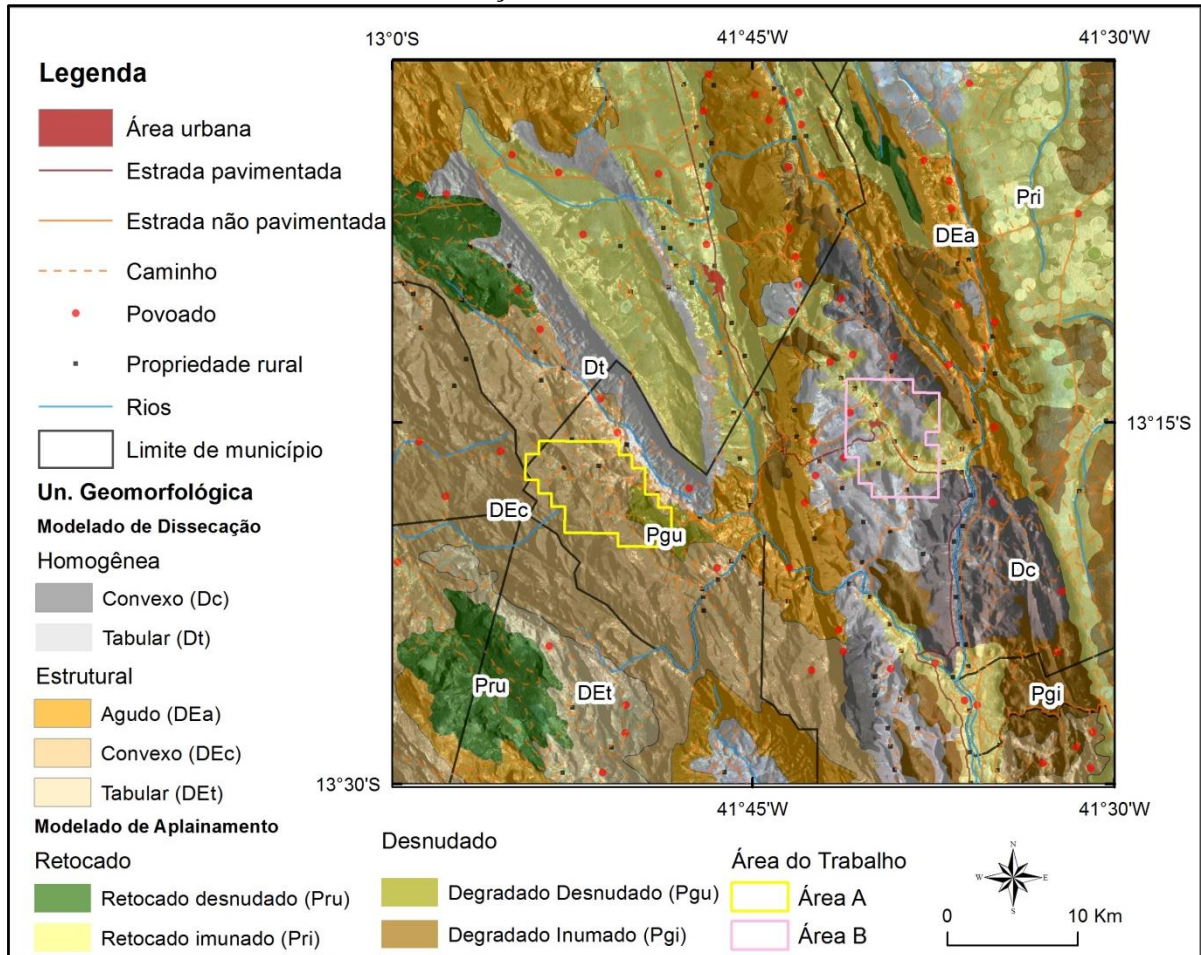


Fonte: Adaptado de SANTOS; OLIVEIRA NETO, 2023, no prelo.

Conforme as informações tiradas do BDIA (IBGE, 2014) para a Área B, observa-se o predomínio do modelado de dissecação homogênea tabular (Dt), que é caracterizado por erosão fluvial sem controle estrutural marcante e reconhecido, predominantemente, por colinas, morros e interflúvios tabulares e padrão de drenagem é dendrítico, com canais que não obedecem tão fortemente a uma direção preferencial. Na porção central da área, nas regiões mais baixas, seguindo o contorno dos maiores cursos d'água, prevalece o modelado de aplainamento retocado inumado (Pri), que constitui superfícies de aplainamento elaboradas durante fases sucessivas de retomada de erosão sem, no entanto, perder suas características de aplainamento. Podem apresentar cobertura detrítica e/ou encouraçamentos com mais de um

metro de espessura, indicando remanejamentos sucessivos. Por fim, na porção NE desta área, ocorre uma área dominada pelo modelado de dissecação homogênea de topo convexo (Dc).

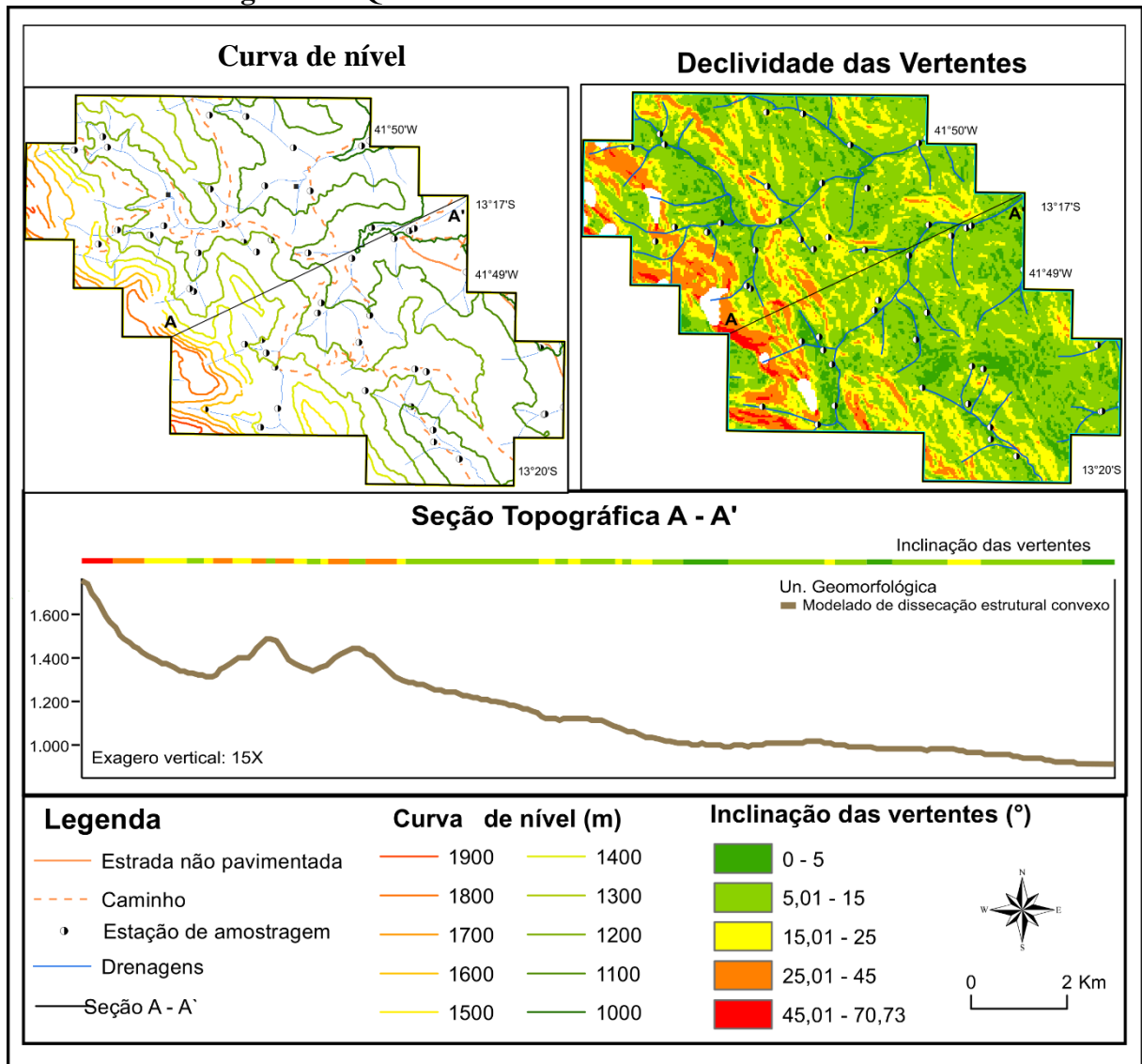
Figura 15– Mapa de geomorfologia da Folha Piatã conforme o BDIA do IBGE, com indicação das áreas estudadas



Fonte: Adaptado de SANTOS; OLIVEIRA NETO, 2023, no prelo.

De uma forma geral a Área B contém dois vales paralelos orientados a NW-SE, com declive para SE, onde foi medido desnível de, aproximadamente, 300 m entre as altitudes observadas nos topos e fundo do vale maior (Figura 17c). Tais regiões mais altas apresentam as maiores declividades da área, apresentando inclinações de vertentes que chegam a 35 graus, e são as regiões classificadas como de dissecação homogênea tabular (Dt), enquanto que nas regiões mais baixas, aplainadas e com vertentes com inclinação entre 0 e 10 graus, que são classificadas como modelados de aplainamento degradado desnudado (Pgu), os mapas e seção topográfica apresentados na Figura 17 nos ajudam a entender a correlação entre estas características neste domínio.

Figura 16– Quadro com características de relevo da Área A



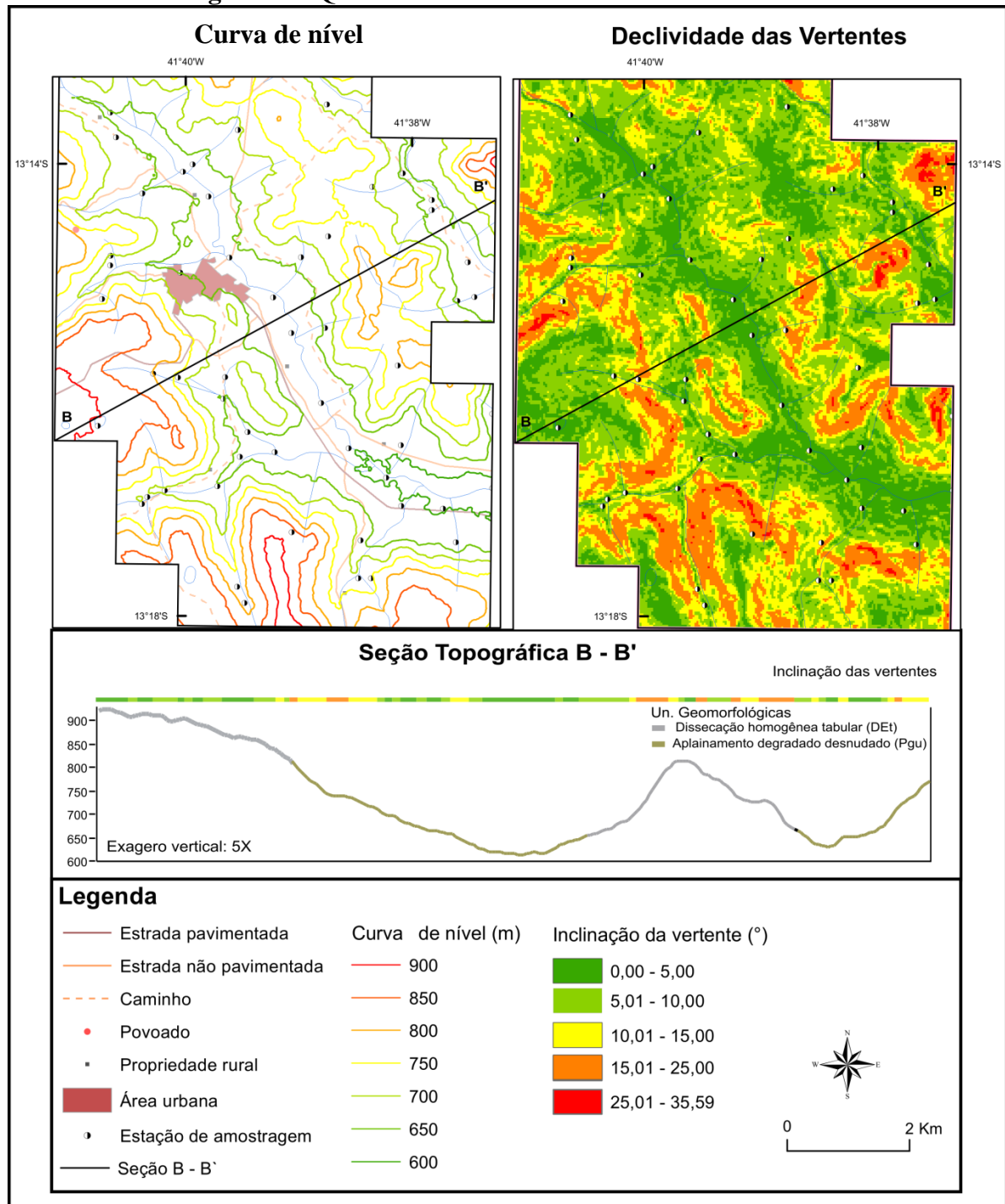
Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: a- Curvas de nível indicando as altitudes das regiões; b- declividades das vertentes de cada região; c- seção topográfica com indicação do domínio geomorfológico e da inclinação das vertentes.

4.6 Geologia e geotectônica

A Folha Piatã está inserida num contexto privilegiado sob o ponto de vista geológico, visto a convergência de diversas feições que constituem testemunhos de atividades tectônicas, vulcânicas e sedimentares (GUIMARÃES *et al.*, 2008). As duas áreas estudadas pertencem ao Cráton do São Francisco e abrangem os domínios geotectônicos do Embasamento Pré-Espinhaço e Bacia do Espinhaço (Figura 18), contemplando um conjunto de rochas Arqueanas, sucedidas por associações plutono-vulcanossedimentares de idades Paleo e Mesoproterozoicas, intrudidas por rochas félsicas e máficas (GUIMARÃES *et al.*, 2008; BARBOSA *et al.*, 2021).

Figura 17– Quadro com características de relevo da Área B



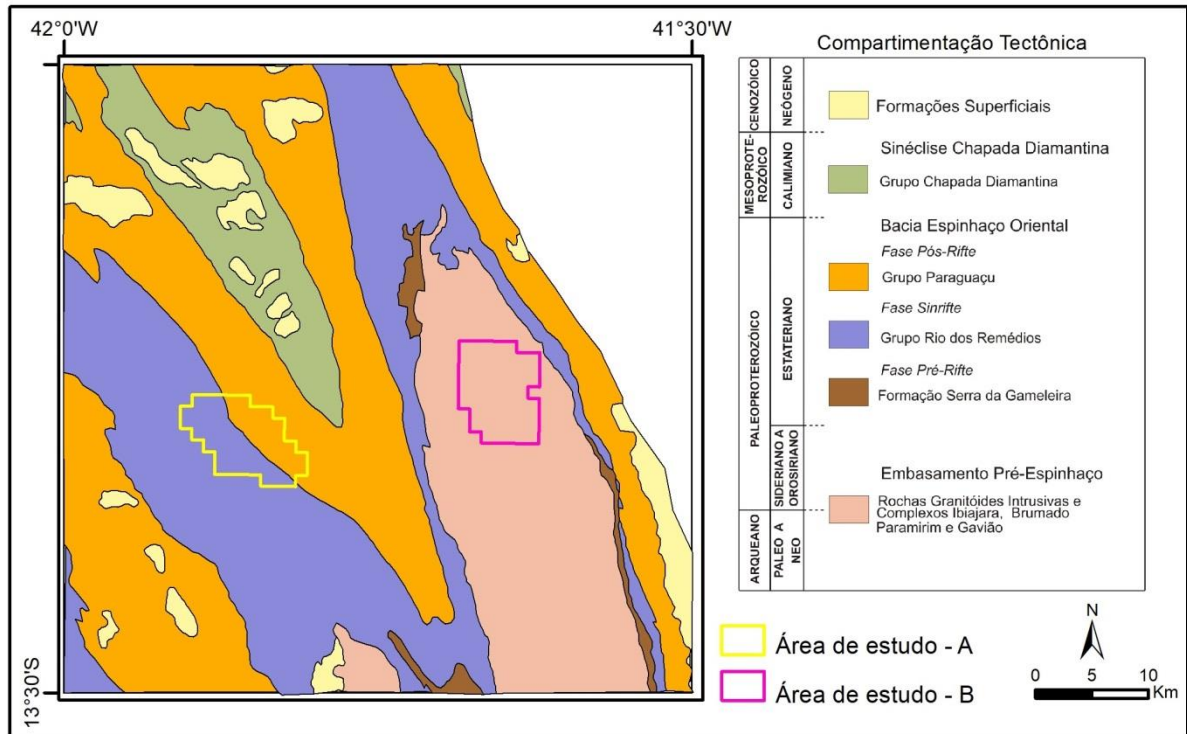
Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: a- curvas de nível indicando as altitudes das regiões; b- declividades das vertentes de cada região; c- seção topográfica com indicação do domínio geomorfológico e da inclinação das vertentes.

Na porção sul do Bloco Gavião são encontradas rochas Arqueanas da suíte plutônica Tonalítica-Trondhjemítica-Granodiorítica (TTG), gnaisses ortoderivados, migmatitos com termos granitóides subordinados e seqüências metavulcanossedimentares (GUIMARÃES *et al.*, 2008; BARBOSA *et al.*, 2012; BARBOSA *et al.*, 2021). Guimarães *et al.* (2005) apontam que durante o Paleoproterozoico a crosta continental consolidada no Neoarqueano foi invadida por

diversas intrusões de rochas granitoides, a exemplo dos Ortognaisses de Caraguataí, atribuídos ao Sideriano, e pelo Granito de Jussiape consolidado no Riáciano que afloram na Área B (Figura 19).

Figura 18- Mapa de compartimentação geotectônica da Folha Piatã com indicação das áreas estudadas



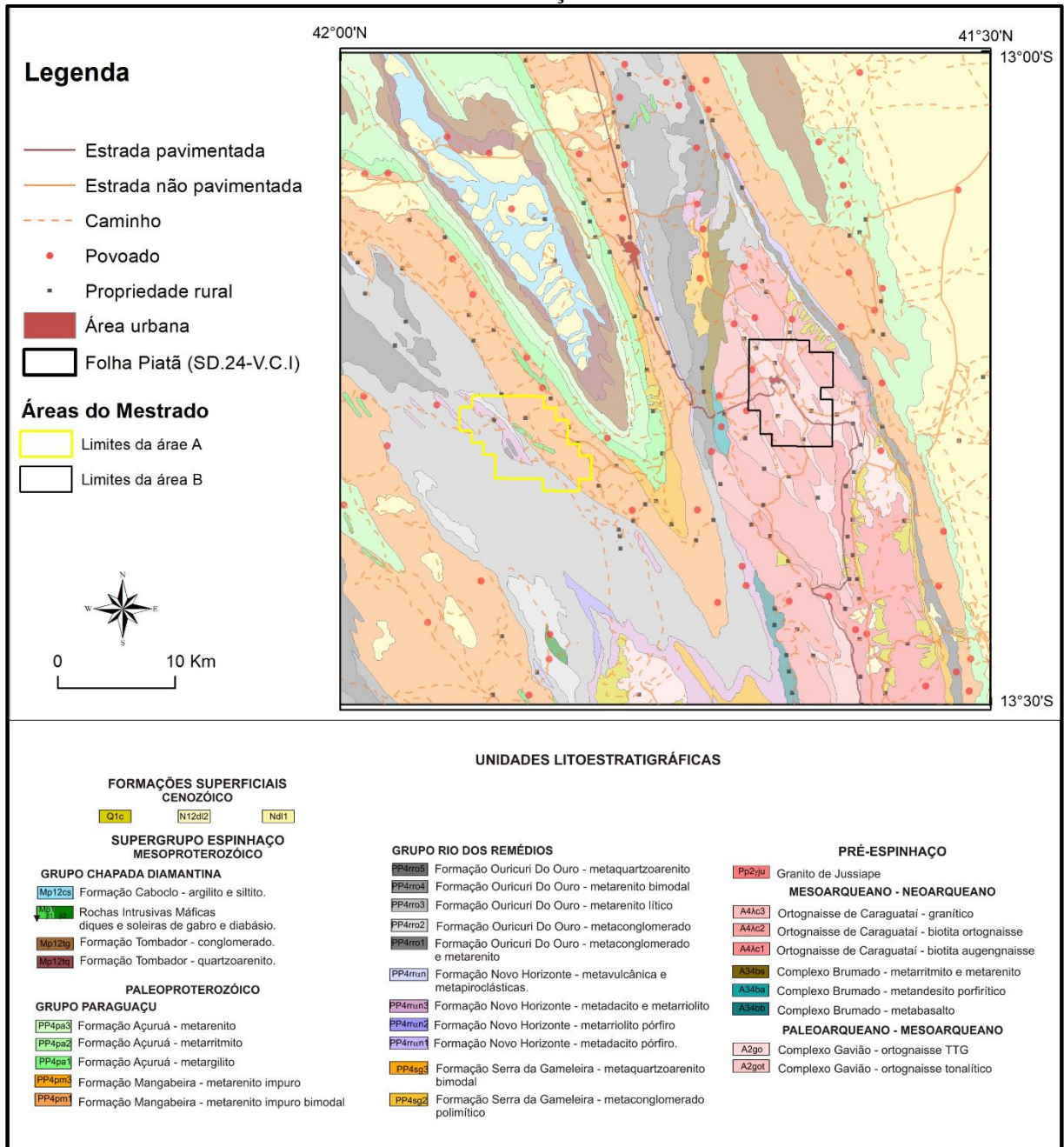
Fonte: Modificado de GUIMARÃES *et al.*, 2005.

Segundo Sá (1976 *apud* CAMPOS, 2013), a Chapada Diamantina compreende dois domínios (Ocidental e Oriental) separados pelo Lineamento Barra do Mendes-João Correia, com o domínio oriental caracterizado por dobras suaves e magmatismo restrito e o domínio ocidental que configura a Área A, marcado por um cinturão de cavalgamentos e dobramentos com falhas reversas e de empurrão associadas à megadobras orientadas na direção NNW/SSE e vergentes para leste que marcam a inversão do Aulacógeno do Paramirim durante o Neoproterozoico (CAMPOS, 2013; CRUZ *et al.*, 2007; CRUZ; ALKMIM, 2005).

Segundo Guimarães *et al.* (2008) durante o Estateriano os estados de Minas Gerais e Bahia foram palco de uma tafrogênese, que gerou sistemas de *riftes* intracontinentais aos quais sucederam-se bacias, preenchidas por rochas magmáticas e sedimentares, representantes precoces do Supergrupo Espinhaço, composto na Bahia por dois ramos, um a leste, Chapada Diamantina Ocidental, e outro a oeste, Espinhaço Setentrional, separados pelo Bloco do Paramirim. Estas duas bacias intracratônicas, armazenam os depósitos

metavulcanossedimentares e sedimentares continentais/marinhos do Supergrupo Espinhaço (GUIMARÃES *et al.*, 2005; GUIMARÃES *et al.*, 2008;).

Figura 19– Mapa geológico da Folha Piatã com indicação das áreas estudadas nesta dissertação



Fonte: Modificado de GUIMARÃES *et al.*, 2005.

A evolução desses sistemas de *riftes* intracratônicos ocorreu há cerca de 1,75 Ga sendo marcado por extensos derrames vulcânicos que evoluíram entre o final do Paleoproterozoico e o Mesoproterozoico (SCHOBENHAUS, 1996; CAMPOS, 2013). Com uma espessura de, aproximadamente, 5.000 metros, o Supergrupo Espinhaço comporta, na região da Chapada Diamantina, a sucessão de rochas metassedimentares e metavulcânicas depositadas nos estágios

pré-rifte, sin-rifte e pós-rifte representados, pelas rochas metavulcânicas, metassedimentares continentais e marinhas, acumuladas numa bacia do tipo sinéclise controlada por subsidência, representados pelo Grupo Chapada Diamantina (BARBOSA *et al.*, 2012; CAMPOS, 2013; GUIMARÃES *et al.*, 2005; GUIMARÃES *et al.*, 2008; PEDREIRA, 1994; GUADAGNIN *et al.*, 2014).

A seguir serão apresentadas mais detalhadamente as unidades litoestratigráficas, definidas por Guimarães *et al.* (2005), presentes nas duas áreas selecionadas, de forma a ajudar no entendimento e correlação das informações geradas por este trabalho com as informações geológicas previamente existentes.

4.6.1 Embasamento pré-espinhaço

São as rochas mais antigas das localidades estudadas e correspondem ao ambiente onde foram instalados os sistemas de riftes que culminaram na deposição das bacias. Na área estudada, está representado pelo Complexo Gavião e suas intrusões, o Ortognaisses de Caraguataí, atribuído ao Sideriano e pelo Granito de Jussiape consolidado no Riaciano.

4.6.1.1 Complexo Gavião

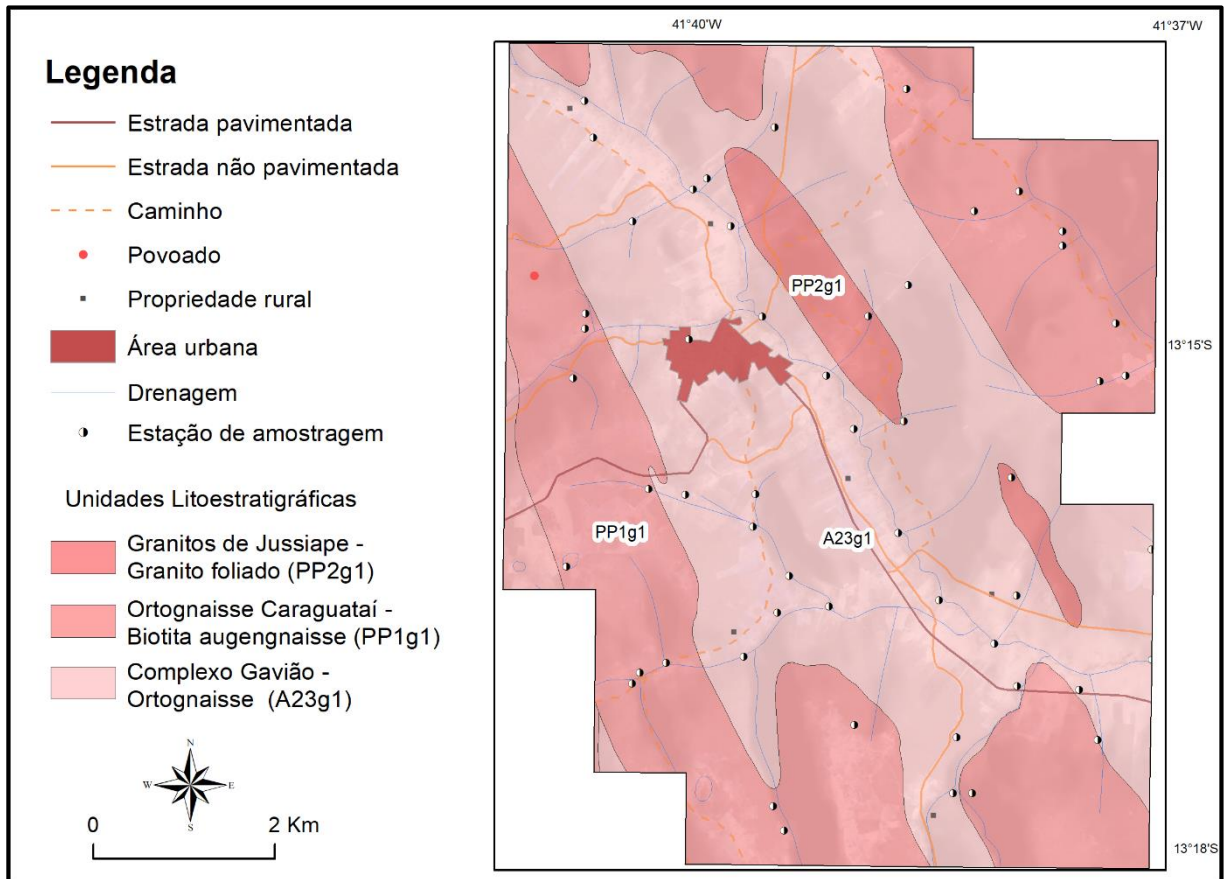
O Bloco Gavião é um dos segmentos crustais mais antigos até aqui reconhecidos na América do Sul, com idades radiométricas variando entre 3,5 e 2,7Ga (CUNHA *et al.*, 2000) e é constituído por ortognaisses TTG, remanescentes de sequências tipo *greenstone belt* (Contendas Mirante/Unidade inferior, Umburanas, Ibitira-Ubiraçaba e Brumado) e por associações supracrustais que abrangem gnaisses leptitos e anfibolitos de médio grau metamórfico.

Integrante do bloco homônimo, o Complexo Gavião ocorre na Área B, em uma janela estrutural que expõe o embasamento pré-espinhaço constituído por gnaisses migmatíticos de idades atribuídas ao intervalo Paleo-Mesoarqueano e consideradas as rochas mais antigas da área (GUIMARÃES *et al.*, 2005). Segundo Teixeira (2005), a intensa atividade intrusiva ácida que atuou na área no Paleoproterozoico causou importantes modificações no conteúdo químico original dos ortognaisses desse complexo.

Os ortognaisses tonalíticos (A23g1), dominam a faixa central da área (Figura 20) e os litotipos desta unidade, quase sempre, apresentam textura fanerítica grossa, com cristais desenvolvidos de plagioclásio e microclina pertítica. Segundo Guimarães *et al.* (2005), apresentam também feições incipientes de migmatização, com predomínio de estruturas

bandadas. São comuns os enclaves máficos, normalmente de metagabros/anfibolitos de granulação média a grossa.

Figura 20- Mapa geológico da Área B mostrando a relação espacial entre os domínios geológicos presentes na área e a localização das drenagens e das amostras utilizadas no trabalho



Fonte: Modificado de GUIMARÃES *et al.*, 2005.

4.6.1.2 Ortognaisses de Caraguataí

Os litoitipos dessa unidade foram reconhecidos em uma janela estrutural do embasamento, entre as cidades de Abaíra e Jussiape (LOPES, 1990 *apud* BARBOSA *et al.* 2012), possuem composição sienítica álcali-feldspato granítica a sienogranítica e encontram-se deformado e gnaissificado em zonas de cisalhamento dúcteis (BARBOSA *et al.*, 2012; CRUZ *et al.*, 2011; CRUZ *et al.*, 2012).

Conforme a subdivisão sugerida por Guimarães *et al.* (2005), na Área B ocorre o augengnaisse granítico (PP1γ1) que apresenta composições a ferro-hastingsita-biotita ou a aegirina-augita. Em geral, é cinza-escuro a cinza-médio, composto por fenoclastos de microclina pertítica e de plagioclásio albitizado com até 8 cm de tamanho, envoltos em matriz rica em plagioclásio albítico. Apresenta foliação milonítica e enclaves de ortognaisses granítico de granulação grossa, de metagabro e de metakomatiito. A presença de ferro-hastingsita e

aegirina-augita denunciam sua natureza alcalina, além de anomalias aerogeofísicas, sobretudo de U, conforme apontado por Teixeira (2005).

O autor ainda aponta idade superior a 2100 Ma para essas rochas, uma vez que está intrudido pelo granito de Jussiape e Cruz *et al.* (2011) encontraram uma idade U-Pb (LA-ICPMS) de 2711 ± 13 Ma que sugere idade de cristalização do protólito e concluíram que os dados indicam a existência de um magmatismo Neoarqueano nesse setor do Bloco Gavião.

4.6.1.3 Granito de Jussiape

O Granito Jussiape constitui corpos elípticos, alongado N/S intrusivo nos complexos Gavião e no Ortognaisses de Caraguataí (GUIMARÃES *et al.*, 2005; CRUZ *et al.*, 2011; BARBOSA *et al.*, 2012) e ocorrem na Área B em dois corpos alinhados, alongados e orientados a aproximadamente N340°, encaixados no Complexo Gavião (Figura 20). De maneira geral, são granitos e leucogranitos de granulação grossa, fracamente hidrotermalizados e sua composição mineralógica mais frequente compreende ortoclásio microclinizado, em fenocristais com até 3cm, plagioclásio levemente saussuritizado, recristalizado para albita, quartzo e biotita. São comuns os xenólitos de anfibólito, metaultramafito, gnaiss fitado e gnaiss megalítico. Estruturalmente, os granitos do corpo de Jussiape apresentam-se isotrópicos ou foliados, sendo a foliação ora determinada por fluxo magmático, ora por deformação.

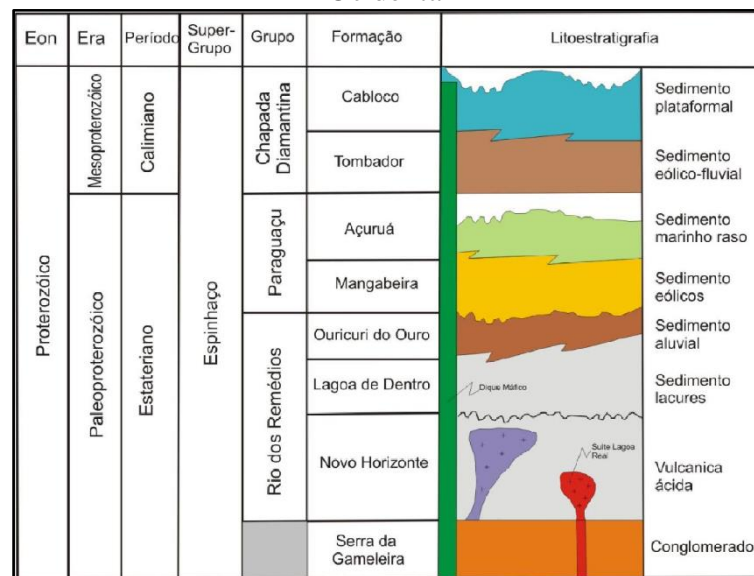
Segundo Teixeira (2005) o Granito de Jussiape é peraluminoso, potássico, subalcalino, com teores de elementos maiores e razões entre elementos traços LILE e HFSE que apontam para um magmatismo do tipo I, tardi a pós-orogênico, cujas características químicas são, contudo, bem próximas às de magmatismo tipo A. Ainda de acordo com o mesmo autor, essas características sugerem a existência de um arco magmático, ativo à época da colocação desse granito. Análise geocronológica pelo método U-Pb em zircões do granito de Jussiape obteve a idade de cristalização de $2121 \pm 2,2$ Ma e 2076 ± 51 Ma (TEIXEIRA, 2005; CRUZ *et al.*, 2011, respectivamente).

4.6.2 Supergrupo Espinhaço

A fase pré-rifte, conforme pode ser visto na Figura 21, é representada pela Formação Serra da Gameleira, composta de depósitos eólicos, relacionados a uma sequência deposicional acumulada num espaço bacinal raso, derivado de flexura litosférica (GUIMARÃES *et al.*, 2005). A fase sin-rifte foi inteiramente controlada por processos de subsidência mecânica, compreendendo duas etapas tectônicas, a primeira representada por rochas vulcânicas/subvulcânicas ácidas e vulcanoclásticas, pertencentes à Formação Novo Horizonte;

e a segunda etapa constituída por depósitos lacustres, de leques aluviais, flúvio-deltáicos e eólicos, relacionados às formações Lagoa de Dentro e Ouricuri do Ouro, todas pertencentes ao Grupo Rio dos Remédios. E por fim, a fase pós-*rifte* compreende depósitos eólicos da Formação Mangabeira e marinhos rasos da Formação Açuruá, que integram o Grupo Paraguaçu e teve o seu desenvolvimento condicionado a processos de subsidência passiva, decorrentes de regime termoflexural e a Bacia Chapada Diamantina, que armazena uma sedimentação continental e marinha rasa, gerada por processos de subsidência flexural derivada de eventos relacionados a alterações nas condições físicas da crosta. Os depósitos oriundos desse embaciamento correspondem às formações Tombador e Cabloco, do Grupo Chapada Diamantina. A Figura 21 apresenta a coluna estratigráfica do Supergrupo Espinhaço na região da Chapada Diamantina Ocidental (GUIMARÃES *et al.*, 2005; CAMPOS, 2013).

Figura 21- Coluna estratigráfica do Supergrupo Espinhaço na região da Chapada Diamantina Ocidental



Fonte: GUIMARÃES *et al.*, 2005; CAMPOS, 2013

No mapa da Área A, afloram fácies da Formação Novo Horizonte e Ouricuri do Ouro, representantes do Grupo Rio dos Remédios, além de um fácies da Formação Mangabeira, representante do Grupo Paraguaçu na área (Figura 22). O contato entre estas duas últimas unidades citadas marca a transição entre a fase pré-*rifte* e sin-*rifte* da evolução da Bacia da Chapada Diamantina Ocidental, na área.

4.6.2.1 Grupo Rio dos Remédios

O Grupo Rio dos Remédios, representado na área pelas formações Novo Horizonte e Ouricuri do Ouro, guardam o registro da fase de subsidência mecânica da Bacia da Chapada

Diamantina Ocidental e, por isso, é caracterizado pela forte influência de fatores tectônicos. O grupo compreende rochas vulcânicas ácidas e metassedimentares, com grande expressão de conglomerados gerados por fluxos gravitacionais, interdigitação de fácies psamíticas e psefíticas de fluxos de detritos e trativo, elevada variação faciológica com depósitos clásticos imaturos predominantes, além do extensivo vulcanismo ácido gerado por fusão de fontes crustais (GUIMARÃES *et al.*, 2005; PEDREIRA, 1994).

A Formação Novo Horizonte compreende as rochas vulcânicas oriundas de erupções, basicamente, explosivas sendo formadas, em geral, por riolitos e traquitos, sob as formas de vulcanoclástitos, tufos, brechas e derrames (GUIMARÃES *et al.*, 2005; BARBOSA *et al.*, 2021), datadas pelo método U-Pb em zircão em $1.752 \pm 4\text{Ma}$ (SCHOBENHAUS *et al.*, 1994) e $1.748 \pm 4\text{Ma}$ (BABINSKI *et al.*, 1999).

Segundo Teixeira (2005) as vulcânicas da Formação Novo Horizonte fazem parte de um magmatismo alcalino a metaluminoso, anorogênico, compatível com o ambiente tectônico sobre o qual se desenvolveu o rifteamento Paleoproterozoico e, petrograficamente, são formadas por pórfiros de quartzo, feldspato potássico e biotita, tendo como minerais acessórios monazitas, zircão e opacos, exibindo, às vezes, porfiroblastos de andaluzita, cianita e granada indicando a presença do metamorfismo.

No geral, as rochas apresentam-se bastante modificadas pela ação de fluidos, sejam eles magmáticos, de origem meteórica ou decorrentes de reações metamórficas e vários padrões de alteração hidrotermal podem ser observados, como potassificação, propilitização, greisenização e silicificação, segundo Guimarães *et al.* (2005), esses processos foram responsáveis pelas principais mineralizações que ocorrem na área.

A Formação Ouricuri do Ouro correspondente à sedimentação terrígena que posterior ao vulcanismo/plutonismo foi acumulada por fluxos gravitacionais e trativos de um complexo sistema aluvial disperso em um corpo d'água preenchido por sedimentos derivados de processos de suspensão e de fluxo gravitacional (GUIMARÃES *et al.*, 2005).

A Formação Ouricuri do Ouro representa, junto a Formação Lagoa de Dentro, o final do primeiro ciclo de preenchimento da bacia da Chapada Diamantina e é formada por metaconglomerados, metarenitos líticos e conglomeráticos, metarcóseos e metagrauvacas que repousam em contato abrupto e erosivo sobre as rochas vulcânicas da Formação Novo Horizonte (PEDREIRA, 1994; GUIMARÃES *et al.*, 2005; CAMPOS, 2013). As rochas dessa formação afloram, principalmente, na porção oeste da Área A, servindo de arcabouço para as grandes cristas e serras da região, a exemplo do Pico do Barbado, próximo a região estudada.

4.6.2.2 Grupo Paraguaçu

Na região da Chapada Diamantina Ocidental as rochas sedimentares do Grupo Paraguaçu representam o final dos sistemas aluviais controlados pelas estruturas extensionais ativas e a transição para uma bacia passiva, rasa e desértica, que extrapola os limites das bordas da bacia rifte (CAMPOS, 2013). Segundo Guimarães *et al.* (2005), a sedimentação, no período, foi regulada por subsidência passiva com pouca variação litofaciológica, sem atividade tectônica importante, influenciada pela eustasia e pelo recrudescimento das condições de aridez do ambiente, que passa de semiárido para árido.

A Formação Mangabeiras ocupa a faixa NE da Área A, e é constituída por metaquartzarenitos, metarenitos impuros, metarenitos grossos e metassiltitos, apresentando significativa uniformidade da sua composição através de toda a sua área de afloramento. Essa formação, é representada por uma sequência de rocha com baixo grau de deformação, metamorfismo na fácies xisto verde baixo e padrões de alteração hidrotermal (sericitização, silicificação) associados, principalmente, a zonas de cisalhamento.

Segundo Guimarães *et al.* (2005), essas rochas foram geradas por processos eólicos em ambiente desértico costeiro e a feição mais característica e diagnóstica é a estratificação cruzada de grande porte, além da bimodalidade textural.

4.6.2.3 Intrusivas Máficas

As intrusões máficas ocorrem como diques e *sills* que intrudem a sequência do Supergrupo Espinhaço como corpos com orientação preferencial N-NW, conforme pode ser visto na Figura 22, suas projeções em superfície possuem cerca de 2 Km de comprimento por 0,5 Km de largura. São normalmente compostos por leucogabros, cinza a esverdeados finos e foliados, de filiação toleítica continental típica, com características de contaminação crustal, normais em rochas colocadas em ambiente intraplaca (TEIXEIRA, 2005). Segundo Guimarães *et al.* (2008), estes corpos são intrusivos nas unidades inferiores do Supergrupo Espinhaço e, na Área A eles estão intrudidos na Formação Mangabeira, próximo a região do contato entre as sequências pré e *sin-rifte*.

Destacam-se na Área A diversas ocorrências de ouro (Figura 22), duas destas são garimpos conhecidos na região, o garimpo Bem Querer e do Engenho. A Figura 23 traz um quadro com registros fotográficos do garimpo do Engenho, que, apesar de desativado, apresenta fortes indícios do elevado potencial mineral da área.

Figura 22- Mapa geológico da Área A, com indicação das estações de amostragem utilizadas na dissertação

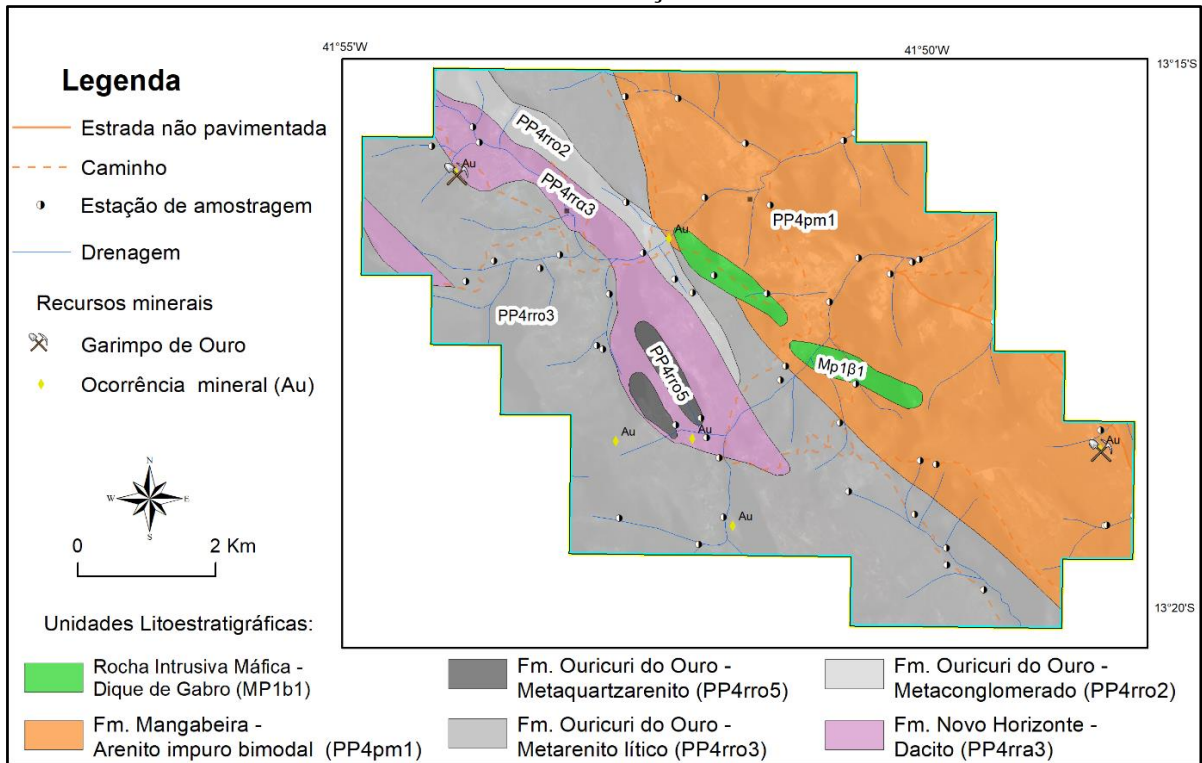
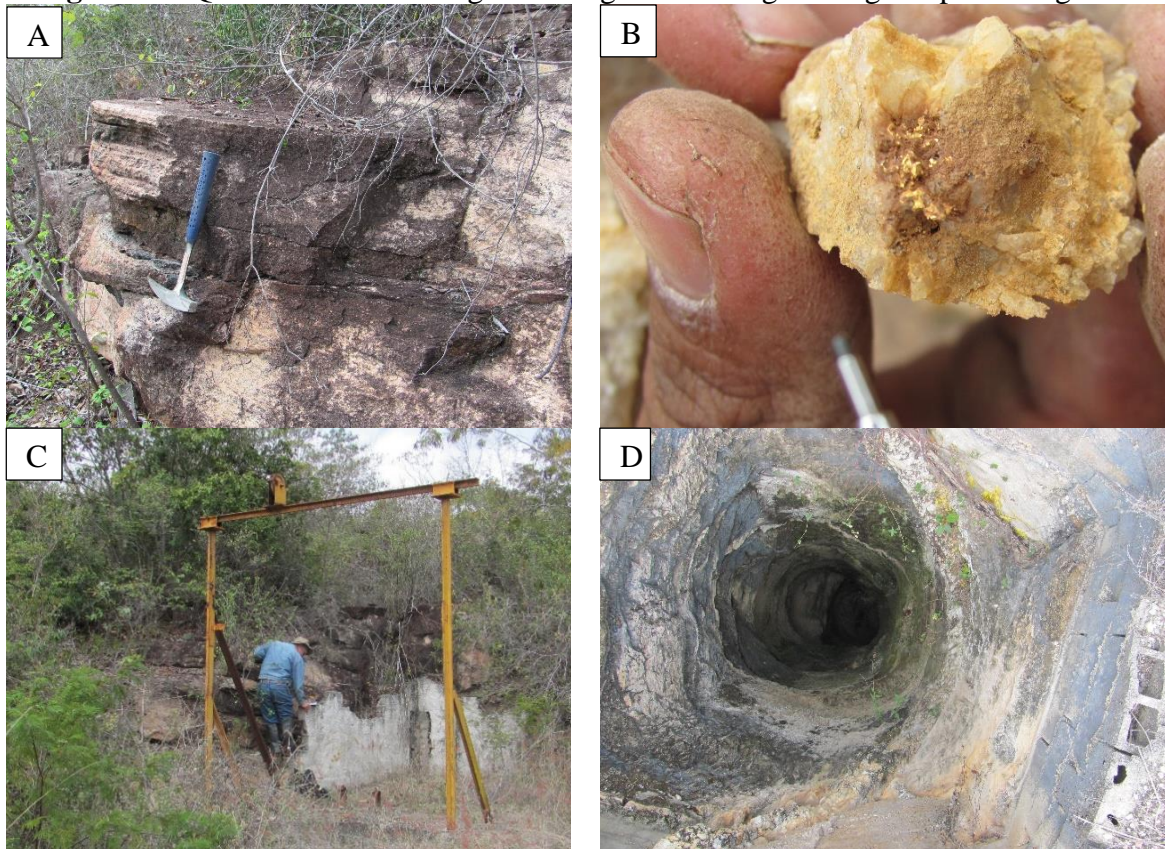


Figura 23- Quadro contendo o registro fotográfico da região do garimpo do Engenho



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: A- Afloramento em superfície da rocha encaixante. B- Veio de quartzo contendo fragmentos de ouro, C- Entrada do garimpo desativado, D- Visão interna da boca do garimpo.

Quando se avalia em conjunto o histórico do garimpo, a quantidade de material mobilizado observada (Figura 23 D), os indícios registrados através da quantidade de ouro encontrado em veios de quartzo retirados do garimpo (Figura 23 B), combinado com o contexto geológico, estrutural e geotectônico que ocorrem, reúnem um conjunto de características que chama atenção desta região como uma importante ocorrência, dentro do contexto dos recursos minerais da Chapada Diamantina Ocidental, registrada na área de estudo.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as informações relacionadas aos materiais e métodos utilizados na construção e desenvolvimento das diversas etapas realizadas para atender os objetivos propostos por este trabalho. O trabalho envolveu uma fase inicial, com a programação e realização das atividades de coleta das amostras, seguida de uma etapa de preparação das alíquotas para serem enviadas para análise química, uma segunda fase que envolveu as análises químicas no laboratório contratado pelo SGB-CPRM, e a terceira abrangeu o tratamento estatístico e interpretação dos resultados.

5.1 Programação e amostragem

Foram selecionadas 109 amostras, que estão distribuídas em duas áreas (55 na Área A e 54 na Área B) localizadas em diferentes contextos geológicos e geomorfológicos, que foram cedidas pelo Projeto Mapeamento Geoquímico da Folha Piatã (SD.24-V.C.I) (SANTOS; OLIVEIRA NETO, 2023, no prelo), realizado em acordo de cooperação técnica entre o SGB-CPRM e o CGS e que foram submetidas aos procedimentos de preparação e análises estabelecidos através do fluxograma da Figura 24, planejados com a finalidade de atender os objetivos propostos para esta dissertação. As amostras selecionadas foram coletadas em três etapas de campo diferentes, mais de 70% delas foram coletadas durante a etapa de campo realizada em maio de 2017, com as demais etapas sendo realizadas em outubro de 2018 e março de 2019.

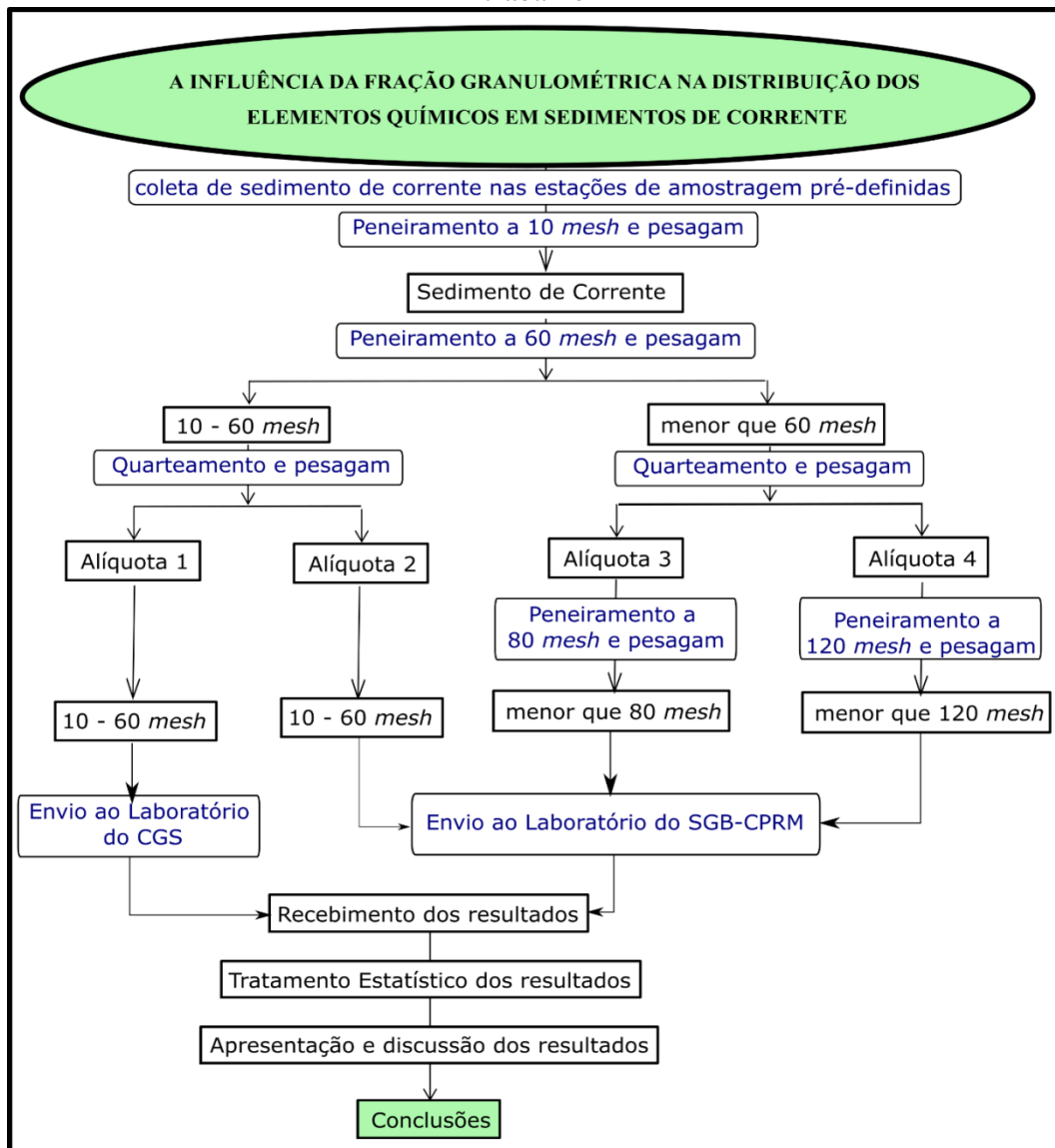
Para a realização do Projeto Piatã, foi utilizada a metodologia de mapeamento geoquímico multielementar proposta pelo CGS, com o planejamento das estações de amostragem feito em células quadradas de 1 km², que dividem toda a área da folha cartográfica, totalizando 3010 (Figura 25), das quais foram selecionadas as amostras utilizadas nesta dissertação.

Foram selecionadas 55 amostras na Área A, situada no contexto das rochas metassedimentares e metavulcânicas do Supergrupo Espinhaço e 54 amostras na Área B, dispostas na área de ocorrência das rochas metamórficas do embasamento cristalino (Figura 25).

As amostras foram coletadas na drenagem que melhor representavam a célula de amostragem delimitada, sendo muitas vezes coletada em drenagens de primeira ordem, ou seja, próxima à região de nascente. As amostras coletadas foram compostas, constituídas por porções

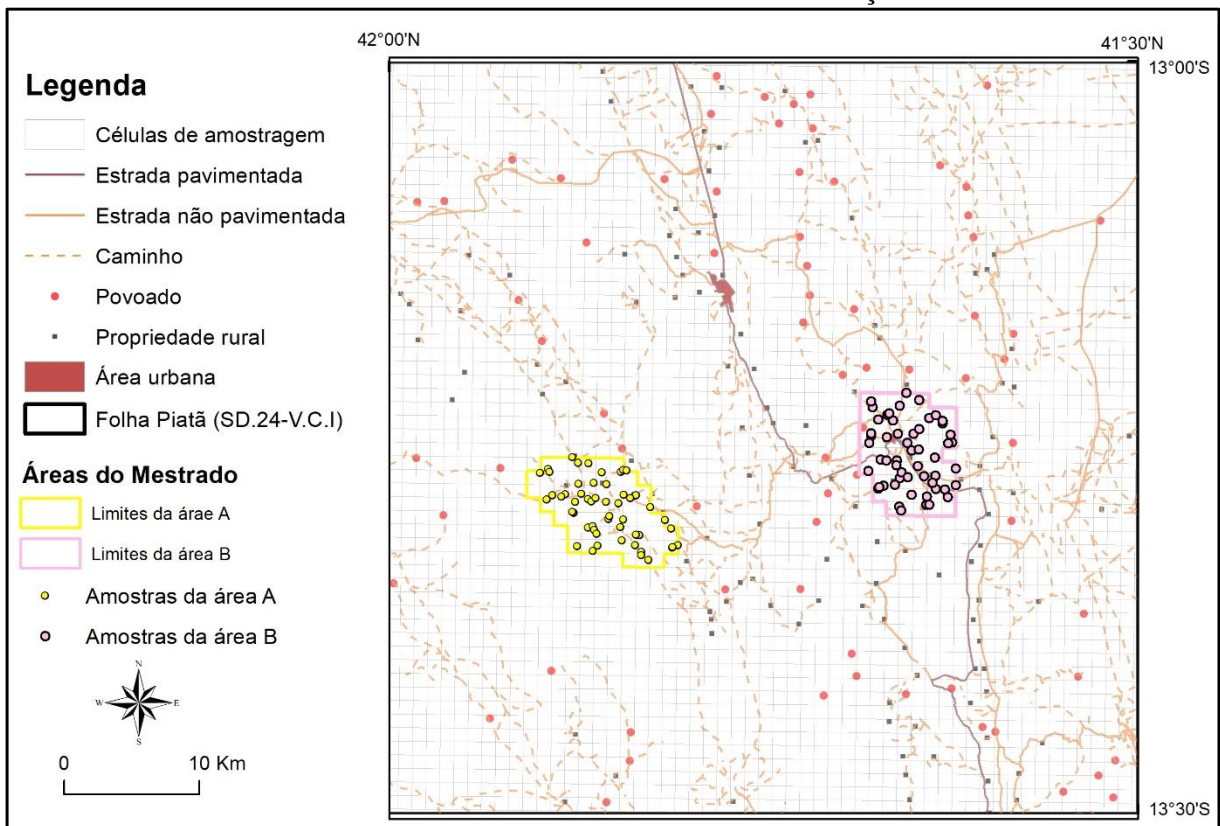
retiradas ao longo de cerca de 50 metros ao longo da estação de amostragem, buscando sempre o canal ativo da drenagem em trechos mais retilíneos (Figura 26A). A amostragem foi feita com auxílio de cavadeira articulada (boca de lobo) (A e B) e peneiradas ainda em campo em peneiras de aço inoxidável, com malha de 10 *mesh* (2 mm) (Figura 26C) com o material retido descartado e o passante acondicionado em sacos plásticos devidamente identificados (Figura 26D). Nas situações onde a drenagem continha água, foi feita a medida do potencial hidrogeniônico (pH) no ato da coleta (Figura 26F). Foi feita uma descrição das principais características ambientais encontrados nas estações de coleta, além de outros registros importantes, como fotografias, entre outras informações necessárias para a garantia da qualidade dos trabalhos realizados.

Figura 24- Fluxograma apresentando as etapas de desenvolvimento das atividades do trabalho



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Figura 25- Mapa de amostragem do Projeto Mapeamento Geoquímico da Folha Piatã, com a indicação das 3010 células de amostragens planejadas na densidade de 1 km². E destaque para as áreas e amostras utilizadas nesta dissertação



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Após coletadas e devidamente acondicionadas e identificadas, todas as amostras foram levadas ao laboratório de campo para serem preparadas seguindo a metodologia de preparação física proposta pelo CGS.

A fim de cumprir esta etapa de preparação das amostras foram secas ao sol, destorroadas com auxílio de marreta de borracha, peneiradas em peneira de liga metálica inoxidável com abertura de 60 *mesh* (0,25 mm). O material retido foi coletado para compor as alíquotas a serem analisadas na fração entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), enquanto que o passante foi reservado para separação das alíquotas compostas pelas frações granulométricas mais finas.

O retido no peneiramento a 60 *mesh* (0,25 mm) foi submetido à redução de massa através de quarteamento em cruzetas, até atingir 300g. Estas alíquotas foram enviadas para serem analisadas através da metodologia analítica proposta pelo CGS e os seus resultados, compõem a base de dados analíticos identificados como alíquota 1 no Fluxograma da Figura 24. A segunda porção da amostra, gerada pelo processo de quarteamento das alíquotas na fração

granulométrica entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), foram devidamente embaladas e identificadas a fim de compor a reserva de amostra do SGB-CPRM para estudos posteriores.

Figura 26- Quadro com registros fotográficos de situações de coleta das amostras de campo



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: A- Ferramentas e ambiente de coleta, B- Descrição de campo e registros digitais, C- Peneiramento in situ, D- Amostra coletada, registro das coordenadas e detalhe da peneira de 10 mesh inoxidável, E- Medida de Ph, na estação de amostragem com água.

O passante do peneiramento a menor que 60 *mesh* (0,25 mm) que, aqui neste estudo, foram denominadas como alíquotas 2, a fração granulométrica entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), alíquota 3, peneirada na fração granulométrica menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e a alíquota 4, que contém a fração granulométrica menor que 120 *mesh* (0,125 mm), conforme identificadas no fluxograma.

5.2 Separação das frações granulométricas

A amostra passante no processo de peneiramento a 60 *mesh* (0,25 mm), conforme foi citado acima, foi quarteada e pesada, compondo as alíquotas nas frações menores que 60 *mesh* (0,25 mm) a serem utilizadas neste estudo. Como podemos acompanhar no fluxograma apresentado na Figura 24, estas alíquotas após quarteamento, foram submetidas a peneiramento, com a ajuda de um agitador de peneiras com batidas intermitentes (ROTAP) e malhas de nylon com abertura nas frações 80 e 120 *mesh* (0,177 e 0,125 mm), compondo assim as alíquotas 3 (80 *mesh*) e 4 (120 *mesh*), respectivamente (Figura 27A). Ao final do processo essas alíquotas, foram pesadas, devidamente identificadas, acondicionadas e, junto a alíquota 2 (entre 10 e 60 *mesh*), enviadas para serem analisadas através da metodologia analítica utilizada pelo SGB-CPRM (Figura 27D, E e F). Os resultados analíticos dessas alíquotas compõem o conjunto de dados, utilizados nesta dissertação.

5.3 Rotinas Analíticas

As alíquotas contendo as frações granulométricas entre 10 e 60 *mesh*, menor que 80 e menor que 120 *mesh* (entre 2 e 0,25; menor que 0,177 e menor que 0,125 milímetros) das amostras selecionadas, foram submetidas à rotina analítica normalmente utilizada pelo SGB-CPRM. Estas alíquotas foram analisadas nos laboratórios da SGS GEOSOL, seguindo as etapas de secagem a 60°C em estufa, evitando perdas de voláteis, pulverização a uma fração granulométrica menor que 150 *mesh* (0,105 mm), digestão ácida por água régia e posterior leitura, de teores de 53 elementos por espectrometria de emissão de massa e óptico por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES/MS). É importante citar que, adicionalmente, as alíquotas foram submetidas a fusão, coopelação e digestão ácida através de ácido nítrico e clorídrico (HNO₃ e HCl) e para leitura por ICP-OES dos metais nobres Au, Pd e Pt método chamado comercialmente de *fire assay*. O sumário apresentado na Tabela 3 mostra, para todos os elementos químicos (53 elementos) contemplados na rotina analítica, métodos de leitura, limite inferior de detecção e unidade de medida na qual é reportado.

Figura 27- Quadro com registros fotográficos das atividades de preparação das amostras para serem enviadas para análise



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: A- Agitador ROTAP, utilizado na separação das frações granulométricas, B – Caixas com as alíquotas armazenadas após finalização das etapas de campo do Projeto Piatã, C- Registro fotográfico do laboratório de campo utilizado para a preparação das amostras do Projeto Piatã, D – Alíquotas organizadas para serem preparadas para envio, E- Alíquotas organizadas após o processo de preparação, F- Caixa contendo um dos lotes com o conjunto de amostras prontas para envio ao laboratório.

Os resultados das alíquotas contendo a fração granulométrica entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), submetidas à rotina analítica proposta pelo CGS (Alíquota 1) foram cedidos para serem utilizados nesta dissertação, e serão utilizados para a estimativa das faixas de *background*, nos dois contextos geológicos estudados.

Tabela 3- Sumário de elementos analisados pelo Serviço Geológico do Brasil por ICP-MS/OES após digestão das amostras por água régia

Elemento	Método de leitura	Limite inferior de detecção	Unidade	Elemento	Método de leitura	Limite inferior de detecção	Unidade
Ag	ICP-MS	0,01	mg/Kg	Na	ICP-OES	0,01	%
Al	ICP-OES	0,01	%	Nb	ICP-MS	0,05	mg/Kg
As	ICP-MS	1	mg/Kg	Ni	ICP-OES	0,5	mg/Kg
Au*	ICP-OES	10	µg/Kg	P	ICP-OES	50	mg/Kg
B	ICP-OES	10	mg/Kg	Pb	ICP-MS	0,2	mg/Kg
Ba	ICP-OES	5	mg/Kg	Pd*	ICP-OES	10	µg/Kg
Be	ICP-MS	0,1	mg/Kg	Pt*	ICP-OES	10	µg/Kg
Bi	ICP-MS	0,02	mg/Kg	Rb	ICP-MS	0,2	mg/Kg
Ca	ICP-OES	0,01	%	Re	ICP-MS	0,1	mg/Kg
Cd	ICP-MS	0,01	mg/Kg	S	ICP-OES	0,01	%
Ce	ICP-MS	0,05	mg/Kg	Sb	ICP-MS	0,05	mg/Kg
Co	ICP-MS	0,1	mg/Kg	Sc	ICP-MS	0,1	mg/Kg
Cr	ICP-OES	1	mg/Kg	Se	ICP-MS	1	mg/Kg
Cs	ICP-MS	0,05	mg/Kg	Sn	ICP-MS	0,3	mg/Kg
Cu	ICP-OES	0,5	mg/Kg	Sr	ICP-OES	0,5	mg/Kg
Fe	ICP-OES	0,01	%	Ta	ICP-MS	0,05	mg/Kg
Ga	ICP-MS	0,1	mg/Kg	Tb	ICP-MS	0,02	mg/Kg
Ge	ICP-MS	0,1	mg/Kg	Te	ICP-MS	0,05	mg/Kg
Hf	ICP-MS	0,05	mg/Kg	Th	ICP-MS	0,1	mg/Kg
Hg	ICP-MS	0,01	mg/Kg	Ti	ICP-OES	0,01	%
In	ICP-MS	0,02	mg/Kg	Tl	ICP-MS	0,02	mg/Kg
K	ICP-OES	0,01	%	U	ICP-MS	0,05	mg/Kg
La	ICP-MS	0,1	mg/Kg	V	ICP-OES	1	mg/Kg
Li	ICP-OES	1	mg/Kg	W	ICP-MS	0,1	mg/Kg
Lu	ICP-MS	0,01	mg/Kg	Y	ICP-MS	0,05	mg/Kg
Mg	ICP-OES	0,01	%	Yb	ICP-MS	0,1	mg/Kg
Mn	ICP-OES	5	mg/Kg	Zn	ICP-OES	1	mg/Kg
Mo	ICP-MS	0,05	mg/Kg	Zr	ICP-OES	0,5	mg/Kg

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Elementos com asterisco (*) foram analisados através de fire assay (fusão, copelação, digestão com HNO₃ e HCl e leitura por ICP-OES). ICP-MS - Espectrometria de emissão de massa com plasma indutivamente acoplado, ICP-OES - espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado, mg/Kg – miligrama por quilograma, µg/Kg – micrograma por quilograma.

5.4 Certificação Das Análises Químicas

As análises foram realizadas em nove lotes analíticos, os quais reportam os resultados das amostras coletadas em campo e das amostras de controle, inseridas nos lotes com a finalidade de entender e controlar as condições analíticas. A Tabela 4 apresenta a lista com todos os lotes analisados neste trabalho, e indica a quantidade de amostras do levantamento e de controle analisadas em cada lote, nela podemos ver também que foram analisados materiais

de referência certificados (MRC) e duplicatas analíticas, com a finalidade de monitorar, respectivamente, os níveis de acurácia e as condições de reprodutibilidade dos resultados analíticos.

Foram utilizados três MRCs diferentes para o controle das análises. O OREAS 46 e OREAS 47, que foram produzidos pela Ore Research & Exploration p/l e o SG_143, por ter sido analisado em apenas um lote não foi utilizado no tratamento estatístico. O OREAS 46 e OREAS 47 são tilitos coletado no Canadá, cuja composição reflete a geoquímica de um ambiente onde ocorrem *greenstone belts* e rochas intrusivas félsicas, sendo que o OREAS 47 apresenta pequenas adições de diversos minérios enriquecidos em elementos do grupo da platina, terras raras, lítio, além de concentrados de metais básicos.

A avaliação dos níveis de acurácia das análises foi feita para todos os elementos que apresentaram todos os resultados acima do limite inferior de detecção, através do cálculo, para cada análise do MRC, das diferenças entre o resultado obtido e o valor certificado no método estudado, calculando-se o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV), como pode ser acompanhado através da Equação 1 e da Equação 2, sugeridas por Reimann *et al.* (2008), Onde, CV é igual ao coeficiente de variação, x é o resultado obtido e n é o número de amostras.

Equação 1

$$\Delta p = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - y_i)^2}{n}}$$

Onde: Δp = desvio padrão, x = resultado obtido, y = valor certificado e n = número de amostras

Equação 2

$$CV = \frac{\Delta p}{\frac{\sum_i^n x_i}{n}} * 100$$

Tabela 4- Resumo da quantidade de amostras de campo e de controle analisadas por lote

Lote	Amostras	Duplicata	Duplicata Au	Material de Referência Certificado (MRC)		
				SG_143	OREAS 46	OREAS 47
GQ2006507	23	1			1	
GQ2006508	42	1			1	1
GQ2006509	44	1			1	1
GQ2006510	44	1			1	1
GQ2006512	44	1			1	1
GQ2006515	65	2	3	1	1	1
GQ2006676	24	1			1	
GQ2006682	42	1			1	1
GQ2006678	23	1	1		1	

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Para a verificação da garantia das condições de reprodutibilidade dos resultados foram utilizadas amostras de duplicatas, comparando para cada elemento as distribuições obtidas através das análises das amostras do levantamento e as obtidas através da respectiva análise duplicada. Portanto, para cada distribuição foi feito o estudo da normalidade, através do teste

de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965), possibilitando determinar qual o procedimento estatístico mais adequado para comparar as distribuições em cada variável. Quando foi aceita a hipótese da distribuição normal, a um nível de significância acima de 95% de confiança, ou seja, nos casos em que valor p , resultado do teste de Shapiro-Wilk, foi maior que 0,05 (distribuição paramétrica), foi utilizado o teste t pareado, já nas situações em que o teste de Shapiro-Wilk indicou distribuições não paramétricas ($p > 0,05$), os resultados foram comparados através do teste de Wilcoxon, pois este é o método mais indicado para a comparação de distribuições não paramétricas de pares dependentes de amostras independentes (WILCOXON, 1945; SALOMÃO, 2020). Para os elementos que obtiveram resultados divergentes entre os testes de normalidade nas distribuições produzidas pelas duas leituras, foram realizadas as duas técnicas de comparação, a fim de se obter um resultado para estes elementos nas duas condições (paramétrica e não paramétrica).

5.5 Tratamento estatístico dos resultados

O tratamento estatístico de dados realizados nos resultados, seguiu a sequência de estabelecida no fluxograma da Figura 28, que apresenta um resumo dos principais procedimentos de tratamento dos resultados utilizados na ordem em que foram executados.

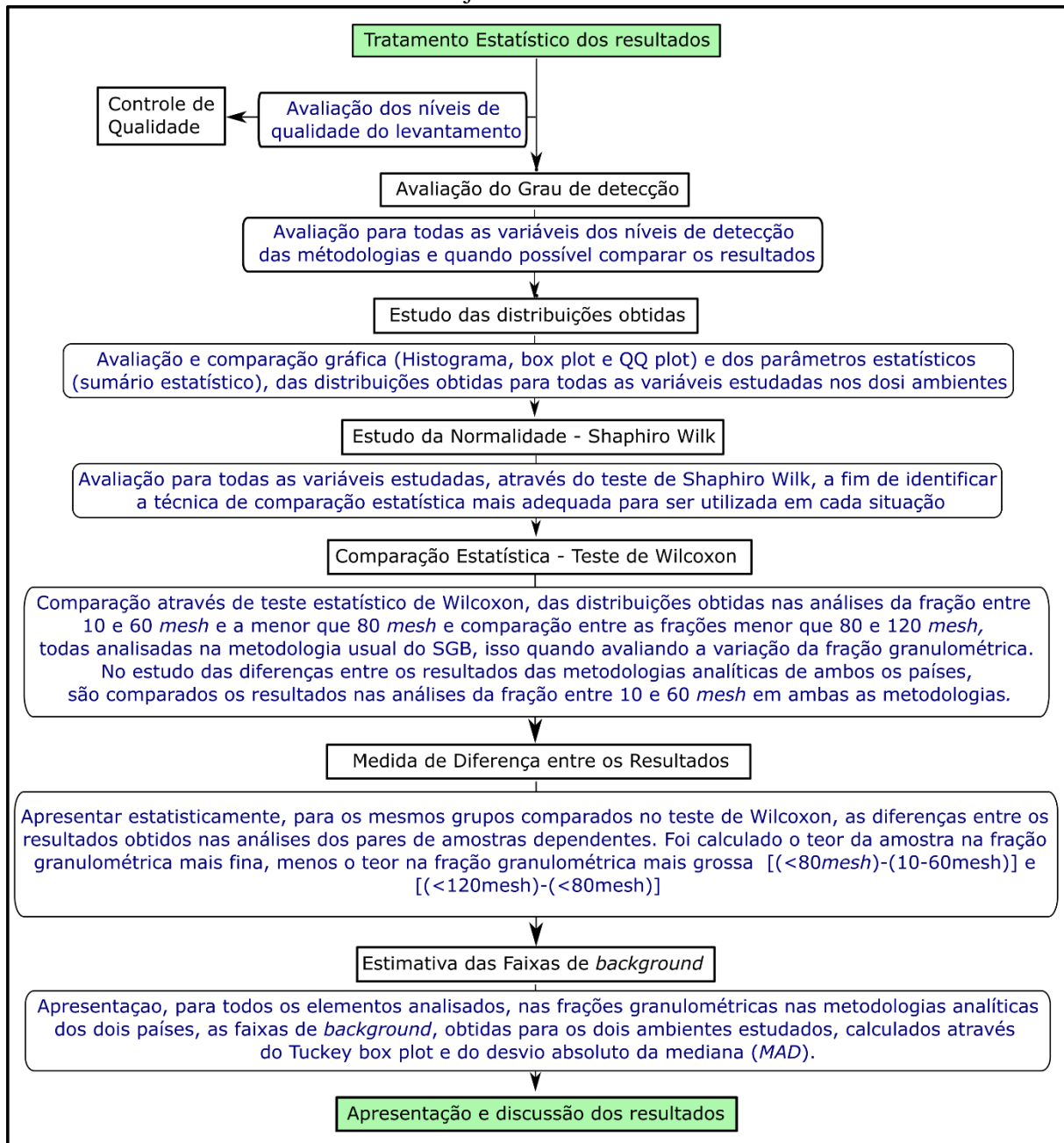
Uma vez verificados os níveis de qualidade do levantamento, os resultados foram organizados conforme a área de coleta e a fração granulométrica analisada. Buscando viabilizar os cálculos nas etapas de tratamento estatístico, os resultados obtidos abaixo do limite de detecção do método, foram substituídos por metade deste valor. Estas distribuições foram submetidas à Análise Exploratória de Dados (AED), através de técnicas univariadas aplicadas a distribuições não paramétricas, com o intuito de viabilizar o entendimento do comportamento de cada variável, nas diversas situações propostas.

Uma vez estudadas as distribuições estatísticas dos elementos químicos e feitas as devidas inspeções gráficas e demais tratamentos estatísticos univariados, os resultados foram comparados estatisticamente através do teste de Wilcoxon (WILCOXON, 1945), onde buscou-se comparar os resultados obtidos para as duas frações granulométricas mais grossas (entre 10 e 60 e menor que 80 *mesh*) e para as duas frações mais finas (menor que 80 e menor que 120 *mesh*), nos fornecendo os resultados em relação a equivalência entre as duas distribuições comparadas, representadas pela mediana.

Por fim, foram extraídas as classes do *boxplot* definidas por Tukey (1977), com as distribuições produzidas através dos resultados da diferença entre os teores obtidos nas duas distribuições comparadas, promovendo assim condições de compreender a influência causada

pela variação da fração granulométrica, nos dados geoquímicos de sedimento de corrente nos dois contextos estudados.

Figura 28- Fluxograma apresentado as etapas de tratamento estatístico e comparação entre os conjuntos estudados



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

O presente trabalho também apresenta os resultados obtidos para a estimativa da faixa de *background* geoquímico, para cada área através de duas técnicas estatísticas (*boxplot* e *MAD*) mais utilizadas na atualidade, conforme Reimann *et al.* (2005, 2008).

Tais técnicas estatísticas de estimativa das faixas de *background* (*boxplot* e *MAD*), se deram nas distribuições log-transformadas dos conjuntos de resultados obtidos pelas análises

das três frações granulométricas analisadas pela metodologia analítica aplicada pelo SGB-CPRM, os resultados foram utilizados para a avaliação do impacto da variação da fração granulométrica nos resultados geoquímicos dentre as três frações granulométricas utilizadas e na fração granulométricas entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), quando analisada na metodologia analítica chinesa, utilizada para além de determinar as faixas de *background* geoquímico na metodologia sugerida pelo CGS, para apontar a importância da metodologia analítica na determinação destas faixas de *background* geoquímico. Após a obtenção dos limites inferior e superior das faixas de *background*, com as distribuições log-transformadas, estes resultados foram transformados de volta, para a escala de origem, e serão reportados no próximo capítulo.

5.5.1 Métodos estatísticos de determinação de *background* geoquímico

Como pode ser visto no Capítulo 3, fatores como fração granulométrica analisada, técnicas de preparação física, digestão e leitura analítica, assim como o ambiente e matriz geológica amostrada, influenciam diretamente na resposta analítica esperada com reflexo direto na determinação do *background* geoquímico. Assim como estes fatores, a técnica estatística empregada, também é de fundamental importância na quantificação do *background* geoquímico, muitos estudos foram conduzidos com o objetivo de propor, ou aprimorar métodos de determinação de valores de *background* geoquímico (GAŁUSZKA, 2007; MATSCHULLAT *et al.*, 2000; MRVIĆ *et al.*, 2011; REIMANN; GARRETT, 2005; REIMANN, 2005; ZHANG *et al.*, 2011). Estes métodos variam substancialmente, tanto em termo de processamento dos dados como de resultados obtidos (MATSCHULLAT *et al.* 2000; REIMANN; GARRETT, 2005), comumente o assunto é abordado de três formas diferentes na determinação dos valores de *background*. Aqui será tratada da abordagem indireta (GAŁUSZKA; MIGASZEWSKI, 2012; GAŁUSZKA, 2007), que são técnicas gráficas e matemáticas adotadas para identificar teores anômalos e diferenciação das faixas de teores comuns ao compartimento estudado.

Inicialmente, para a determinação do *background* geoquímico, foi amplamente utilizada a equação que considera mais ou menos duas vezes a medida do desvio padrão da distribuição, a partir da sua média, hoje esta técnica está em desuso para variáveis com distribuição não-paramétricas (REIMANN *et al.*, 2005). A abordagem estatística é, sem dúvida, a metodologia mais robusta, clara e precisa, conseqüentemente as técnicas estão em constate evolução, o que faz com que algumas delas acabem por ser pouco utilizadas ou até mesmo consideradas desatualizadas em face ao cenário de constantes mudanças.

Nesta dissertação foram utilizados dois métodos estatísticos amplamente reconhecidos na literatura atual para a determinação dos valores de *background* geoquímico. (ANDER *et al.*, 2013; NAKIĆ *et al.*, 2007; REIMANN; CARITAT, 2005, 2017; REIMANN *et al.*, 2018; SAHOO *et al.*, 2020; SALOMÃO *et al.*, 2018, 2019).

Os limites da faixa de *background*, são conhecidos como *threshold*, eles marcam a interface entre a faixa de *background* e os teores anômalos, quando estes existem, qualquer amostra que apresente resultados fora deste intervalo definido é considerada possivelmente pertencente a uma população anômala. Segundo Reimann *et al.* (2008, 2018), ambos os métodos estatísticos utilizados para quantificação do *threshold* (*boxplot* e *MAD*) exigem como pré-requisito técnico para o seu uso, que o conjunto de dados deve seguir uma distribuição normal. Desta forma, para obtenção das faixas de *background* em ambos os métodos, os dados foram previamente transformados para a escala logarítmica (Log_{10}), e depois de calculados, os resultados são novamente transformados para a escala original, fornecendo a faixa de *background* geoquímico em questão.

O *boxplot*, baseado em Tukey (1977), é recomendado por Matschullat *et al.* (2000) e Reimann (2005) para identificar valores *outliers*. O método se baseia nos quartis da distribuição para a determinação dos limites superior (T_s) e inferior (T_i) da faixa de *background*, conforme pode ser visto na Equação 3 e 4. As variáveis Q_1 e Q_3 , correspondem ao primeiro e o terceiro quartil da distribuição, respectivamente. A técnica apresenta uma maior eficiência em dados geoquímicos (não-paramétricos) quando aplicada a distribuição log-transformada. Após realizados as estimativas os resultados obtidos são transformados de volta para a escala de concentração original, obtendo assim os valores de *background* obtidos através do *boxplot* para o compartimento estudado.

Equação 3

$$T_s = 10^{Q_3 + 1,5(\log_{10} Q_3 - \log_{10} Q_1)}$$

Equação 4

$$T_i = 10^{Q_1 - 1,5(\log_{10} Q_3 - \log_{10} Q_1)}$$

O *MAD* é baseado em estimadores robustos para a localização do valor central e da dispersão dos dados, o que não dispensa a necessidade do uso da log-transformação em dados geoquímicos. No *MAD* é levado em consideração o desvio absoluto da mediana (*MAD*), diante disso as diferenças entre os seus resultados e os obtidos através dos parâmetros clássicos (*boxplot*), são muito diferentes, uma vez que o *MAD* é muito menos influenciado por dados assimétricos. O resultado do desvio absoluto da mediana da distribuição multiplicado por uma

constante de 1,48 define metade da distância que a ser somada ou diminuída da mediana, definirão os limites superior e inferior respectivamente (Equação 5). Após os cálculos os resultados são transformados de volta para a escala original de concentração, fornecendo assim as concentrações dos limites da faixa de background através do MAD para o compartimento estudado. Reimann *et al.* (2005) mostraram que a porcentagem de valores extremos é geralmente superestimada ao usar esta regra.

Equação 5 $MAD = 10^{(\log_{10} mediana_{(y)} \pm 2 \cdot [1,48 \cdot \log_{10} mediana_i | \log_{10} y_i - \log_{10} mediana_i(y_i) |])}$

6 RESULTADOS

6.1 Certificação das análises químicas

6.1.1 Níveis de acurácia das análises

Na Tabela 5 estão apresentadas as informações obtidas a partir das análises no OREAS 46, enquanto que na Tabela 6 estão presentes as informações referentes aos níveis de acurácia dos elementos obtidos através do OREAS 47. Nestas tabelas, estão disponíveis para cada elemento, além do valor certificado e do desvio da medida certificada, o valor médio e desvio padrão obtidos das análises nas rotinas analíticas e o CV destas diferenças.

Tabela 5- Sumário das análises do material de referência certificado OREAS 046

Elemento	Valor certificado	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	CV	Elemento	Valor certificado	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	CV
Ag	0,025	0,002	0,028	0,018	63%	Mo	0,66	0,041	0,689	0,049	7%
Al	0,748	0,067	0,709	0,052	7%	Na	0,077	0,011	0,077	0,005	6%
Ba	55	3,6	54,67	1,453	3%	Ni	16,3	1,11	15,98	0,835	5%
Be	0,17	0,02	0,156	0,052	33%	P	530	0,002	561,67	34,43	6%
Bi	0,028	0,06	0,032	0,014	43%	Pb	2,02	0,144	1,778	0,259	15%
Ca	0,6	0,053	0,567	0,048	8%	Rb	6,11	0,337	6,367	0,352	6%
Cd	0,036	0,007	0,030	0,009	30%	Sb	0,068	0,009	0,078	0,013	17%
Ce	27,3	2,17	25,92	1,801	7%	Sc	2,78	0,49	2,433	0,383	16%
Co	5,83	0,582	5,533	0,352	6%	Sn	0,4	0,06	0,500	0,111	22%
Cr	25	2,18	23,78	1,795	8%	Sr	26,9	4,1	25,28	2,448	10%
Cs	0,36	0,022	0,351	0,012	3%	Tb	0,2	0,03	0,192	0,015	8%
Cu	23,4	1,21	24,06	0,813	3%	Th	2,87	0,224	2,878	0,449	16%
Fe	1,45	0,108	1,399	0,094	7%	Ti	0,065	0,013	0,067	0,007	10%
Ga	2,99	0,4	2,500	0,490	20%	Tl	0,061	0,007	0,062	0,006	10%
Ge	0,061	0,008	0,056	0,017	30%	U	0,43	0,05	0,404	0,037	9%
K	0,109	0,01	0,109	0,003	3%	V	22,1	2,5	18,67	3,622	19%
La	15,5	1,16	14,83	1,001	7%	W	0,073	0,013	0,061	0,024	39%
Li	6,78	0,669	6,000	0,780	13%	Y	5,06	0,62	4,837	0,324	7%
Lu	0,067	0,012	0,057	0,011	20%	Yb	0,48	0,1	0,400	0,080	20%
Mg	0,459	0,047	0,440	0,030	7%	Zn	20,7	2,03	19,56	1,491	8%
Mn	250	0,002	249,11	11,53	5%	Zr	5,66	1,34	4,078	1,626	40%

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 6- Sumário das análises do material de referência certificado OREAS 047 (continua)

Elemento	Valor certificado	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	CV	Elemento	Valor certificado	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	CV
Ag	0,11	0,01	0,08	0,03	41%	Mo	12,70	0,89	12,11	0,62	5%
Al	0,81	0,07	0,73	0,08	11%	Na	0,09	0,02	0,08	0,01	17%
As	9,53	0,65	9,50	0,50	5%	Ni	80,0	4,1	76,12	4,03	5%
Ba	62,0	2,6	60,67	2,31	4%	P	550	20	567,33	23,04	4%
Be	0,19	0,02	0,20	0,01	5%	Pb	284	15	277,63	7,01	3%
Bi	0,15	0,01	0,16	0,02	13%	Rb	7,15	0,51	7,27	0,20	3%
Ca	0,55	0,06	0,49	0,06	13%	Sb	0,20	0,03	0,25	0,05	22%
Cd	0,50	0,04	0,52	0,03	5%	Sc	3,17	0,54	2,78	0,41	15%
Ce	44,7	3,05	41,95	2,94	7%	Sn	2,54	0,34	2,28	0,28	12%
Co	49,9	3,0	49,42	1,07	2%	Sr	31,40	4,10	28,20	3,29	12%
Cr	30,4	1,96	29,00	1,62	6%	Tb	0,23	0,04	0,23	0,01	4%
Cs	1,1	0,06	1,16	0,07	6%	Th	3,25	0,21	3,45	0,38	11%
Cu	160	6	160,68	3,59	2%	Ti	0,07	0,01	0,07	0,01	9%
Fe	1,65	0,13	1,53	0,13	8%	Tl	0,08	0,01	0,09	0,01	14%
Ga	3,28	0,14	2,77	0,52	19%	U	0,47	0,05	0,45	0,04	8%
In	0,04	0,01	0,03	0,01	21%	V	24,70	2,28	20,67	4,06	20%
K	0,12	0,10	0,11	0,01	5%	W	0,11	0,02	0,13	0,05	39%

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 6- Sumário das análises do material de referência certificado OREAS 047 (conclusão)

Elemento	Valor certificado	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	CV	Elemento	Valor certificado	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	CV
La	25,20	1,16	24,58	0,89	4%	Y	5,75	0,84	5,16	0,60	12%
Li	8,83	0,89	8,17	0,76	9%	Yb	0,50	0,09	0,40	0,10	25%
Lu	0,07	0,01	0,06	0,01	25%	Zn	213	10	206,5	7,86	4%
Mg	0,48	0,05	0,45	0,04	9%	Zr	6,70	0,93	4,87	1,83	38%
Mn	270	20	263,8	8,32	3%						

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023

6.1.2 Avaliação das condições de reprodutibilidade dos resultados

A Tabela 7 apresenta os resultados do teste de normalidade na distribuição das amostras originais e duplicatas além dos resultados do teste t pareado, para as variáveis em que o teste de normalidade foi aceito, ou seja, apresentaram distribuição paramétrica, e teste de Wilcoxon para as distribuições não paramétricas.

Em todas as situações os respectivos testes apontaram distribuições equivalentes, indicando que estão garantidas as condições de reprodutibilidade do processo analítico para todos os elementos avaliados, mostrando que diferentes tomadas analíticas do mesmo material geológico produziram distribuições estatisticamente equivalentes.

Tabela 7- Resultados do teste de normalidade e de equivalência entre os pares duplicados, os valores de *p* em negrito indicam que o teste de hipótese foi aceito a um nível de confiança de 95%

Elemento	Normalidade		Comparação		Elemento	Normalidade		Comparação	
	Amostra	Duplicata	Teste do t pareado (p)	Wilcoxon (p)		Amostra	Duplicata	Teste do t pareado (p)	Wilcoxon (p)
Al	0,016	0,006		0,612	Nb	0,027	0,024		1
Ba	0,094	0,093	0,683		Ni	0,476	0,307		0,236
Ce	0,009	0,01		0,575	Pb	0,012	0,012		0,636
Co	0,095	0,078	0,683		Rb	0,003	0,002		0,61
Cr	0,009	0,017		0,893	Sc	0,091	0,079	1	
Cu	0,112	0,101	1		Sr	0,01	0,035		0,779
Fe	0,048	0,033		0,26	Tb	0,002	0,002		0,353
Ga	0,065	0,047	0,724	0,726	Th	0,001	0,001		0,484
K	0,008	0,007		0,789	U	0,001	0,001		0,441
La	0	0		0,889	V	0,003	0,003		1
Lu	0,001	0,001		0,593	Y	0,001	0,001		0,554
Mn	0,752	0,78	0,289		Yb	0,001	0,001		0,465
Mo	0,897	0,98	0,505		Zn	0,116	0,03	0,724	0,944

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

6.2 As frações granulométricas

A seguir serão apresentadas, separados por área de estudo, os resultados obtidos através dos tratamentos estatísticos aplicados aos grupos de resultados pré-definidos. Os sumários estatísticos mostram, para todos os elementos avaliados, as informações relacionadas

ao grau de detecção, que é a proporção de amostras com teores acima do limite de detecção, valor mínimo e máximo, além das medidas centrais (mediana e média) de cada distribuição, possibilitando a integração destas informações, e conseqüentemente o entendimento das distribuições obtidas para cada caso viabilizando as discussões posteriores.

➤ Área A

Na Tabela 8, podem ser encontradas as informações obtidas através das análises químicas na fração entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), enquanto que na Tabela 9 e Tabela 10, estão disponibilizados os sumários estatísticos referentes às análises das alíquotas na fração granulométrica menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e menor que 120 *mesh* (0,125 mm), respectivamente.

Ao se analisar as medianas e médias obtidas para cada variável, temos uma primeira indicação estatística que, de uma maneira geral, temos variáveis com distribuições não paramétricas, dadas as distâncias entre essas medidas apontando para distribuições assimétricas uma vez que nas distribuições normais, a mediana e a média tendem a ser próximas ou mesmo iguais (REIMANN *et al.*, 2008). Tais informações corroboram com as informações obtidas através do teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965), Tabela 11, que apresenta os resultados dos testes de normalidade realizados para as distribuições naturais e log-transformadas das alíquotas nas três frações nas amostras coletadas na Área A.

Tabela 8 - Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área A na fração granulométrica entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm) (continua)

Sumário Estatístico - Fração entre 10 e 60 <i>mesh</i> - ÁREA A											
Elemento	Detecção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Elemento	Detecção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Ag	61%	0,01	0,06	0,10	0,32	Mo	100%	0,21	0,32	0,36	0,92
Al	100%	0,01	0,15	0,24	1,87	Na	2%	0,01	0,01	0,01	0,01
As	24%	1	1	1,01	10	Nb	100%	0,09	0,16	0,59	7,75
Au	9%	10	10	11,33	156	Ni	100%	0,6	1,6	2,25	17,8
Ba	83%	5	12	23,68	322	P	35%	50	25	58,17	514
Be	15%	0,1	0,1	0,07	0,5	Pb	100%	0,5	1,15	1,66	10,6
Bi	65%	0,02	0,02	0,03	0,18	Rb	96%	0,2	1,65	1,84	7,1
Ca	11%	0,01	0,01	0,01	0,08	S	6%	0,01	0,01	0,01	0,03
Cd	11%	0,01	0,01	0,01	0,21	Sb	57%	0,05	0,06	0,08	0,5
Ce	100%	1,48	5,77	8,34	47,07	Sc	100%	0,1	0,5	1,30	23,6
Co	100%	0,1	0,3	0,90	10,3	Se	2%	1	1	1	2
Cr	100%	2	4	7,30	69	Sn	26%	0,3	0,3	0,22	0,8
Cs	50%	0,03	0,04	0,06	0,44	Sr	59%	0,5	0,9	1,44	9,7
Cu	100%	0,7	1,45	3,21	49	Tb	91%	0,02	0,04	0,09	1,04
Fe	100%	0,52	0,84	1,32	9,94	Te	6%	0,05	0,03	0,03	0,12
Ga	100%	0,2	0,7	1,21	10,4	Th	100%	0,2	0,9	1,55	9,6
Ge	4%	0,1	0,1	0,1	0,1	Ti	11%	0,01	0,01	0,01	0,04
Hf	59%	0,05	0,06	0,09	0,6	Tl	15%	0,02	0,01	0,01	0,05

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 8 - Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área A na fração granulométrica entre 10 e 60 mesh (entre 2 e 0,25 mm) (conclusão)

Sumário Estatístico - Fração entre 10 e 60 mesh - ÁREA A											
Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Hg	46%	0,01	0,01	0,01	0,04	U	100%	0,07	0,20	0,46	4,94
In	4%	0,02	0,02	0,02	0,06	V	94%	1	7	19,86	215
K	89%	0,01	0,025	0,03	0,13	W	17%	0,1	0,1	0,09	0,8
La	100%	0,9	2,35	3,97	53,4	Y	100%	0,27	0,79	2,69	43,63
Li	4%	1	0,5	0,52	1	Yb	37%	0,1	0,1	0,22	2,8
Lu	54%	0,01	0,01	0,03	0,38	Zn	63%	1	1	2,83	54
Mg	15%	0,01	0,01	0,01	0,09	Zr	48%	0,5	0,5	1,46	19,6
Mn	100%	38	69,5	77,02	286						

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 9- Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área A na fração granulométrica menor que 80 mesh (0,177 mm)

ÁREA A - 80 mesh											
Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Ag	65%	0,01	0,1	0,09	0,23	Mo	100%	0,28	0,63	0,71	1,9
Al	100%	0,05	0,335	0,42	1,37	Na	2%	0,01	0,01	0,01	0,01
As	41%	1	1	1,37	12	Nb	94%	0,05	0,24	1,01	13,73
Au	13%	10	10	61,83	2766	Ni	100%	0,9	2,5	3,31	14,8
Ba	94%	5	25	41,56	318	P	67%	50	70	92,83	591
Be	35%	0,1	0,1	0,11	0,7	Pb	100%	1,2	2,35	2,83	9,7
Bi	69%	0,02	0,03	0,04	0,22	Rb	100%	0,3	3,3	3,50	8,8
Ca	48%	0,01	0,01	0,01	0,08	S	35%	0,01	0,01	0,01	0,03
Cd	28%	0,01	0,01	0,01	0,15	Sb	91%	0,05	0,08	0,11	0,63
Ce	100%	3,85	14,41	17,65	98,56	Sc	98%	0,1	0,65	1,50	22,1
Co	100%	0,3	0,9	1,54	12,7	Se	0%	0,1	0,1	0,1	0,1
Cr	100%	4	9	11,17	76	Sn	100%	0,4	0,7	0,76	1,3
Cs	93%	0,05	0,1	0,11	0,4	Sr	100%	0,8	4	4,07	10,7
Cu	100%	1,8	5,55	6,56	44,5	Tb	100%	0,04	0,09	0,15	1,11
Fe	100%	0,39	0,965	1,45	10,43	Te	2%	0,05	0,05	0,03	0,11
Ga	100%	0,4	1,3	1,97	9,2	Th	100%	0,3	1,5	2,46	22,3
Ge	2%	0,1	0,1	0,1	0,1	Ti	20%	0,01	0,01	0,01	0,05
Hf	54%	0,05	0,05	0,13	1,76	Tl	50%	0,02	0,02	0,02	0,05
Hg	57%	0,01	0,01	0,01	0,03	U	100%	0,07	0,315	0,64	6,34
In	11%	0,02	0,01	0,01	0,07	V	100%	2	9	21,87	220
K	96%	0,01	0,04	0,05	0,11	W	20%	0,1	0,1	0,09	0,7
La	100%	1,9	5,7	8,29	58,6	Y	100%	0,5	1,525	4,10	47,39
Li	4%	1	1	1	2	Yb	80%	0,1	0,2	0,34	3
Lu	85%	0,01	0,02	0,05	0,4	Zn	93%	1	3	4,57	51
Mg	56%	0,01	0,01	0,01	0,15	Zr	56%	0,5	0,65	3,15	56,8
Mn	100%	27	68,5	80,46	259						

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 10- Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área A na fração granulométrica menor que 120 mesh (0,125 mm) (continua)

ÁREA A - 120 mesh											
Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Ag	80%	0,01	0,135	0,22	3,52	Mo	100%	0,08	0,28	0,32	1,3
Al	100%	0,09	0,42	0,54	1,8	Na	2%	0,01	0,01	0,01	0,01
As	46%	1	1	1,47	10	Nb	100%	0,05	0,22	0,98	15,33
Au	11%	10	10	62,07	2129	Ni	100%	0,5	2,05	2,72	14,3
Ba	94%	5	31	50,19	334	P	91%	50	99,5	125,26	594
Be	52%	0,1	0,1	0,15	0,9	Pb	100%	0,9	3,15	3,56	12,9
Bi	61%	0,02	0,03	0,04	0,21	Rb	100%	0,6	3,9	4,26	10,1
Ca	69%	0,01	0,01	0,02	0,07	S	70%	0,01	0,01	0,01	0,03

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 10 - Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área A na fração granulométrica menor que 120 *mesh* (0,125 mm) (conclusão)

ÁREA A - 120 <i>mesh</i>											
Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Cd	46%	0,01	0,01	0,01	0,16	Sb	80%	0,01	0,085	0,11	0,58
Ce	100%	5,95	18,925	23,01	116,68	Sc	100%	0,2	0,8	1,80	22,7
Co	100%	0,1	0,75	1,52	12,5	Se	0%	1	1	1	1
Cr	100%	2	8	11,46	84	Sn	93%	0,3	0,5	0,56	1,9
Cs	96%	0,05	0,12	0,14	0,45	Sr	94%	0,5	2,65	2,88	9,2
Cu	100%	0,8	3,45	4,83	40,7	Tb	100%	0,04	0,12	0,19	1,3
Fe	100%	0,28	1,05	1,57	11,63	Te	4%	0,05	0,05	0,03	0,08
Ga	100%	0,5	1,8	2,40	9,8	Th	100%	0,4	1,6	2,91	26,2
Ge	2%	0,1	0,1	0,05	0,1	Ti	35%	0,01	0,01	0,01	0,06
Hf	70%	0,05	0,06	0,15	1,93	Tl	59%	0,02	0,02	0,02	0,05
Hg	78%	0,05	0,02	0,02	0,04	U	100%	0,08	0,42	0,78	6,76
In	13%	0,02	0,01	0,01	0,08	V	100%	2	13	27,24	246
K	100%	0,01	0,05	0,06	0,15	W	20%	0,1	0,1	0,08	0,6
La	100%	3	7,55	10,68	70	Y	100%	0,48	2,25	5,18	60,27
Li	6%	1	1	1	3	Yb	87%	0,1	0,2	0,43	3,5
Lu	96%	0,01	0,03	0,06	0,48	Zn	98%	1	4	6,16	50
Mg	74%	0,01	0,01	0,02	0,22	Zr	69%	0,5	1,35	4,24	62,6
Mn	100%	13	54	81,24	336						

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 11- Resultados do teste de Shapiro-Wilk, para as distribuições naturais e log-transformadas dos resultados das frações granulométricas entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e menor que 120 *mesh* (0,125 mm), coletadas na Área A e analisadas com a metodologia analítica utilizada pelo SGB-CPRM (continua)

Elemento	Teste de Shapiro-Wilk - ÁREA A					
	Natural			Log-transformado		
	10-60 <i>mesh</i>	80 <i>mesh</i>	120 <i>mesh</i>	10-60 <i>mesh</i>	80 <i>mesh</i>	120 <i>mesh</i>
Ag	0	0,000	0	0	0	0,00003
Al	0	0	0,000	0,597	0,725	0,971
As	0	0	0	0	0	0
Au	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0,047	0,041	0,014
Be	0	0	0	0	0	0
Bi	0	0	0	0,000	0,000	0,000
Ca	0	0	0	0	0	0,000
Cd	0	0	0	0	0	0
Ce	0	0	0	0,150	0,629	0,093
Co	0	0	0	0,0001	0,000	0,076
Cr	0	0	0	0	0,000	0,374
Cs	0	0	0	0	0,136	0,227
Cu	0	0	0	0,000	0,000	0,229
Fe	0	0	0	0	0,000	0,027
Ga	0	0	0	0,016	0,238	0,492
Ge	0	0	0	0	0	0
Hf	0	0	0	0,000	0	0,000
Hg	0	0	0	0,000	0	0,000
In	0	0	0	0	0	0
K	0	0,041	0,003	0,000	0,001	0,049
La	0	0	0	0,000	0,001	0,000
Li	0	0	0	0	0	0
Lu	0	0	0	0	0,000	0,001
Mg	0	0	0	0	0	0,000
Mn	0	0	0	0,000	0,006	0,408

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 11 - Resultados do teste de Shapiro-Wilk, para as distribuições naturais e log-transformadas dos resultados das frações granulométricas entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e menor que 120 *mesh* (0,125 mm), coletadas na Área A e analisadas com a metodologia analítica utilizada pelo SGB-CPRM (conclusão)

Elemento	Teste de Shapiro-Wilk - ÁREA A					
	Natural			Log-transformado		
	10-60 <i>mesh</i>	80 <i>mesh</i>	120 <i>mesh</i>	10-60 <i>mesh</i>	80 <i>mesh</i>	120 <i>mesh</i>
Mo	0	0	0	0,001	0,216	0,431
Na	0	0	0	0	0	0
Nb	0	0	0	0	0,019	0,000
Ni	0	0	0	0,000	0,024	0,002
P	0	0	0	0	0,000	0,078
Pb	0	0	0	0,004	0,888	0,850
Rb	0,000	0,020	0,015	0,013	0,009	0,011
S	0	0	0	0	0	0,000
Sb	0	0	0	0,000	0,022	0,015
Sc	0	0	0	0,002	0,178	0,012
Se	0	-	-	0	-	-
Sn	0	0,035	0	0	0,0375	0,036
Sr	0	0,009	0,000	0,000	0,008	0,000
Tb	0	0	0	0,001	0,000	0,000
Te	0	0	0	0	0	0
Th	0	0	0	0,026	0,054	0,002
Ti	0	0	0	0	0	0
Tl	0	0	0	0	0	0
U	0	0	0	0,000	0,001	0,003
V	0	0	0	0,351	0,034	0,179
W	0	0	0	0	0	0
Y	0	0	0	0,000	0	0,000
Yb	0	0	0	0	0,000	0,000
Zn	0	0	0	0	0,0143	0,350
Zr	0	0	0	0	0	0

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

A Tabela 12 apresenta para cada elemento, o número de pares utilizados no teste de Wilcoxon, uma vez que pares com valores iguais são descartados do cálculo, o valor *p* dos resultados dos testes, comparando as frações entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm) e menor que 80 *mesh* (0,177 mm), reportados como Diferença 1 e comparando as frações menor que 80 e menor que 120 *mesh* (0,125 mm) reportadas, como Diferença 2. Os valores acima de 0,05 indicam que a hipótese de as distribuições apresentarem valores centrais iguais e variância equivalente foi aceita a um grau de 95% de confiança, estão sinalizados nas tabelas em negrito.

Tabela 12- Resultados para o teste de Wilcoxon realizados nas amostras da Área A (continua)

Teste de Wilcoxon - ÁREA A							
Elemento	Pares	Diferença 1	Diferença 2	Elemento	Pares	Diferença 1	Diferença 2
Ag	47	0,56	0,003	Mo	54	0,000	0,000
Al	54	0,00	0,000	Na	2	1,000	
As	17	0,07	0,127	Nb	53	0,009	0,292
Au	8	0,40	0,889	Ni	52	0,000	0,002
Ba	51	0,00	0,000	P	36	0,000	0,000

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 12- Resultados para o teste de Wilcoxon realizados nas amostras da Área A (conclusão)

Teste de Wilcoxon - ÁREA A							
Elemento	Pares	Diferença 1	Diferença 2	Elemento	Pares	Diferença 1	Diferença 2
Be	20	0,00	0,001	Pb	52	0,000	0,000
Bi	38	0,00	0,456	Rb	54	0,000	0,000
Ca	22	0,00	0,000	S	18	0,000	0,000
Cd	18	0,03	0,026	Sb	45	0,000	0,962
Ce	54	0,00	0,000	Sc	43	0,005	0,000
Co	52	0,00	0,066	Se	1		
Cr	52	0,00	0,551	Sn	54	0,000	0,000
Cs	50	0,00	0,000	Sr	53	0,000	0,000
Cu	54	0,00	0,000	Tb	54	0,000	0,000
Fe	54	0,03	0,123	Te	3	0,109	0,655
Ga	54	0,00	0,000	Th	48	0,000	0,000
Ge	1			Ti	9	0,173	0,002
Hf	39	0,64	0,045	Tl	25	0,000	0,018
Hg	40	0,54	0,004	U	49	0,000	0,000
In	5	0,04	0,201	V	47	0,002	0,000
K	44	0,00	0,000	W	7	0,866	0,735
La	54	0,00	0,000	Y	53	0,000	0,000
Li	2	0,65	0,180	Yb	41	0,000	0,000
Lu	39	0,00	0,000	Zn	49	0,000	0,000
Mg	29	0,00	0,000	Zr	31	0,001	0,000

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Ainda que o teste de Wilcoxon (1945) avalie a equivalência entre duas variáveis de pares dependentes e amostras independentes e ateste essa equivalência quando ela existe, nos casos em que estas distribuições não se equivalem, existe a necessidade de mensurar tais diferenças nos resultados, uma vez que se tratando de variáveis dependentes, mensurar essa diferença significa entender como se comporta esse elemento quando se varia a fração granulométrica, em outras palavras, significa entender o impacto produzido pela variação da fração granulométrica nos resultados analíticos. Portanto, foram utilizadas as duas novas variáveis Diferença 1, que representa o teor da amostra analisada na fração granulométrica menor 80 *mesh* (0,177 mm) menos o teor da amostra analisada na fração entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm) e Diferença 2 que representa o teor da amostra analisada na fração menor que 120 *mesh* (0,125 mm) menos o teor da amostra analisada na fração menor que 80 *mesh* (0,177 mm), para entender o comportamento da diferença entre esses pares.

A Tabela 13 apresenta os quartis (classes do *boxplot*) das Diferenças 1 e 2, visando facilitar a visualização dos principais comportamentos relacionados aos teores dos elementos químicos, quando se varia o tamanho das partículas. Desta forma, é possível entender além da tendência da equivalência entre aos valores centrais das distribuições as tendências de aumento ou diminuição dos teores quando se varia a fração granulométrica.

Tabela 13- Sumário com classes do *boxplot* para as variáveis Diferença 1 e Diferença 2 criadas a partir das distribuições comparadas na Área A

Diferença entre as Frações Granulométricas – ÁREA A										
Elementos	Fração (80mesh)-(10-60 mesh) = Diferença 1					Fração (120 mesh)-(80 mesh) = Diferença 2				
	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Ag	-0,30	-0,08	0,00	0,10	0,18	-0,16	-0,03	0,05	0,15	3,39
Al	-0,59	0,10	0,15	0,30	0,96	-0,12	0,05	0,09	0,16	0,43
As	-2,00	0,00	0,00	0,50	10,00	-2,00	0,00	0,00	0,00	1,50
Au	-144,00	0,00	0,00	0,00	2742,00	-637,00	0,00	0,00	0,00	405,00
Ba	-6,00	4,00	10,50	19,25	194,00	-10,00	1,00	5,00	12,25	86,00
Be	-0,10	0,00	0,00	0,05	0,60	-0,10	0,00	0,00	0,10	0,30
Bi	-0,04	0,00	0,00	0,02	0,09	-0,08	-0,01	0,00	0,01	0,03
Ca	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	-0,01	0,00	0,00	0,01	0,02
Cd	-0,06	0,00	0,00	0,01	0,02	-0,02	0,00	0,00	0,01	0,04
Ce	-3,58	3,99	7,25	11,80	64,30	-1,98	2,11	4,46	7,53	23,44
Co	-0,30	0,30	0,50	0,80	4,90	-0,70	-0,30	-0,20	0,13	1,90
Cr	-7,00	2,00	4,00	5,00	13,00	-6,00	-3,00	-1,00	1,25	16,00
Cs	-0,07	0,03	0,05	0,07	0,17	0,00	0,01	0,02	0,03	0,11
Cu	-4,50	2,08	3,75	4,65	8,80	-5,30	-3,30	-1,95	-0,38	4,40
Fe	-1,07	-0,08	0,09	0,34	2,90	-0,48	-0,13	0,01	0,32	1,39
Ga	-1,20	0,40	0,60	1,20	3,30	-0,50	0,10	0,35	0,70	1,70
Ge	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hf	-0,29	-0,04	0,00	0,04	1,43	-0,32	-0,01	0,00	0,05	0,48
Hg	-0,03	-0,01	0,00	0,01	0,03	-0,02	0,00	0,00	0,01	0,04
In	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
K	-0,04	0,00	0,02	0,03	0,07	-0,04	0,00	0,01	0,02	0,07
La	-1,60	1,68	2,75	5,23	43,70	-1,80	0,88	1,80	3,10	14,10
Li	-0,50	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Lu	-0,03	0,00	0,01	0,02	0,26	-0,01	0,00	0,01	0,02	0,08
Mg	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,13	-0,01	0,00	0,00	0,01	0,07
Mn	-79,00	-14,25	-0,50	19,75	126,00	-72,00	-27,25	-5,50	14,50	164,00
Mo	-0,13	0,17	0,32	0,48	1,10	-0,85	-0,54	-0,37	-0,24	-0,07
Na	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb	-1,07	-0,03	0,05	0,32	5,98	-5,07	-0,12	0,05	0,11	3,19
Ni	-3,00	0,20	0,90	1,80	4,90	-4,20	-1,63	-0,45	0,23	2,10
P	-19,00	0,00	31,50	54,75	182,00	0,00	20,25	32,00	46,25	99,00
Pb	-0,90	0,58	1,00	1,50	3,70	-0,50	0,07	0,50	1,15	4,40
Rb	-2,20	0,68	1,15	2,70	5,90	-1,20	0,10	0,65	1,15	3,90
S	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
Sb	-0,10	0,00	0,04	0,06	0,14	-0,05	-0,03	0,00	0,02	0,09
Sc	-1,60	0,00	0,10	0,33	4,70	-0,20	0,10	0,20	0,40	1,20
Se	-1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn	-0,10	0,40	0,55	0,66	1,15	-0,90	-0,40	-0,20	-0,10	1,00
Sr	-0,50	1,04	2,55	3,98	8,10	-4,10	-2,50	-1,03	-0,18	3,10
Tb	-0,10	0,03	0,04	0,07	0,53	-0,03	0,01	0,03	0,05	0,19
Te	-0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,03
Th	-0,30	0,18	0,40	1,00	12,70	-1,20	0,10	0,30	0,70	4,30
Ti	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Tl	-0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	-0,03	0,00	0,00	0,01	0,02
U	-0,20	0,01	0,11	0,20	1,93	-0,11	0,03	0,11	0,19	0,88
V	-56,00	0,00	2,75	5,00	31,00	-14,00	2,00	4,00	8,25	26,00
W	-0,50	0,00	0,00	0,00	0,20	-0,10	0,00	0,00	0,00	0,10
Y	-0,71	0,48	0,90	1,37	14,90	-1,76	0,22	0,66	1,25	12,88
Yb	-0,20	0,00	0,05	0,15	1,70	-0,15	0,00	0,10	0,10	0,50
Zn	-3,00	0,38	1,50	2,50	12,00	-1,50	0,00	1,00	3,00	8,00
Zr	-1,35	0,00	0,00	0,80	50,50	-3,00	0,00	0,28	1,13	16,40

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Os valores em verde são maiores que 0 e significam que os teores na fração mais fina foram maiores que na fração mais grossa.

➤ Área B

Para a Área B os procedimentos utilizados para o tratamento estatístico dos resultados foram os mesmos descritos anteriormente para a Área A (Figura 28). As Tabela 14, 15 e 16 apresentam os resultados do sumário estatístico elaborado para os resultados das frações granulométricas entre 10 e 60 *mesh* (entre 1,68 e 0,25 mm), menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e menor que 120 *mesh* (0,125 mm), respectivamente.

As distribuições de todas as variáveis dos conjuntos de dados obtidos com as análises das alíquotas da Área B, também foram submetidas ao teste de normalidade, tanto em sua distribuição natural, quanto log-transformada, e os resultados desta etapa do tratamento estatístico podem ser encontrados na Tabela 17, que mostra, na mesma configuração apresentada anteriormente os resultados do valor *p* e dos testes de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) realizados para as variáveis do conjunto de dados da Área B.

Seguindo a sequência dos procedimentos adotados para o tratamento estatístico dos resultados, e apresentado no fluxograma da Figura 28. O conjunto de resultados obtidos para a Área B foi comparado através do teste de Wilcoxon, buscando verificar estatisticamente se existe a equivalência entre as distribuições comparadas. Os resultados do valor *p* relativo à comparação entre as frações granulométricas estão apresentados na Tabela 18 e também mostram, para todos elementos estudados, a quantidade de pares utilizados na comparação, os resultados obtidos para o valor *p* através do teste de Wilcoxon (WILCOXON, 1945), comparando as frações entre 10 e 60 (entre 2 e 0,25 mm) e a menor que 80 *mesh* (0,177 mm), denominada Diferença 1 e entre as frações menor que 80 e menor que 120 *mesh* (0,125 mm), denominada Diferença 2. Na Tabela 19, estão apresentadas as classes do *boxplot*, calculadas para as novas variáveis criadas pela diferença entre os pares dependentes, sempre diminuindo o teor obtido na fração granulométrica mais fina do teor obtido na análise da fração mais grossa dentre as duas comparadas.

Tabela 14- Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área B na fração granulométrica entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm) (continua)

Sumário Estatístico - Fração entre 10 - 60 <i>mesh</i> - ÁREA B											
Elemento	Deteccção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Elemento	Deteccção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Ag	64%	0,01	0,07	0,13	0,51	Mo	100%	0,33	0,75	0,83	2,15
Al	100%	0,1	0,47	0,55	1,58	Na	5%	0,01	0,01	0,01	0,01
As	18%	1	1	0,83	8	Nb	100%	0,69	2,5	2,82	9,54
Au	0%	5	5	5,00	5	Ni	100%	0,7	3,1	3,83	16,3
Ba	100%	8	26	29,40	107	P	91%	50	92	108,47	313
Be	98%	0,1	0,6	0,77	3,3	Pb	100%	1,7	6,4	7,29	20,5
Bi	100%	0,03	0,11	0,32	4,03	Rb	100%	4,1	16,6	19,88	70,7

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 14 - Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área B na fração granulométrica entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm) (conclusão)

Sumário Estatístico - Fração entre 10 - 60 <i>mesh</i> - ÁREA B											
Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Ca	96%	0,01	0,04	0,06	0,18	S	27%	0,01	0,01	0,01	0,03
Cd	71%	0,01	0,01	0,02	0,05	Sb	47%	0,05	0,05	0,06	0,2
Ce	100%	14,05	63	73,12	206,01	Sc	100%	0,3	1,3	1,45	4,6
Co	100%	0,3	1,4	2,14	15,3	Se	0%	1	1	1	1
Cr	100%	3	9	14,40	63	Sn	100%	0,6	1,6	1,92	5,4
Cs	100%	0,08	0,3	0,38	1,68	Sr	100%	0,7	3,7	4,20	11,2
Cu	100%	1,1	3,4	4,39	14,5	Tb	100%	0,13	0,59	0,75	2,3
Fe	100%	0,66	1,49	1,51	3,12	Te	2%	0,05	0,05	0,03	0,06
Ga	100%	0,4	2,1	2,81	8,6	Th	100%	2,9	10,5	11,99	32,3
Ge	0%	0,1	0,1	0,1	0,1	Ti	82%	0,01	0,02	0,02	0,04
Hf	89%	0,05	0,08	0,09	0,31	Tl	100%	0,02	0,1	0,12	0,42
Hg	64%	0,01	0,01	0,01	0,03	U	100%	1,27	3,62	4,58	14,93
In	35%	0,02	0,02	0,02	0,06	V	100%	1	8	9,82	38
K	100%	0,04	0,09	0,10	0,36	W	98%	0,1	0,3	0,66	7
La	100%	7,1	27,6	36,56	106,5	Y	100%	3,04	16,39	20,93	70,58
Li	31%	1	1	1,02	5	Yb	100%	0,3	1,4	1,78	5,7
Lu	100%	0,04	0,2	0,25	0,78	Zn	100%	2	8	9,96	36
Mg	100%	0,01	0,04	0,07	0,54	Zr	55%	0,5	0,6	0,96	4,8
Mn	100%	59	123	144,58	430						

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 15- Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área B na fração granulométrica menor que 80 *mesh* (0,177 mm)

Sumário Estatístico - Fração menor 80 <i>mesh</i> - ÁREA B											
Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Elemento	Deteção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Ag	87%	0,01	0,27	0,28	0,65	Mo	100%	0,46	1,09	1,25	4,03
Al	100%	0,25	0,93	0,98	2,38	Na	5%	0,01	0,01	0,01	0,03
As	24%	1	1	1,25	20	Nb	100%	0,79	3,4	3,67	8
Au	2%	10	10	10	17	Ni	100%	0,9	4,6	6,44	23,9
Ba	100%	13	43	49,55	105	P	100%	54	192	208,33	615
Be	100%	0,3	1,3	1,52	5,1	Pb	100%	4,1	10,2	11,22	23,6
Bi	100%	0,04	0,13	0,46	6,65	Rb	100%	10	33,1	39,56	156,2
Ca	100%	0,02	0,09	0,10	0,36	S	58%	0,01	0,01	0,01	0,07
Cd	78%	0,01	0,02	0,03	0,11	Sb	64%	0,01	0,06	0,08	0,32
Ce	100%	24,62	130,32	134,42	323,72	Sc	100%	0,4	2,1	2,44	6
Co	100%	0,6	3	3,69	14,6	Se	7%	1	1	1	1
Cr	100%	4	12	17,47	49	Sn	100%	1,6	3,5	3,75	9,6
Cs	100%	0,18	0,62	0,73	3,31	Sr	100%	2,6	7,7	8,37	22,9
Cu	100%	2,7	5,8	8,17	25,4	Tb	100%	0,22	1,33	1,49	4,37
Fe	100%	0,48	1,81	2,00	6,4	Te	5%	0,05	0,05	0,05	0,06
Ga	100%	1	4,4	5,00	12,9	Th	100%	4,3	21,3	21,52	51,1
Ge	0%	0,1	0,1	0,1	0,1	Ti	96%	0,01	0,03	0,03	0,08
Hf	98%	0,05	0,13	0,16	0,9	Tl	100%	0,05	0,18	0,22	0,73
Hg	64%	0,01	0,02	0,02	0,05	U	100%	1,88	7,86	8,49	25,13
In	71%	0,02	0,03	0,03	0,08	V	100%	2	14	15,20	49
K	100%	0,06	0,16	0,17	0,55	W	100%	0,1	0,3	0,46	3,2
La	100%	12,5	68,1	72,35	208,8	Y	100%	5,91	36,11	43,19	155,57
Li	67%	1	2	1,96	11	Yb	100%	0,5	3	3,49	11,6
Lu	100%	0,07	0,41	0,49	1,58	Zn	100%	6	15	18,65	91
Mg	100%	0,03	0,09	0,12	0,5	Zr	62%	0,5	0,7	2,82	34,4
Mn	100%	60	190	206,15	724						

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 16 - Sumário estatístico com os resultados obtidos para a Área B na fração granulométrica menor que 120 *mesh* (0,125 mm)

Sumário Estatístico - Fração menor 120 <i>mesh</i> -ÁREA B											
Elemento	Deteccção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Elemento	Deteccção	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Ag	93%	0,01	0,37	0,37	1,2	Mo	100%	0,34	1,05	1,15	3,88
Al	100%	0,31	1,03	1,09	2,29	Na	11%	0,01	0,01	0,01	0,03
As	25%	1	0,5	1,28	19	Nb	100%	0,79	3,42	3,62	8,92
Au	0%	10	10	10	10	Ni	100%	0,8	4,5	6,54	24,6
Ba	100%	14	50	55,85	109	P	100%	75	198	231,58	658
Be	100%	0,4	1,3	1,80	6,7	Pb	100%	3,9	11,5	12,50	26,3
Bi	100%	0,04	0,13	0,51	6,99	Rb	100%	11,7	38,4	45,21	172,2
Ca	100%	0,02	0,1	0,11	0,38	S	73%	0,01	0,02	0,02	0,08
Cd	89%	0,01	0,02	0,03	0,09	Sb	69%	0,05	0,07	0,09	0,33
Ce	100%	28,32	144,85	145,32	347,45	Sc	100%	0,6	2,6	2,82	6,8
Co	100%	0,5	3,1	3,97	15,1	Se	7%	1	1	1	2
Cr	100%	2	13	17,04	52	Sn	100%	1,6	3,8	4,14	10,4
Cs	100%	0,2	0,75	0,83	3,8	Sr	100%	1,7	6,7	7,29	18,9
Cu	100%	2	5,7	7,91	24,1	Tb	100%	0,27	1,49	1,63	5,08
Fe	100%	0,4	1,87	2,07	6,68	Te	13%	0,05	0,05	0,03	0,08
Ga	100%	0,9	5,3	5,49	13,8	Th	100%	5,4	24,3	22,84	58,2
Ge	0%	0,1	0,1	0,1	0,1	Ti	96%	0,01	0,03	0,04	0,09
Hf	98%	0,05	0,12	0,17	1,07	Tl	100%	0,05	0,21	0,25	0,9
Hg	75%	0,01	0,02	0,02	0,05	U	100%	2,24	8,45	9,43	31,13
In	84%	0,02	0,03	0,04	0,08	V	100%	3	15	16,27	51
K	100%	0,07	0,16	0,19	0,54	W	100%	0,1	0,3	0,46	3,1
La	100%	14,2	72,2	78,09	234,5	Y	100%	6,39	40,01	48,61	175,48
Li	84%	1	2	2,45	11	Yb	100%	0,6	3,2	3,93	13,6
Lu	100%	0,08	0,44	0,55	1,88	Zn	100%	7	19	21,11	95
Mg	100%	0,03	0,11	0,13	0,48	Zr	53%	0,5	0,5	2,74	40,8
Mn	100%	63	181	213,65	802						

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 17- Resultados do teste de Shapiro-Wilk, para as distribuições naturais e log-normalizadas das frações granulométricas entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e 120 *mesh* (0,125 mm), na Área B (continua)

Elemento	Teste de Shapiro-Wilk - ÁREA B					
	Natural			Log-transformado		
	10-60 <i>mesh</i>	80 <i>mesh</i>	120 <i>mesh</i>	10-60 <i>mesh</i>	80 <i>mesh</i>	120 <i>mesh</i>
Ag	0	0,127	0,002	0	0	0
Al	0,000	0,016	0,024	0,395	0,962	0,692
As	0	0	0	0	0	0
Au	0	-	-	-	0	-
Ba	0	0,003	0,001	0,563	0,390	0,116
Be	0	0	0	0,038	0,803	0,520
Bi	0	0	0	0,001	0,000	0,000
Ca	0	0,000	0,000	0,036	0,0474	0,406
Cd	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce	0,000	0,006	0,052	0,448	0,195	0,059
Co	0	0	0,000	0,724	0,939	0,812
Cr	0	0,000	0,000	0,036	0,025	0,053
Cs	0	0	0	0,527	0,105	0,115
Cu	0	0	0	0,063	0,040	0,075
Fe	0,006	0,000	0,000	0,305	0,926	0,851
Ga	0,000	0,010	0,024	0,625	0,322	0,102
Ge	-	-	-	-	-	-
Hf	0	0	0	0,011	0,000	0,000
Hg	0	0,000	0,000	0	0	0,000

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 17 - Resultados do teste de Shapiro-Wilk, para as distribuições naturais e log-normalizadas das frações granulométricas entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e 120 *mesh* (0,125 mm), na Área B (conclusão)

Elemento	Teste de Shapiro-Wilk - ÁREA B					
	Natural			Log-transformado		
	10-60 <i>mesh</i>	80 <i>mesh</i>	120 <i>mesh</i>	10-60 <i>mesh</i>	80 <i>mesh</i>	120 <i>mesh</i>
In	0	0,000	0,43	0	0,000	0,000
K	0	0	0,000	0,054	0,601	0,773
La	0	0,000	0,000	0,348	0,408	0,329
Li	0	0	0	0	0,000	0,005
Lu	0	0,000	0,000	0,624	0,891	0,831
Mg	0	0	0	0,000	0,124	0,606
Mn	0	0	0	0,100	0,620	0,423
Mo	0	0,000	0,000	0,355	0,717	0,613
Na	0	0	0	0	0	0
Nb	0	0,487	0,055	0,616	0,046	0,068
Ni	0	0	0	0,589	0,914	0,553
P	0	0	0,000	0,023	0,512	0,224
Pb	0	0,071	0,279	0,562	0,481	0,212
Rb	0	0	0	0,654	0,949	0,863
S	0	0	0	0	0	0,000
Sb	0	0	0	0	0,000	0,000
Sc	0	0,012	0,020	0,919	0,391	0,242
Se	-	0	0	-	0	0
Sn	0	0,000	0,002	0,680	0,738	0,895
Sr	0,02	0,000	0,001	0,172	0,286	0,648
Tb	0,000	0,002	0,001	0,627	0,340	0,428
Te	0	0	0	0	0	0
Th	0,001	0,011	0,001	0,728	0,167	0,010
Ti	0	0,001	0,000	0	0,000	0,000
Tl	0	0,000	0,000	0,672	0,748	0,756
U	0	0,000	0,000	0,317	0,485	0,753
V	0	0,001	0,001	0,200	0,284	0,166
W	0	0	0	0,000	0,001	0,000
Y	0	0,000	0,000	0,834	0,898	0,739
Yb	0	0,000	0,000	0,699	0,851	0,769
Zn	0	0	0	0,145	0,180	0,352
Zr	0	0	0	0	0,000	0

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 18- Resultados para o teste de Wilcoxon para a Área B. O valor p correspondente a variável Diferença 1 mostra a comparação entre as frações entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm) e menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e a variável Diferença 2 corresponde a comparação entre as frações granulométricas menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e menor que 120 *mesh* (0,125 mm) (continua)

Teste de Wilcoxon - ÁREA B							
Elemento	Pares	Diferença 1	Diferença 2	Elemento	Pares	Diferença 1	Diferença 2
Ag	13	0,003	0,000	Mn	54	0,000	0,034
Al	14	0,002	0,000	Mo	55	0,000	0,000
As	6	0,028	0,006	Na	5	0,500	0,225
Au				Nb	55	0,000	0,757
Ba	55	0,000	0,000	Ni	54	0,000	0,744
Be	53	0,000	0,000	P	55	0,000	0,000
Bi	52	0,000	0,000	Pb	55	0,000	0,000
Ca	53	0,000	0,000	Rb	55	0,000	0,000
Cd	46	0,000	0,305	S	32	0,000	0,000
Ce	55	0,000	0,000	Sb	38	0,000	0,038

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 18 - Resultados para o teste de Wilcoxon para a Área B. O valor p correspondente a variável Diferença 1 mostra a comparação entre as frações entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm) e menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e a variável Diferença 2 corresponde a comparação entre as frações granulométricas menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e menor que 120 *mesh* (0,125 mm) (conclusão)

Teste de Wilcoxon - ÁREA B							
Elemento	Pares	Diferença 1	Diferença 2	Elemento	Pares	Diferença 1	Diferença 2
Co	55	0,000	0,000	Sc	55	0,000	0,000
Cr	49	0,000	0,041	Se	4	0,068	0,554
Cs	55	0,000	0,000	Sn	55	0,000	0,000
Cu	55	0,000	0,101	Sr	55	0,000	0,000
Fe	55	0,000	0,013	Tb	55	0,000	0,000
Ga	54	0,000	0,000	Te	3	0,285	0,123
Ge	0	-	-	Th	55	0,000	0,000
Hf	53	0,000	0,580	Ti	43	0,000	0,012
Hg	39	0,019	0,159	Tl	53	0,000	0,000
In	38	0,000	0,001	U	55	0,000	0,000
K	53	0,000	0,000	V	51	0,000	0,000
La	55	0,000	0,000	W	40	0,078	0,781
Li	34	0,000	0,000	Y	55	0,000	0,000
Lu	54	0,000	0,000	Yb	55	0,000	0,000
Mg	55	0,000	0,000	Zn	55	0,000	0,000
Mn	54	0,000	0,034	Zr	32	0,000	0,521

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Tabela 19- Sumário com classes calculadas através do boxplot para as variáveis Diferença 1 e Diferença 2 (continua)

Elemento	Diferença entre as Frações Granulométricas – ÁREA B									
	(80 <i>mesh</i>) - (10-60 <i>mesh</i>) = Diferença 1					(120 <i>mesh</i>)- (80 <i>mesh</i>) = Diferença 2				
	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Ag	-0,44	0,00	0,16	0,28	0,56	-0,29	0,04	0,08	0,11	0,92
Al	-0,09	0,26	0,45	0,54	1,27	-0,19	-0,04	0,07	0,25	0,52
As	-0,50	0,00	0,00	0,00	12,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Au	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	-12,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	-11,00	6,00	19,00	29,00	57,00	-5,00	1,00	4,00	10,00	26,00
Be	0,00	0,30	0,60	1,10	2,50	-0,60	0,00	0,20	0,40	1,70
Bi	-0,69	0,02	0,05	0,12	3,85	-0,02	0,00	0,01	0,06	0,34
Ca	-0,06	0,02	0,04	0,06	0,24	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05
Cd	-0,03	0,00	0,01	0,02	0,07	-0,02	-0,01	0,00	0,01	0,03
Ce	-15,98	27,17	62,22	81,09	252,10	-129,22	2,26	13,07	23,73	51,10
Co	-0,70	0,60	1,20	2,00	7,10	-0,40	0,00	0,20	0,50	1,60
Cr	-16,00	0,00	2,00	6,00	21,00	-4,00	-1,00	-1,00	0,00	6,00
Cs	-0,09	0,13	0,28	0,50	1,87	-0,04	0,04	0,08	0,14	0,49
Cu	-1,20	1,50	3,30	6,20	14,10	-3,60	-1,10	-0,10	0,50	2,60
Fe	-0,58	0,06	0,41	0,64	3,98	-0,44	-0,06	0,07	0,20	0,37
Ga	-0,70	1,20	2,10	2,90	6,90	-0,50	0,10	0,40	0,90	2,20
Ge	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hf	-0,20	0,01	0,04	0,08	0,79	-0,29	-0,03	0,00	0,05	0,39
Hg	-0,02	-0,01	0,00	0,01	0,04	-0,03	0,00	0,00	0,01	0,03
In	-0,01	0,00	0,01	0,02	0,05	-0,01	0,00	0,00	0,01	0,02
K	-0,01	0,03	0,06	0,09	0,21	-0,03	0,01	0,01	0,03	0,10
La	-8,60	14,10	28,50	45,50	136,10	-70,40	1,30	7,80	11,90	25,70
Li	-1,00	0,00	0,50	1,50	6,00	-1,00	0,00	0,50	1,00	2,00
Lu	-0,06	0,10	0,17	0,35	0,90	-0,09	0,01	0,04	0,11	0,30

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Os valores em verde são maiores que 0 e significam que os teores na fração mais fina foram maiores que na fração mais grossa entre as duas comparadas.

Tabela 19 - Sumário com classes calculadas através do *boxplot* para as variáveis Diferença 1 e Diferença 2 (conclusão)

Diferença entre as Frações Granulométricas –ÁREA B										
Elemento	(80mesh) - (10-60mesh) = Diferença 1					(120mesh)- (80mesh) = Diferença 2				
	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Mg	-0,04	0,02	0,05	0,08	0,15	-0,06	0,01	0,01	0,02	0,08
Mn	-73,00	0,00	44,00	98,00	372,00	-31,00	-8,00	4,00	17,00	78,00
Mo	-0,21	0,18	0,33	0,55	2,80	-0,36	-0,17	-0,11	-0,03	0,24
Na	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Nb	-3,42	0,23	0,79	1,43	4,13	-2,77	-0,27	0,00	0,42	1,10
Ni	-1,10	0,60	1,80	3,70	10,50	-2,20	-0,60	0,10	0,70	4,10
P	-69,00	48,00	92,00	133,00	353,00	-72,00	12,00	23,00	35,00	74,00
Pb	-5,50	1,90	4,10	5,60	13,50	-0,40	0,30	1,30	2,00	3,60
Rb	-2,20	9,20	17,30	25,30	90,10	-1,30	2,20	5,00	7,70	20,80
S	-0,02	0,00	0,01	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Sb	-0,05	0,00	0,03	0,05	0,18	-0,08	-0,01	0,00	0,03	0,11
Sc	-0,30	0,50	0,80	1,40	3,30	-0,10	0,20	0,40	0,50	0,90
Se	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	-0,50	0,00	0,00	0,00	1,00
Sn	-0,10	1,20	1,80	2,30	4,90	-0,50	0,10	0,30	0,70	2,50
Sr	-3,10	2,00	3,50	6,40	14,80	-4,70	-2,20	-1,00	-0,10	2,70
Tb	-0,18	0,35	0,62	1,04	2,48	-1,04	0,05	0,14	0,30	0,71
Te	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	-0,04	0,00	0,00	0,00	0,06
Th	-9,50	3,50	7,60	13,10	41,20	-14,90	0,00	1,60	3,00	15,50
Ti	-0,01	0,01	0,01	0,02	0,06	-0,03	0,00	0,00	0,01	0,01
Tl	-0,02	0,05	0,09	0,14	0,38	-0,02	0,01	0,03	0,05	0,17
U	-1,85	1,79	3,58	5,73	11,91	-3,35	0,26	0,88	1,47	6,00
V	-1,00	2,00	4,00	9,00	18,00	-2,00	0,00	1,00	2,00	5,00
W	-6,90	0,00	0,10	0,10	0,90	-0,20	0,00	0,00	0,00	0,30
Y	-5,83	11,10	18,29	29,73	89,74	-8,12	1,73	3,70	7,59	19,91
Yb	-0,40	0,70	1,30	2,50	6,60	-0,60	0,10	0,40	0,80	2,00
Zn	-2,00	5,00	7,00	11,00	55,00	-1,00	1,00	2,00	4,00	8,00
Zr	-1,95	0,00	0,00	1,00	31,70	-13,60	-0,45	0,00	0,20	16,00

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Os valores em verde são maiores que 0 e significam que os teores na fração mais fina foram maiores que na fração mais grossa entre as duas comparadas.

7 DISCUSSÃO

7.1 A distribuição das frações granulométricas nas amostras

Para entendermos o comportamento dos elementos químicos e sua relação com a fração granulométrica analisada, é preciso conhecer as proporções de cada fração nas amostras avaliadas. Nos sedimentos ativos de corrente estas proporções podem variar conforme alguns fatores ambientais e dentre eles, os mais importantes são o clima, relevo, litologia e a capacidade de transporte, fruto da velocidade da corrente. Estes fatores combinados vão determinar o grau de influência dos agentes intempéricos e erosivos atuantes, além dos produtos que serão disponibilizados no ambiente superficial (ROSE *et al.*, 1979). Assim, de forma a entender a composição textural das amostras das Áreas A e B e quais fatores exercem a maior influência no controle da disponibilidade e distribuição de cada fração granulométrica, para cada amostra, foi avaliada a proporção de recuperação da fração granulométrica mais fina estudada (menor que 120 *mesh*) em relação ao ambiente em que estas foram coletadas, como pode ser visto na Tabela 20.

Tabela 20- Proporção de recuperação das frações granulométricas menor que 80 *mesh* e menor que 120 *mesh*, nas amostras das duas áreas estudadas

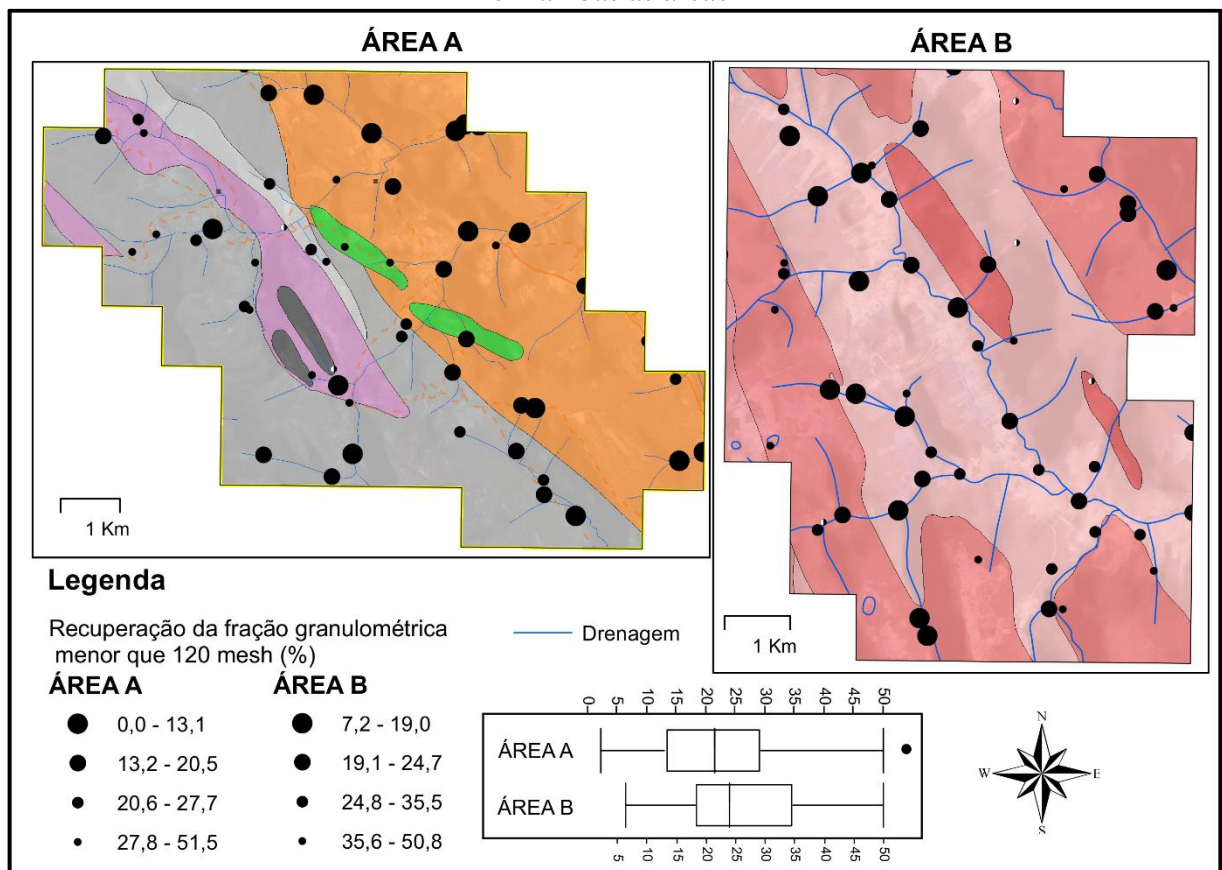
Fração Granulométrica	Área A		Área B	
	menor que 80 <i>mesh</i> (%)	menor que 120 <i>mesh</i> (%)	menor que 80 <i>mesh</i> (%)	menor que 120 <i>mesh</i> (%)
Máximo	66,3	51,5	70,4	50,8
Q3	47.1	27.7	60.6	35.5
Mediana	38.4	20.5	50.0	24.7
Q1	26.0	13.1	41.3	19.0
Mínimo	13,7	4,8	22,4	7,2

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Avaliando as proporções da fração menor que 120 *mesh* (0,125 mm) distribuídas nas áreas em seus respectivos locais de coleta (Figura 29) observa-se que, de modo geral, na Área A, a participação de frações granulométricas mais finas é maior nas amostras coletadas na porção oeste, domínio das rochas metassedimentares e metavulcânicas do Grupo Rio dos Remédios, principalmente na porção central a NW, a região mais acidentada da área em questão. Esse comportamento mostra que o substrato geológico é o principal agente influenciador do fracionamento e disponibilização das partículas, nas amostras de sedimento de corrente, uma vez que, para um ambiente com relevo mais acidentado e com vertentes com declividades mais acentuadas, o esperado seria uma maior contribuição das frações granulométricas mais grossas no material aluvionar. Assim, a presença dos dacitos da Formação

Novo Horizonte, e dos gabros foliados, rochas com mineralogia mais susceptível ao intemperismo físico e químico, poderia justificar a maior disponibilidade de sedimento nas frações granulométricas mais finas nas amostras. Deste modo o conjunto de informações obtidas sugere que para este caso, a variação no substrato geológico foi o agente mais importante na determinação da composição textural do sedimento de corrente, o que é corroborado pelas menores proporções dessa fração observada na porção leste da área A, onde ocorrem rochas mais ricas em quartzo principalmente e outros minerais mais estáveis no ambiente superficial.

Figura 29- Distribuição das proporções de recuperação da fração granulométrica menor que 120 *mesh*, nas amostras coletadas nas duas áreas estudadas. São apresentadas além da distribuição das recuperações nas áreas as comparações através *boxplot* destas recuperações em ambas as áreas



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Em contrapartida, considerando a proporção de recuperação da fração granulométrica menor que 120 *mesh* (0,125 mm) nas amostras coletadas na Área B, foi possível identificar, que, de uma maneira geral, as maiores recuperações da fração granulométrica mais fina, foram obtidas nas regiões aplainadas, nos fundos dos vales, geralmente acima de 24% do peso inicial da alíquota, enquanto que nas regiões mais acidentadas as recuperações da fração mais fina normalmente são menores que 19%. Isso sugere, que para este ambiente, mesmo com desníveis

e declividades menos expressivas, que os da área vizinha, esses parâmetros exercem uma maior influência na distribuição e disponibilidade das frações granulométricas nas amostras de sedimento de corrente, uma vez que o ambiente geológico é composto por rochas com características químicas e mineralógicas mais homogêneas e, portanto, menos variantes em relação à resposta aos processos intempéricos.

Quando comparamos os resultados das proporções de recuperação da fração granulométrica menor que 120 *mesh* (0,125 mm), nas duas áreas coletadas, observa-se que as amostras da Área B apresentam proporções maiores dessa fração granulométrica. Ao observarmos os gráficos *boxplots*, preparados com a recuperação da fração mais fina, das amostras das amostras das duas áreas (Figura 29 e Tabela 20), é notável a tendência de maior disponibilidade da granulometria mais fina (menor que 120 *mesh*) nas amostras da Área B, o que pode ser justificado pelo contexto geológico a qual pertence este domínio, com predominância de ortognaisses, que de uma forma geral, têm em sua composição minerais mais susceptíveis ao intemperismo químicos e à formação de minerais secundários na fração argila, que o conjunto de litotipos presentes na Área A, compostos, sobretudo por metaquartzitos ou outros litotipos semelhantes, já derivados de processos erosivos e deposicionais que carregam em sua composição grande quantidade de material quartzoso, constituinte de frações granulométricas superiores a 120 *mesh* (0,125 mm).

É importante lembrar que de uma forma geral as questões relacionadas à dispersão dos elementos químicos neste estudo, estão mais ligadas a questões físicas (dispersão mecânica) que a dispersão química, uma vez que, as frações granulométricas trabalhadas (entre 10 e 60, menor que 80 e menor que 120 *mesh*) contém maiores proporções de sedimentos na fração granulométrica areia majoritariamente composto por quartzo (~75%), minerais primários (~15%) e óxidos e hidróxidos secundários (~15%), como pode ser visto na Figura 5, do capítulo 3, sendo ínfimas as proporções de minerais secundários (argilominerais).

7.2 Os elementos químicos e as frações granulométricas

Utilizando os resultados analíticos dos conjuntos de dados obtidos para as três frações granulométricas analisadas, foi possível verificar a variação do grau de detecção de alguns elementos que apresentaram valores de concentração inferiores ao limite de detecção do método em todas as amostras. Entenda-se como grau de detecção a proporção de amostras com resultados analíticos acima do limite de detecção do método analítico. Os elementos B, Re, Ta, Pt e Pd, não foram detectados em nenhuma amostra (grau de detecção 0%), em nenhuma das frações granulométricas analisadas, portanto não participaram de nenhuma etapa de tratamento

estatístico dos resultados. Os elementos Au, Ge, Na, Se e Te, foram detectadas em menos de 10% das amostras, ocorrendo em ambientes restritos, são citados no estudo e as informações devem ser utilizadas com o devido cuidado nas etapas que envolverem operações matemáticas com os resultados das frações granulométricas devido ao número elevado de resultados abaixo do limite de detecção.

Observa-se nos elementos que não foram detectados em todas as amostras, que majoritariamente existe uma tendência de aumento do grau de detecção, à medida que se analisa as frações granulométricas mais finas. Essa tendência foi encontrada na maior parte dos elementos, são eles: Ag, As, Ba, Be, Ca, Cd, Cs, Hg, In, K, Lu, Mg, P, Rb, S, Tb, Ti, Tl, V, W, Yb, Zn e Zr, no domínio dos metassedimentos (Área A); e Ag, As, Be, Ca, Cd, Hf, Hg, In, Li, Na, P, S, Sb, Se, Te, Ti e W, na área dos ortognaisses Arqueanos (Área B), indicando que esses elementos ocorrem em maiores concentrações nas granulometrias mais finas.

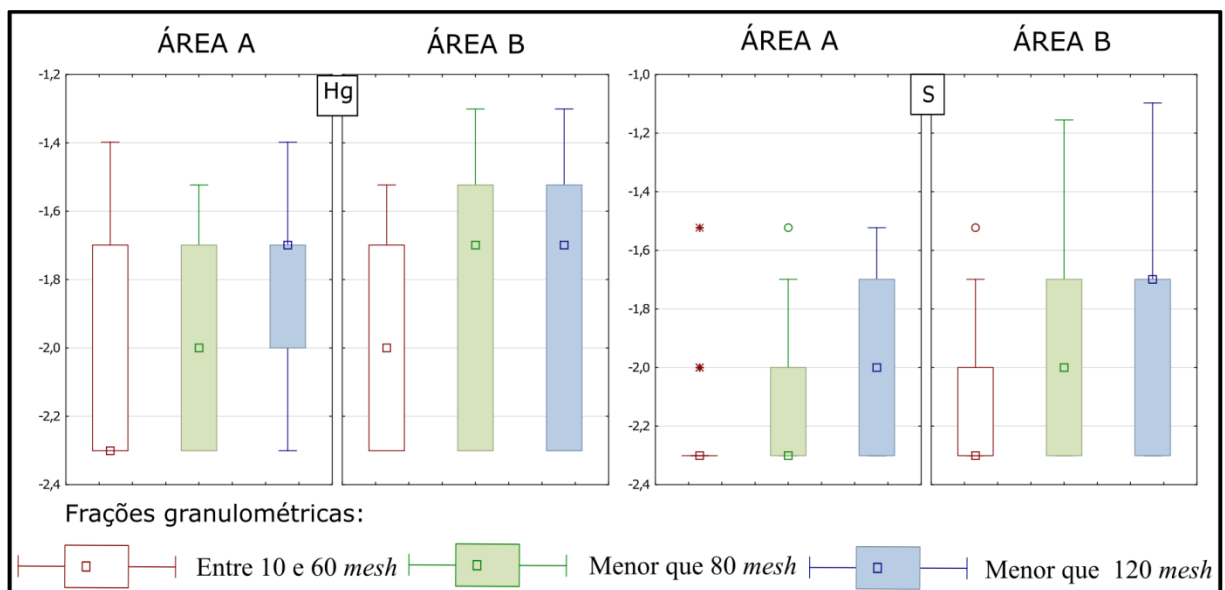
Apesar de essa tendência ser apresentada para a maioria dos elementos, sendo registrada tanto para elementos maiores quanto para traços, outros tipos de comportamento foram detectados, a exemplo dos elementos Au, Bi, Sb, Sn e Sr, no domínio dos metassedimentos (Área A), e o Au e Zr, nas amostras coletadas sobre os ortognaisses (Área B), que apresentaram maior grau de detecção nos resultados obtidos na fração granulométrica menor que 80 *mesh* (0,177 mm). Além disso, os elementos Te, Ge e Se, apresentaram o maior grau de detecção nas análises realizadas na fração granulométrica entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), nas amostras coletadas nos metassedimentos (Área A). Estas informações sugerem que a fração granulométrica na qual o elemento apresentou o maior grau de detecção, é a fração preferencial de ocorrência dos minerais a qual aquele elemento está associado nas amostras coletadas, visto que, como sabemos, a constituição mineralógica das amostras de sedimento de corrente, controlam a distribuição dos elementos químicos nas frações granulométricas das amostras.

Na fração granulométrica entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), onde há a possibilidade de estar presentes uma maior proporção de minerais na fração areia ou mais grossa, quando comparada com frações granulométricas mais finas, conterà, em maior proporção, fragmentos de rocha, quartzo e outros minerais primários resistentes ao intemperismo (WU *et al.*, 2022), que por sua vez, são pouco reativos a digestão por água régia, cuja maior efetividade de extração é em elementos adsorvidos, argilominerais, carbonatos, sulfetos e oxi-hidróxidos de Fe e Mn, além de alguns silicatos menos resistentes (LICHT, 2020; GARRETT, 2019; LEVINSON, 1974; ROSE *et al.*, 1979). Sugerindo deste modo que a tendência observada para a maior parte dos elementos químicos de aumento dos teores à medida

que se analisa frações granulométricas mais finas, é um resultado da diminuição da diluição produzida pelos sedimentos mais grossos e pouco reativos à digestão ácida utilizada, principalmente o quartzo, aliado ao aumento da superfície específica das frações granulométricas mais finas e, conseqüentemente da reatividade da água régia (digestão parcial) (SNALL; LILJEFORS, 2000). Eynattena *et al.* (2011) observou uma tendência enriquecimento progressivo de filossilicatos (biotita-flogopita, clorita e moscovita) com a redução da fração granulométrica em detrimento do quartzo e, em menor grau do feldspato.

Para exemplificar este comportamento dos elementos, a Figura 30, traz através de gráficos *boxplot* realizados para as distribuições log-transformadas, os resultados de Hg e S obtidos para os dois ambientes geológicos estudados. Observa-se que ambos os elementos químicos, apresentaram grau de detecção maior à medida que foram analisadas as frações granulométricas mais finas, corroborando com os sumários estatísticos apresentados no capítulo anterior (Tabela 8, 9 e 10), que mostra que o mercúrio (Hg), teve o seu grau de detecção aumentado de 46% nas amostras da fração entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), para 78% de detecção na fração menor que 120 *mesh* (0,125 mm), e o enxofre (S), com grau de detecção de 6%, quando analisado na fração entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), passando a 70%, na fração granulométrica menor que 120 *mesh* (0,125 mm), no ambiente dos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A).

Figura 30- Gráfico *boxplot* das distribuições de Hg e S, log-transformadas, nas frações entre 10 e 60 *mesh*, menor que 80 *mesh* e menor que 120 *mesh*, de ambos os contextos geológicos estudados



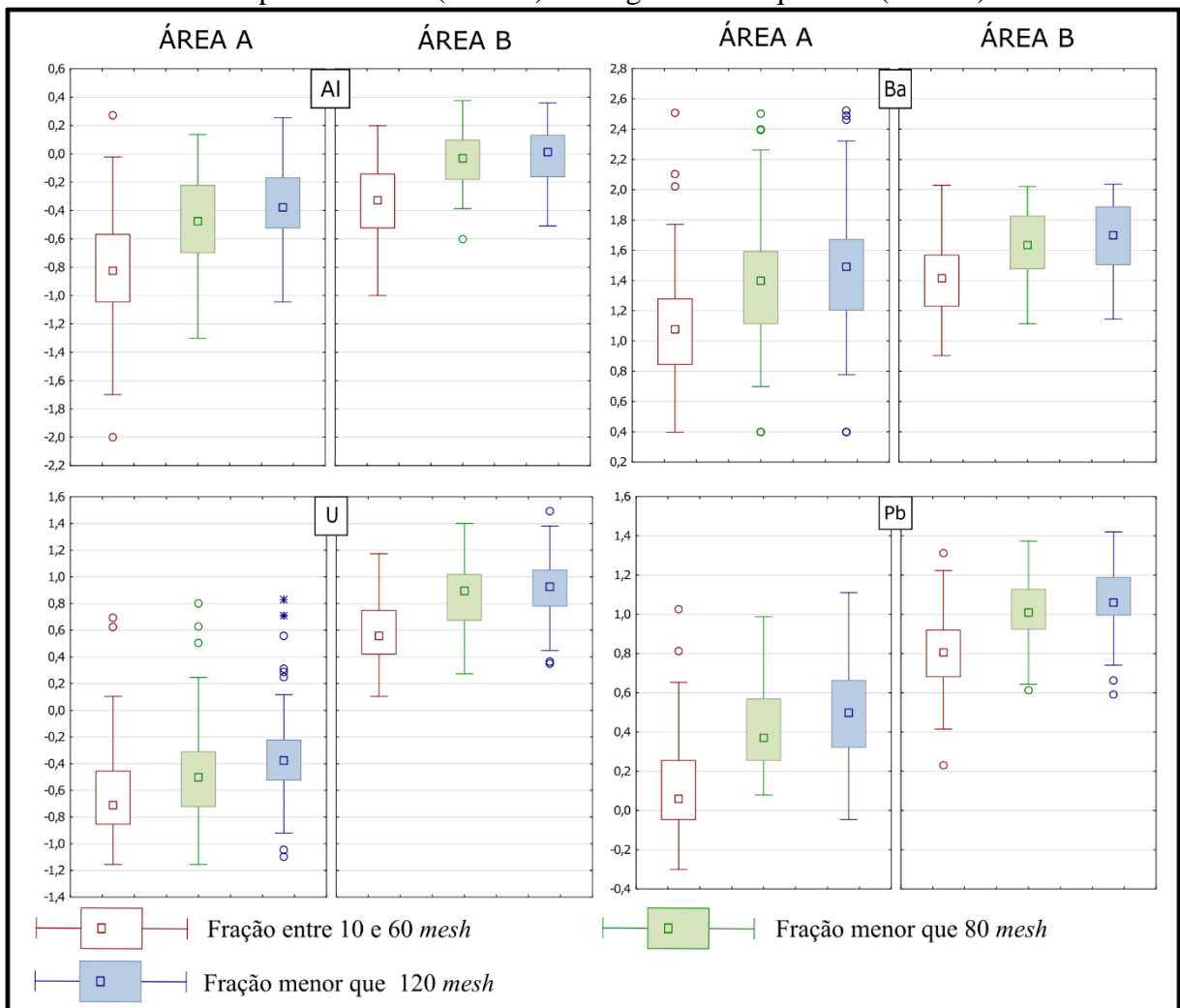
Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Para os elementos que apresentaram comportamento divergente do discutido acima (Au, Bi, Sb, Sn e Sr e Zr) o maior grau de detecção foi obtido ao analisar a fração granulométrica menor que 80 *mesh* (0,177 mm), o que sugere que tais elementos se apresentam concentrados preferencialmente numa fase mineral presente nessa fração granulométrica (entre 80 e 120 *mesh*). Os elementos Te, Ge e Se, apresentaram o maior grau de detecção na fração granulométrica entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), porém, devido ao baixo grau de detecção obtido para estes elementos, os números apresentados não possibilitam maiores conclusões sobre o comportamento destes elementos.

Seguindo a mesma lógica de disponibilização das informações da figura apresentada acima, o Apêndice A ao Apêndice G, apresentam para todos os elementos químicos contemplados na rotina analítica do SGB-CPRM e que apresentaram resultados suficientes para serem submetidos a tratamento estatístico, a representação através dos gráficos *boxplots*, das distribuições log-transformadas dos resultados das análises das três frações granulométricas analisadas, para as duas áreas estudadas. Os parâmetros estatísticos das distribuições obtidas, como o valor mínimo e máximo e as medidas centrais, mediana e média, podem ser encontrados nos sumários estatísticos apresentados no capítulo 6 para as alíquotas das três frações granulométricas estudadas respectivamente.

Quando avaliamos as distribuições obtidas para os elementos que tiveram todos os teores acima do limite inferior de detecção, notamos que a maior parte dos elementos apresenta a tendência de aumento dos valores mínimo, máximo e da mediana da distribuição, à medida que se analisa frações granulométricas mais finas. Isso sugere que estes elementos estão preferencialmente concentrados nestas frações granulométricas, ou que foram mais intensamente solubilizados pelo ataque ácido com o aumento da superfície específica promovida pela pulverização da amostra abaixo de 150 *mesh*. Wu *et al.* (2022) concluíram que partículas finas, como minerais de argila, contêm mais elementos do que frações mais grossas, portanto, o aumento da proporção destes minerais nas frações granulométricas mais finas e consequentemente a diminuição da sedimentação arenosa, mais grossa, rica em quartzo, minerais primários e resistatos, menos reativa à ação da água régia, nos ajudam a entender tal fenômeno. A Figura 31 exemplifica através de gráficos *boxplot* das distribuições log-transformadas do Al, Ba, U e Pb, mostrando que a medida que se diminui a fração granulométrica, apesar das distribuições obtidas terem dispersão semelhantes, apresentam valor mínimo, mediana e máximo mais altos. Este comportamento também é observado para os elementos Ce, Ga, La, Lu, Pb, Rb, Sc, Tb, Th, U, V e Y, conforme pode ser visto nos sumários estatísticos apresentados no capítulo dos resultados (capítulo 6).

Figura 31- Gráficos *boxplot* das distribuições de Al, Ba, U e Pb log-transformadas, frações entre 10 e 60 *mesh*, menor que 80 *mesh* e menor que 120 *mesh*, nos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A) e nos gnaisses Arqueanos (Área B)



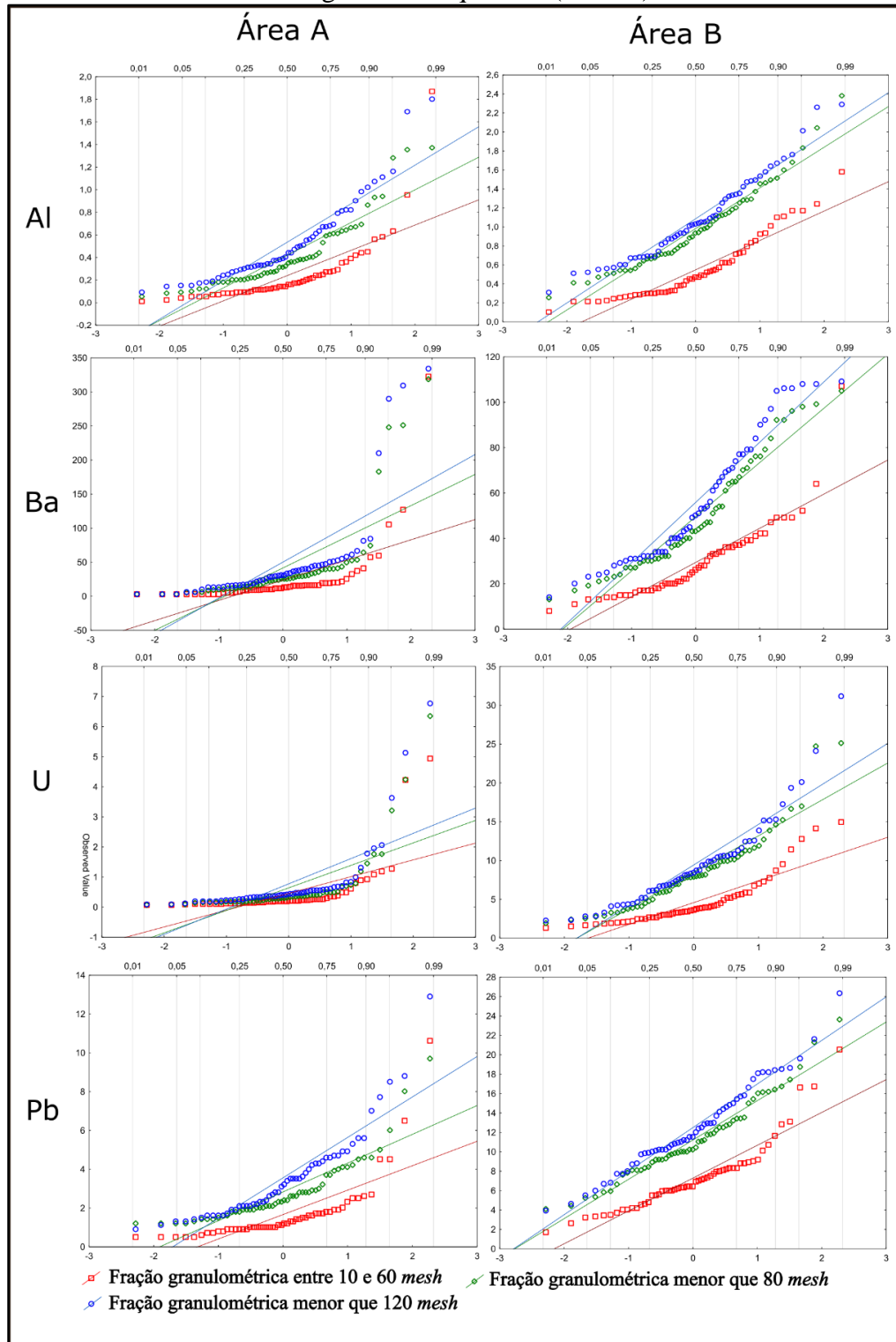
Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

A Figura 32 apresenta os gráficos *QQPlot* para as distribuições obtidas para os elementos Al, Ba, U Pb, nas três frações granulométricas, para as duas áreas estudadas (Área A e Área B). Através destes gráficos é possível obter mais informações a respeito da distribuição destes elementos, que foram os escolhidos para exemplificar o comportamento do grupo de elementos que apresentam a tendência de aumento dos teores a medida que se analisa frações granulométricas mais finas.

Uma vantagem do *QQPlot* em relação ao *boxplot*, é a possibilidade da visualização de subpopulações inseridas no pacote de dados avaliados. Assim, uma vez que o *QQPlot* é um método gráfico de probabilidade, que relaciona os quantis da distribuição avaliada aos quantis teóricos da distribuição normal, o alinhamento entre os pontos plotados sugerem subpopulações com distribuição normal, enquanto que quebras abruptas indicam limites de subpopulações. Tais gráficos além de reforçar a já observada tendência de aumento dos teores a medida que se

analisa frações granulométricas mais finas, mostram que essa tendência apresentada ocorre irrestritamente, independente da subpopulação a qual pertence a amostra analisada.

Figura 32- Gráficos *QQplot* das distribuições de Al, Ba, U e Pb, frações entre 10 e 60 *mesh*, menor que 80 *mesh* e menor que 120 *mesh*, nos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A) e nos gnaisses Arqueanos (Área B)



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

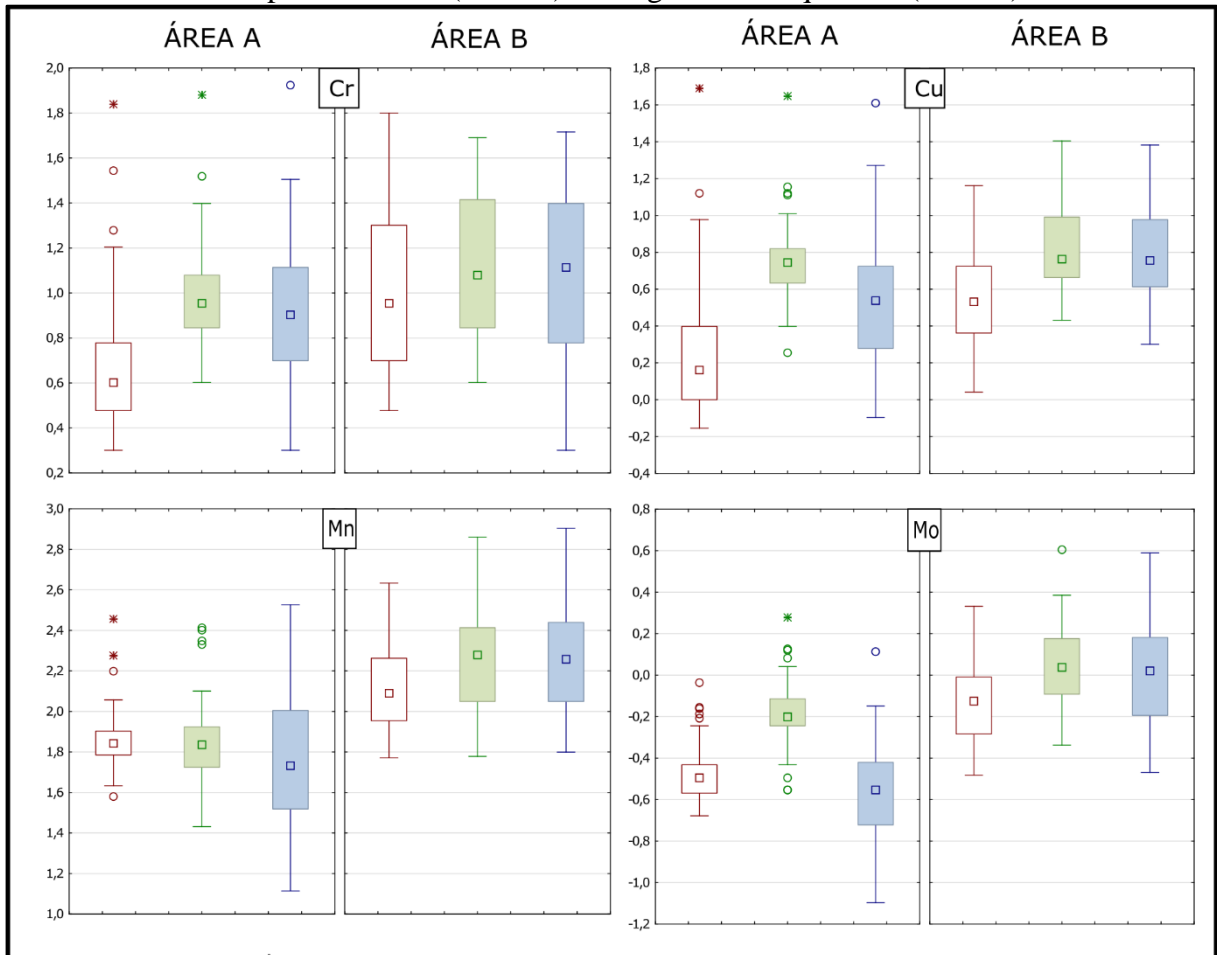
Apesar da maior parte dos elementos apresentar tendência majoritária citada anteriormente, existem situações onde foram encontrados elementos que apresentam comportamento divergentes, são exemplos o Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Mo, Sr e Sn, que apesar de demonstrarem o mesmo comportamento, quando comparadas as frações granulométricas entre 10e 60 *mesh* e menor que 80 *mesh* (Diferença 1), mostraram uma diminuição considerável do teor na alíquota na comparação realizada entre as frações menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e menor que 120 *mesh* (Diferença 2).

Assim, a Figura 33, traz, as distribuições, através dos gráficos *boxplot*, dos elementos Cr, Cu, Mn e Mo, onde pode-se acompanhar a tendência descrita de aumento nos teores entre as frações 10-60 (2 a 0,25 mm) e 80 *mesh* (0,177 mm) e estabilização ou redução desses teores quando comparadas as frações granulométricas menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e menor que 120 *mesh* (0,125 mm). Mesmo nas situações onde as medidas centrais das duas distribuições comparadas são próximas, é observada a diminuição dos teores para algumas amostras, quando analisada sua fração menor que 120 *mesh* (0,125 mm). Esse comportamento pode indicar que as fases minerais detentoras desses elementos encontram em maior quantidade em partículas de tamanho entre 80 e 120 *mesh* (entre 0,177 e 0,125 mm) e, conseqüentemente, para essa área, esse seria um bom critério de seleção de faixa granulométrica de estudo para melhor detecção desses elementos.

De forma a facilitar o entendimento do comportamento dos elementos em relação às subpopulações em que ocorrem, são apresentados através dos gráficos *QQPlot* das distribuições dos elementos Cr, Cu, Mn e Mo, elementos utilizados para exemplificar o comportamento do grupo de elementos que apresentaram comportamento divergente do obtido para a maior parte dos elementos químicos estudados, de aumento dos teores obtidos a medida que se analisa frações granulométricas mais finas. Assim podemos ver que para este grupo de elementos os comportamentos são bem heterogêneos, sendo condicionados pelo contexto em que ocorrem. Através da Figura 34 pode-se observar que de uma forma geral nas amostras com os teores mais baixos de Cr a fração granulométrica que apresentou os maiores resultados foi a entre 10 e 60 *mesh* (2 a 0,25 mm), enquanto que nas amostras com os maiores teores de Cr a fração granulométrica analisada que apresentou os maiores resultados foi a menor que 80 *mesh* (0,177 mm). Quando se observa os resultados do Cu, nota-se que a fração granulométrica menor que 80 *mesh* (0,177 mm) é a que preferencialmente apresenta os maiores resultados. Observa-se também para os elementos Cu, Mn e Mo, na Área B, que os resultados obtidos para as frações granulométricas menor que 80 *mesh* (0,177 mm) e menor que 120 *mesh* (0,125 mm), são muito

mais próximos entre si, que os obtidos para a fração granulométrica entre 10 e 60 mesh (2 a 0,25 mm).

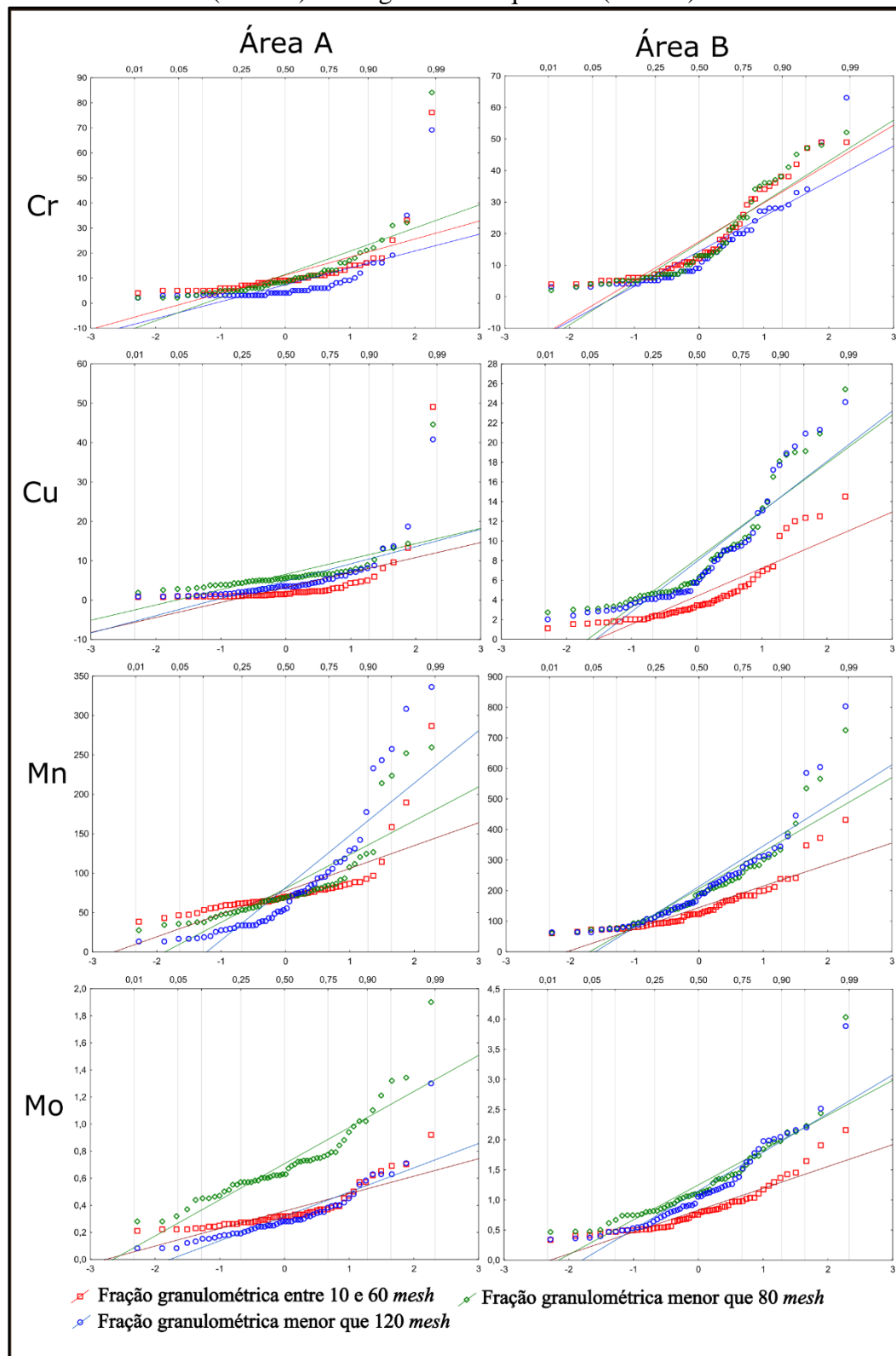
Figura 33- Gráficos *boxplot* das distribuições de Cr, Cu, Mn e Mo log-transformadas, frações entre 10 e 60 mesh, menor que 80 mesh e menor que 120 mesh, nos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A) e nos gnaisses Arqueanos (Área B)



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Quando observado através do *QQPlot* o comportamento do manganês (Mn) na Área A, mostra que nas amostras de baixo teor de Mn os maiores teores apareceram quando as amostras foram analisadas na fração granulométrica entre 10 e 60 mesh (2 a 0,25 mm), porém dentre as amostras contendo os maiores teores de manganês (Mn) os maiores resultados estavam nos resultados das alíquotas obtidas através das alíquotas na fração granulométrica menor que 120 mesh (0,125 mm). Para esta situação os teores obtidos através das alíquotas na fração 80 mesh (0,177 mm) estiveram quase sempre entre os obtidos para as duas outras frações granulométricas. Para o molibdênio (Mo) na Área A se observa que os maiores resultados estavam na fração granulométrica menor que 80 mesh (0,177 mm), indicando que esta é a fração preferencial para a ocorrência deste elemento, neste ambiente.

Figura 34- Gráficos *QQplot* das distribuições de Cr, Cu, Mn e Mo, frações entre 10 e 60 *mesh*, menor que 80 *mesh* e menor que 120 *mesh*, nos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A) e nos gnaisses Arqueanos (Área B)



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Os gráficos *boxplot* com as distribuições dos resultados obtidos para todos os elementos contemplados na rotina analítica SGB-CPRM, nas frações granulométricas

analisadas, podem ser encontrados nos Apêndices A ao G, de forma a facilitar a comparação do comportamento entre as frações e entre as duas áreas estudadas.

7.2.1 Teste estatístico de comparação (WILCOXON, 1945)

A avaliação dos resultados do teste de Wilcoxon (WILCOXON, 1945), foi realizada para os dois ambientes geológicos estudados, comparando os resultados entre a fração granulométrica mais grossa, (entre 10 e 60 e menor que 80 *mesh*) a qual foi denominada “Diferença 1”, e o resultado entre as duas frações mais finas, (menor que 80 e menor que 120 *mesh*) denominadas “Diferença 2” (Tabela 12). Os resultados apontam que, para a região dos metassedimentos, os elementos As, Au, Li, Te e W apresentaram distribuições equivalentes nas duas comparações realizadas. Os elementos Ag, Hf, Hg, Na e Ti, demonstraram equivalência somente entre as duas frações mais grossas; e os elementos Bi, Co, Cr, Fe, In, Nb e Sb apresentaram equivalência entre as duas frações mais finas. Vale destacar que as informações obtidas sobre os elementos Au, In, Li, Na, Te, Ti e W devem ser utilizadas com cuidado, devido ao baixo grau de detecção e, conseqüentemente, baixo número de pares utilizados no teste.

Para os resultados obtidos para a região dos ortognaisses Arqueanos (Tabela 18), os testes indicam que somente os elementos Na, Se, Te, e W apresentaram distribuições equivalentes nas duas comparações realizadas. Foram encontradas diferenças significativas entre as distribuições comparadas, para todos os demais elementos avaliados, principalmente quando comparadas as distribuições obtidas para a Diferença 1 (entre 10 e 60 *mesh* e 80 *mesh*). Adicionalmente, quando comparadas as distribuições obtidas para a Diferença 2 (menor que 80 *mesh* e menor que 120 *mesh*), os elementos Cd, Cu, Hf, Hg, Nb, Ni e Zr mostraram equivalência.

Assim como indicado para a Área A, ao utilizar as informações geradas através do conjunto de resultados obtidos para o domínio dos ortognaisses, deve-se estar atento ao utilizar os dados Na, Se e Te, devido aos baixos graus de detecção, e conseqüentemente reduzindo o número de pares utilizados nas comparações, diminuindo assim o nível de confiança dos resultados do teste.

De uma forma geral, os resultados dos testes de Wilcoxon (1945) corroboram com o apresentado anteriormente indicando que a maior parte dos elementos químicos analisados sofre influência quando modificada a fração granulométrica. Como exceções apontadas estão os elementos Ag, Hf e Mg, que não apresentaram diferenças significativas na variação da fração entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), para a fração 80 *mesh* (0,177 mm) e os elementos Bi, Co, Cr, Fe, Nb e Rb, que não apresentaram diferenças significativas na comparação entre as

frações abaixo de 80 e 120 *mesh* (0,177 e 0,125 mm), para as amostras coletadas nos ambientes dos metassedimentos (Área A). Enquanto que na região dos ortognaisses as exceções são para o Tungstênio (W), que apresentou distribuições equivalentes nas duas comparações realizadas e, nos elementos Cd, Cu, Hf, Hg, Nb, Ni e Zr, que apresentaram distribuições equivalentes na comparação entre as frações abaixo de 80 e 120 *mesh* (Diferença 2). Sugerindo com isso que de uma maneira geral, os ganhos de teor obtidos quando se analisa a fração menor que 80 *mesh* (0,177 mm) em comparação aos obtidos para a fração entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), são vistos em quase todos os elementos analisados, porém quando se compara as duas frações granulométricas mais finas (menor que 80 e 120 *mesh*), em uma quantidade considerável de elementos as distribuições obtidas são equivalentes.

7.2.2 As diferenças entre os resultados das frações granulométricas

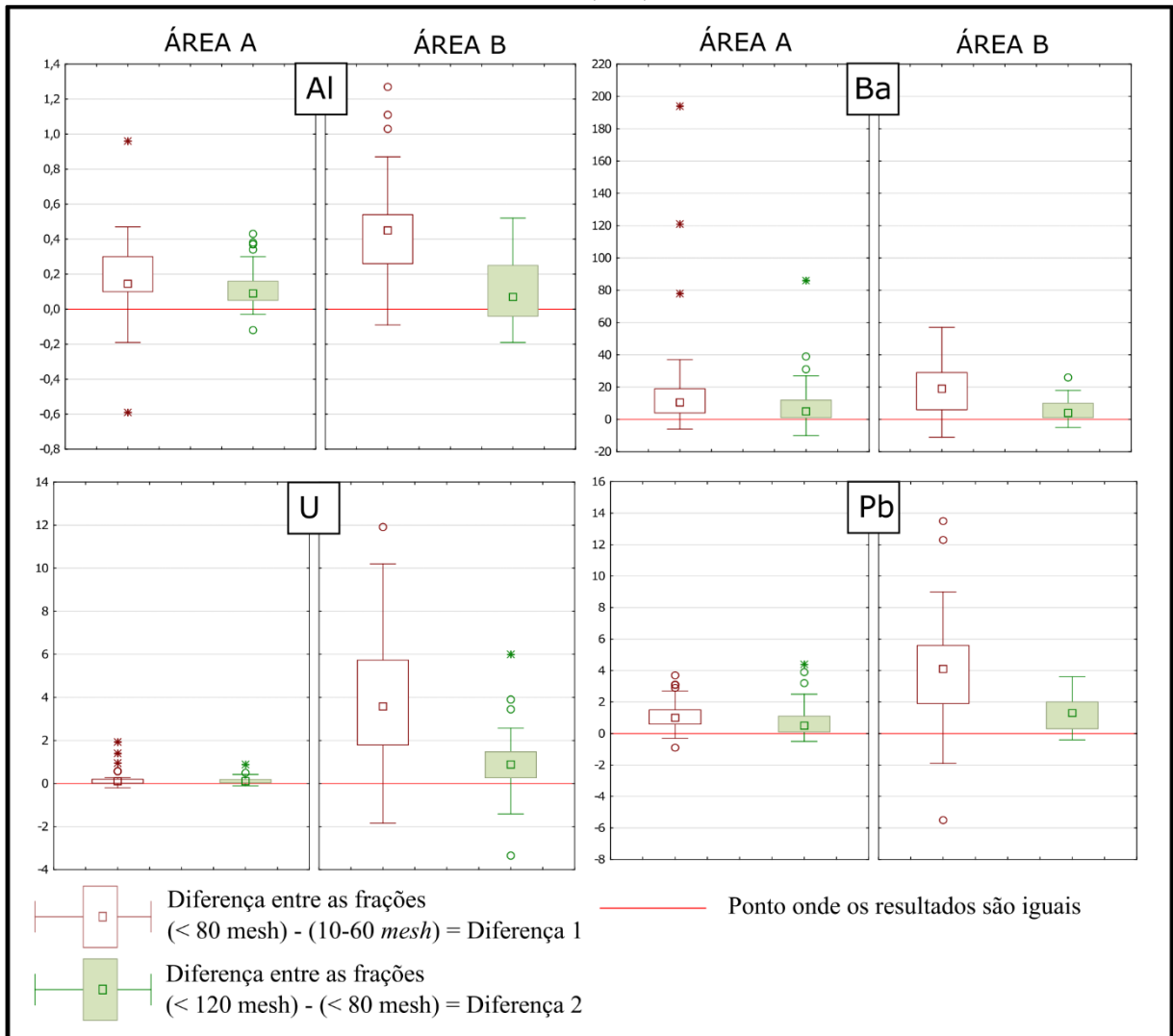
Uma vez que é uma das etapas de execução do teste de Wilcoxon (WILCOXON, 1945), feito o cálculo da diferença entre os resultados obtidos nas análises das alíquotas das duas frações granulométricas comparadas, e que estes resultados trazem informações referentes ao comportamento dos elementos químicos contemplados na rotina analítica do SGB-CPRM, foi feita a análise estatística dessa nova variável (a diferença entre o resultado da fração granulométrica mais fina, diminuída do resultado da fração granulométrica mais grossa) visando entender como se comportam os elementos químicos mediante a variação da fração granulométrica, dentre as comparadas.

As Figura 35 e 36 mostram os gráficos *boxplot* dos elementos escolhidos para exemplificação quanto à distribuição das diferenças calculadas para as duas áreas estudadas. Propositamente, são mostrados os mesmos elementos químicos apresentados nas Figura 31 e 33, facilitando assim a discussão e correlação dos resultados obtidos no cálculo das diferenças. As representações gráficas elaboradas através de *boxplot*, para todos os elementos estudados, podem ser encontradas do Apêndice H ao Apêndice N, seguindo o mesmo padrão de organização e disponibilização das figuras apresentadas ao longo deste estudo e que podem ser analisadas em conjunto com as informações apresentadas nos sumários estatísticos com as classes do *boxplot* para Diferença 1 e Diferença 2, obtidas para as amostras coletadas no ambiente metassedimentar (Tabela 13) e para o domínio do embasamento (Tabela 19).

São apresentados também, a fim de contribuir com a apresentação e discussão dos resultados e correlação com o seu ambiente de ocorrência, os gráficos *QQPlot* demonstrado através da Figura 36 e da Figura 38 elaborados com as distribuições das novas variáveis (Diferença 1 e Diferença 2, respectivamente) calculadas para as duas regiões estudadas. Assim,

é possível avaliar o comportamento destas novas variáveis, que trazem informações relacionadas ao impacto da variação da fração granulométrica nos resultados geoquímicos de sedimento de corrente nos dois ambientes geológicos propostos para este estudo.

Figura 35- Gráficos *boxplot* das distribuições das diferenças entre os pares dependentes dos elementos Al, Ba, U e Pb

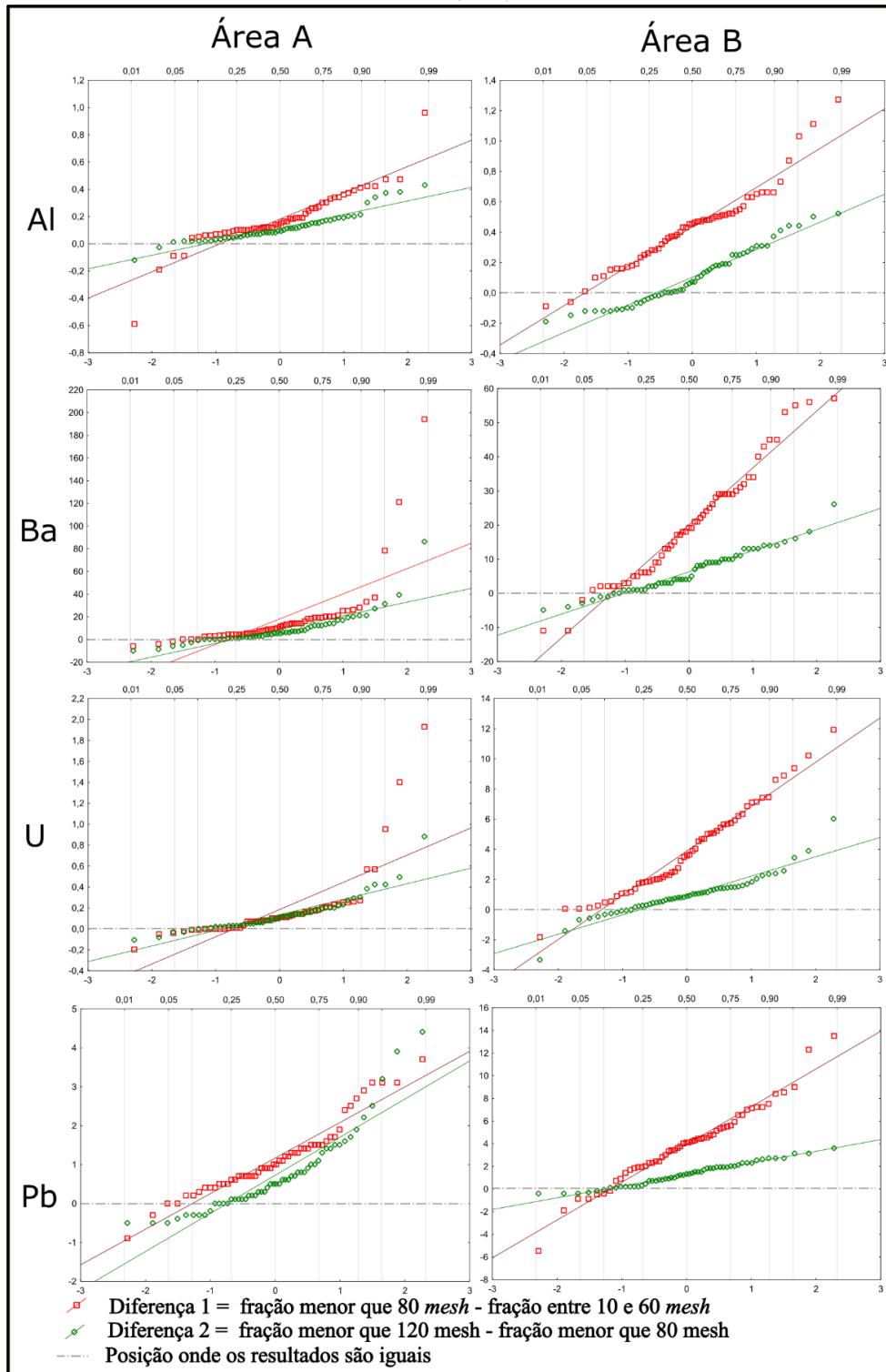


Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023

Nota: No boxplot vermelho pode-se acompanhar o comportamento da diferença entre menor que 80 mesh e a fração a fração entre 10 e 60 mesh, enquanto que em verde está expressa a diferença entre as frações menor que 80 mesh e menor que 120 mesh. A linha horizontal vermelha indica o ponto onde os resultados são iguais e resultados positivos indicam um aumento do teor à medida que se analisa frações granulométricas mais finas.

Enquanto a Figura 36 apresenta os gráficos *QQPlot* com as distribuições dos elementos Al, Ba, U e Pb, escolhidos para representar o grupo de elementos que apresentaram teores maiores à medida que se analisou frações granulométricas mais finas, a Figura 38, mostra os gráficos para os elementos Cr, Cu, Mn e Mo, representando o grupo de elementos que apresentam comportamento divergente do observado para a maior parte dos elementos e citado anteriormente.

Figura 36- Gráficos *QQplot* das distribuições das diferenças entre os pares dependentes dos elementos Al, Ba, U e Pb

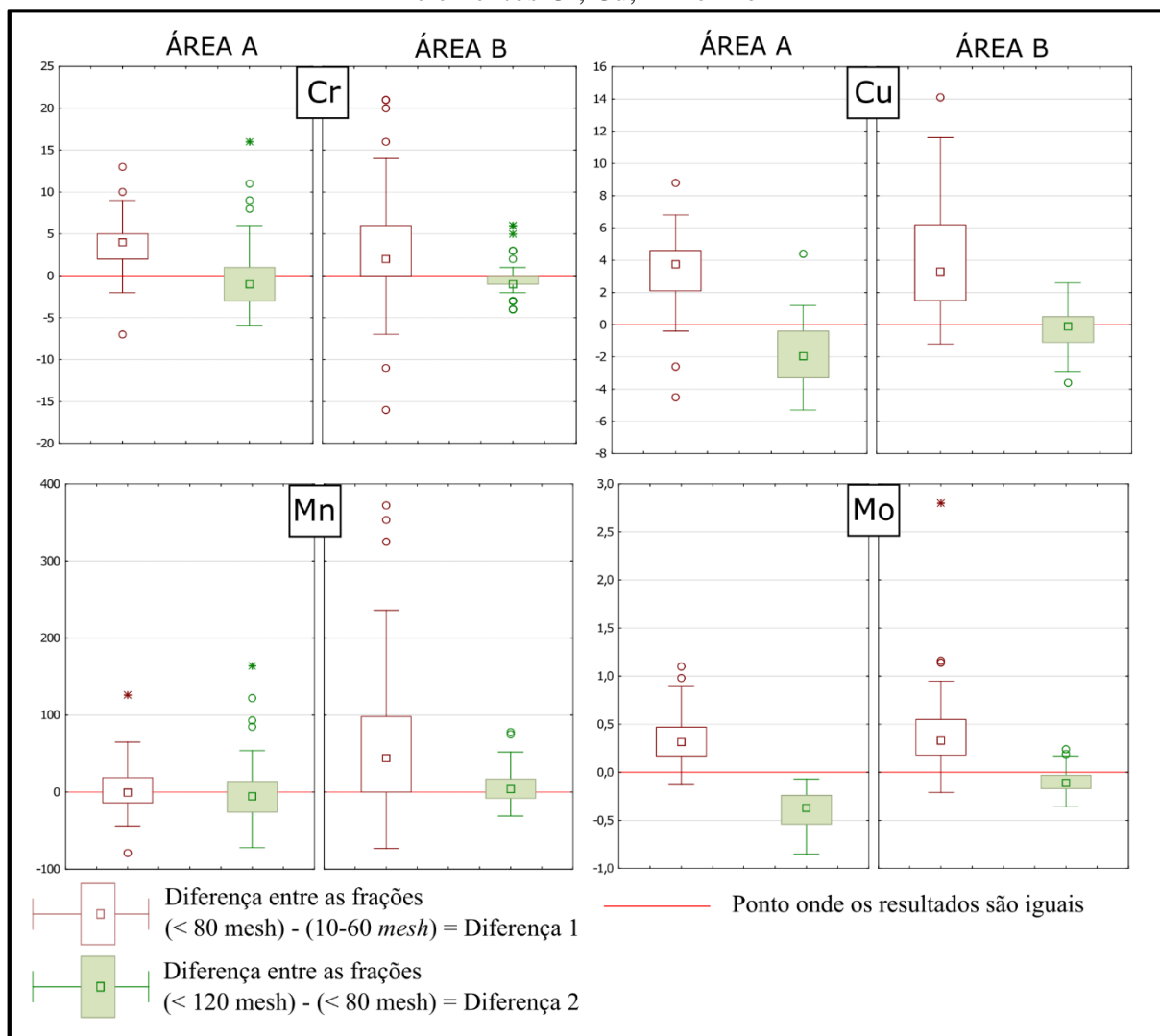


Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023

Enquanto a Figura 36 apresenta os gráficos *QQPlot* com as distribuições dos elementos Al, Ba, U e Pb, escolhidos para representar o grupo de elementos que apresentaram teores maiores à medida que se analisou frações granulométricas mais finas, a Figura 38, mostra os gráficos para os elementos Cr, Cu, Mn e Mo, representando o grupo de elementos que

apresentam comportamento divergente do observado para a maior parte dos elementos e citado anteriormente.

Figura 37- Gráficos *boxplot* das distribuições das diferenças entre os pares dependentes dos elementos Cr, Cu, Mn e Mo



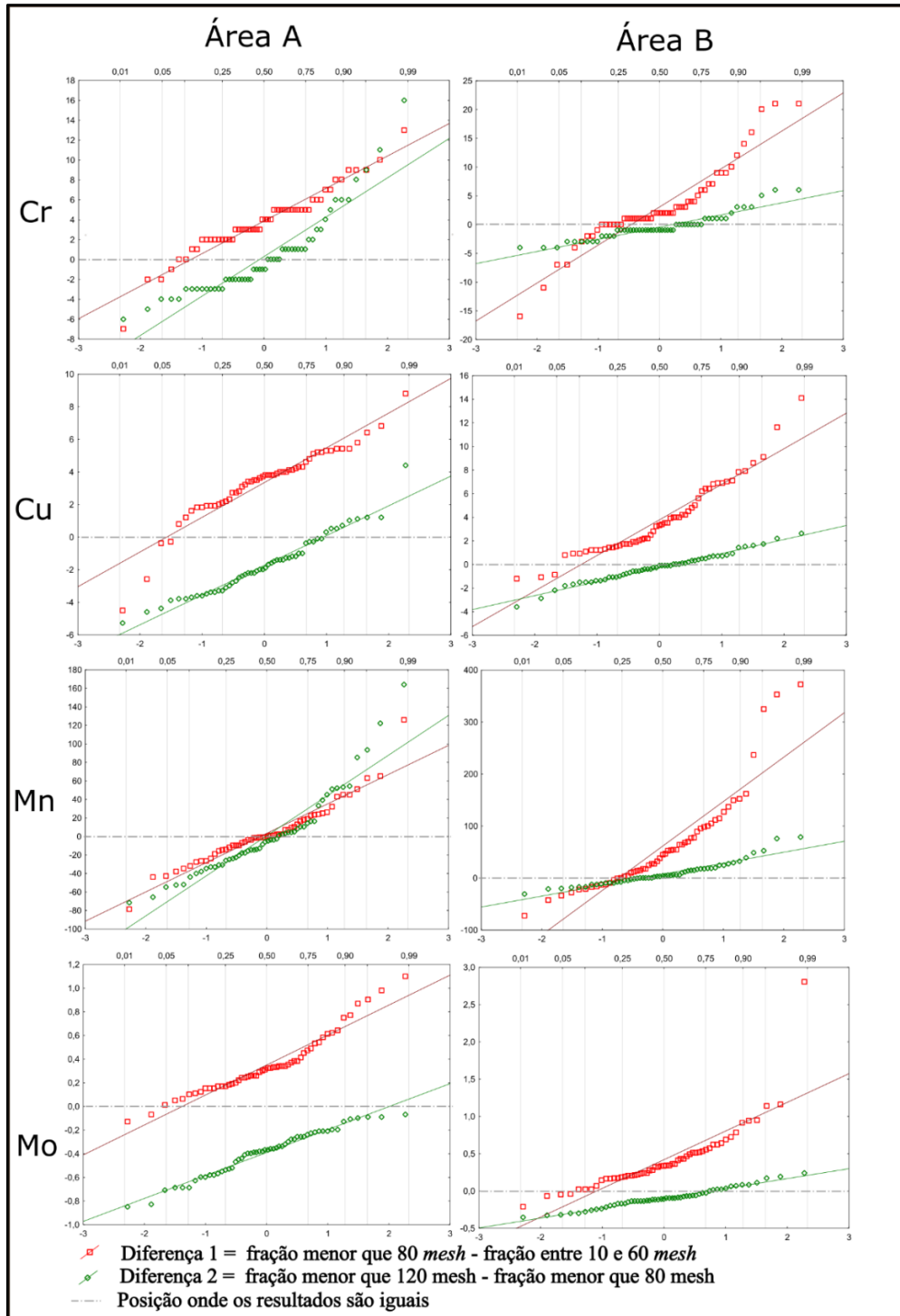
Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: No *boxplot* vermelho pode-se acompanhar o comportamento da diferença entre a fração menor que 80 mesh e a fração entre 10 e 60 mesh, enquanto que em verde está expressa a diferença entre as frações menor que 120 mesh e menor que 80 mesh. A linha vermelha indica o ponto onde os resultados são iguais e resultados positivos indicam um aumento do teor à medida que se analisa frações granulométricas mais finas.

Através dos gráficos apresentados (Figura 36 e Figura 38) pode-se notar mais claramente que além das diferenças serem maiores entre as frações granulométricas menor que 80 mesh e entre 10 e 60 mesh (Diferença 1) e que estas comparações quase sempre apontarem que os maiores teores foram encontrados na fração granulométrica mais fina (menor que 80 mesh), que quando realizada a comparação entre as frações granulométricas menor que 80 e menor que 120 mesh (Diferença 2), nota-se um aumento significativo de situações onde o teor

mais alto foi encontrado na alíquota de fração granulométrica mais grossa, dentre as duas comparadas (menor que 80 *mesh*). (Figura 38)

Figura 38- Gráficos *QQplot* das distribuições das diferenças entre os pares dependentes dos elementos Cr, Cu, Mn e Mo



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

É importante salientar que o fato das diferenças entre a fração mais grossa (entre 10 e 60 *mesh*) e a fração menor que 80 *mesh* (0,177mm) serem maiores que as diferenças entre as

outras duas frações granulométricas, se dá também devido ao fato das amostras analisadas na fração entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm) não conterem porções em comum com as demais frações granulométricas estudadas, enquanto que nas alíquotas na fração granulométrica abaixo de 80 *mesh* (0,177mm), estão contidas além da porção na fração granulométrica entre 80 e 120 *mesh* (entre 0,177 e 0,125 mm), a fração abaixo de 120 *mesh* (0,125 mm), sendo esta última exatamente uma das frações analisadas neste trabalho e portanto, a porção em comum, contida nas duas alíquotas utilizadas na segunda comparação (Diferença 2), justificando a maior semelhança entre os resultados obtidos.

Quando se avalia a distribuição da Diferença 2 dos elementos Cr, Cu, Mn e Mo (Figura 37 e Figura 38), observa-se uma quantidade considerável de valores negativos, indicando que os maiores teores foram obtidos na fração granulométrica mais grossa, dentre as duas comparadas (menor que 80 *mesh*). Tal fato sugere que a fase mineral a qual o elemento estudado está associado, está presente preferencialmente na fração granulométrica menor que 80 *mesh*, sugerindo assim ser esta a fração granulométrica que deve ser utilizada para se obter os melhores resultados nos estudos relacionados a estes elementos.

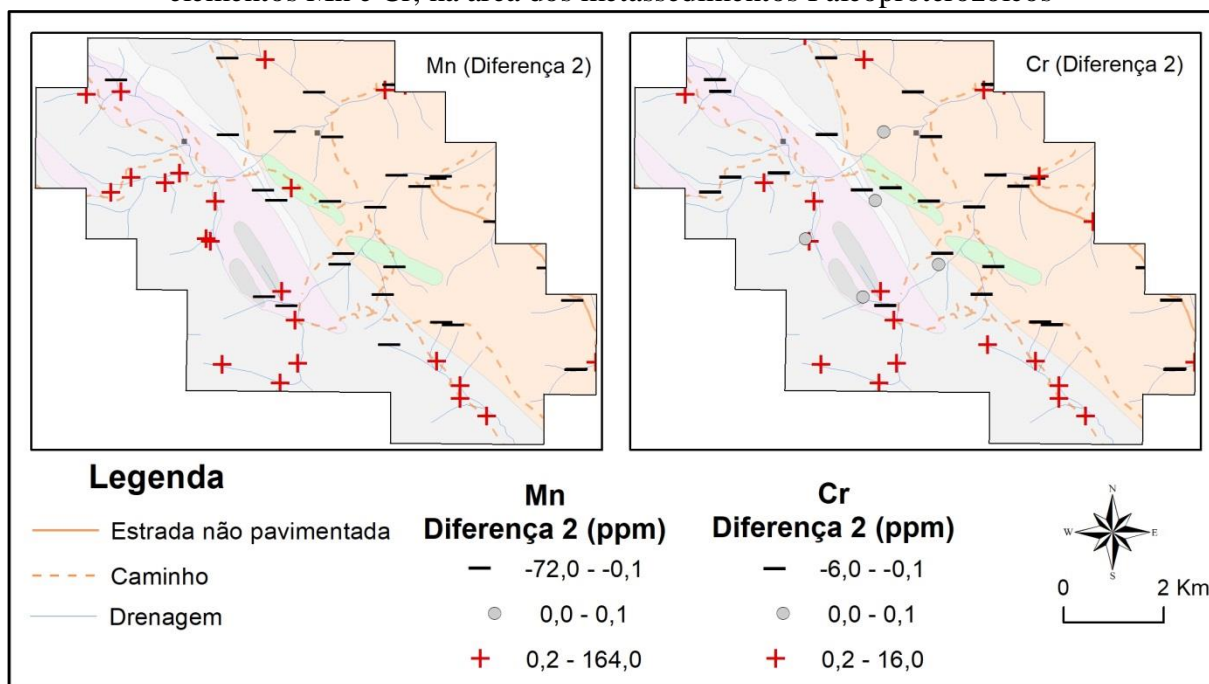
As distribuições das diferenças 1 e 2 obtidas para o molibdênio (Mo), por exemplo, mostram um caso extremo dentre as situações observadas, onde em ambos os ambientes geológicos estudados, os teores encontrados serem quase sempre maiores na fração granulométrica mais fina, quando se compara as frações entre 10 e 60 *mesh* e a menor que 80 *mesh*, porém na comparação entre as frações menor que 80 *mesh* e menor que 120 *mesh*, os maiores teores estavam na fração granulométrica mais grossa, a fração menor que 80 *mesh* como a preferencial para a ocorrência dos minerais hospedeiros deste elemento.

Na Figura 39 são apresentadas as distribuições em mapa da Diferença 2 para os elementos Cr e Mn, no ambiente geológico dos metassedimentos Paleoproterozoicos (área A), onde observa-se, para ambos os elementos, uma tendência a se obter resultados maiores à medida que se analisa a fração granulométrica menor que 80 *mesh* (0,177 mm), principalmente nas amostras coletadas sobre o domínio da Fm. Mangabeira, que no mapa são sinalizadas como “-”, enquanto que nas amostras coletadas sobre o domínio da Fm. Ouricuri do Ouro, a tendência é que os maiores teores sejam encontrados na fração mais fina dentre as duas comparadas (menor que 120 *mesh*), sinalizadas como “+”. Portanto, percebe-se um claro controle do domínio geológico para com a fração preferencial de ocorrência destes elementos para a área A.

Uma vez que tais variações nos resultados refletem a disponibilidade preferencial dos elementos em relação às frações granulométricas estudadas, e que este controle é realizado,

principalmente pelas fases minerais presentes nos sedimentos, os resultados obtidos para as variáveis Diferença 1 e Diferença 2 foram espacializados e interpretados em relação ao contexto geológico subjacente. Assim, a Figura 39 e a Figura 40, apresentam a distribuição das diferenças entre os resultados nas frações granulométricas menor que 80 e menor que 120 *mesh* (Diferença 2) dos elementos Cr e Mn, no ambiente geológico dos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A), onde observa-se, para ambos os elementos, uma tendência de resultados mais elevados à medida que se analisa a fração granulométrica mais grossa (menor que 80 *mesh*), nas amostras coletadas sobre o domínio da Fm. Mangabeira, enquanto que nas amostras coletadas sobre o domínio da Fm. Ouricuri do Ouro, a tendência é que os maiores teores sejam encontrados na fração mais fina dentre as duas comparadas (menor que 120 *mesh*). Assim demonstrando o controle do domínio geológico sobre a distribuição dos elementos nas frações granulométricas de amostras de sedimento de corrente e consequentemente na distribuição dos elementos químicos.

Figura 39- Mapa com a distribuição espacial da variável Diferença 2, obtidas para os elementos Mn e Cr, na área dos metassedimentos Paleoproterozoicos



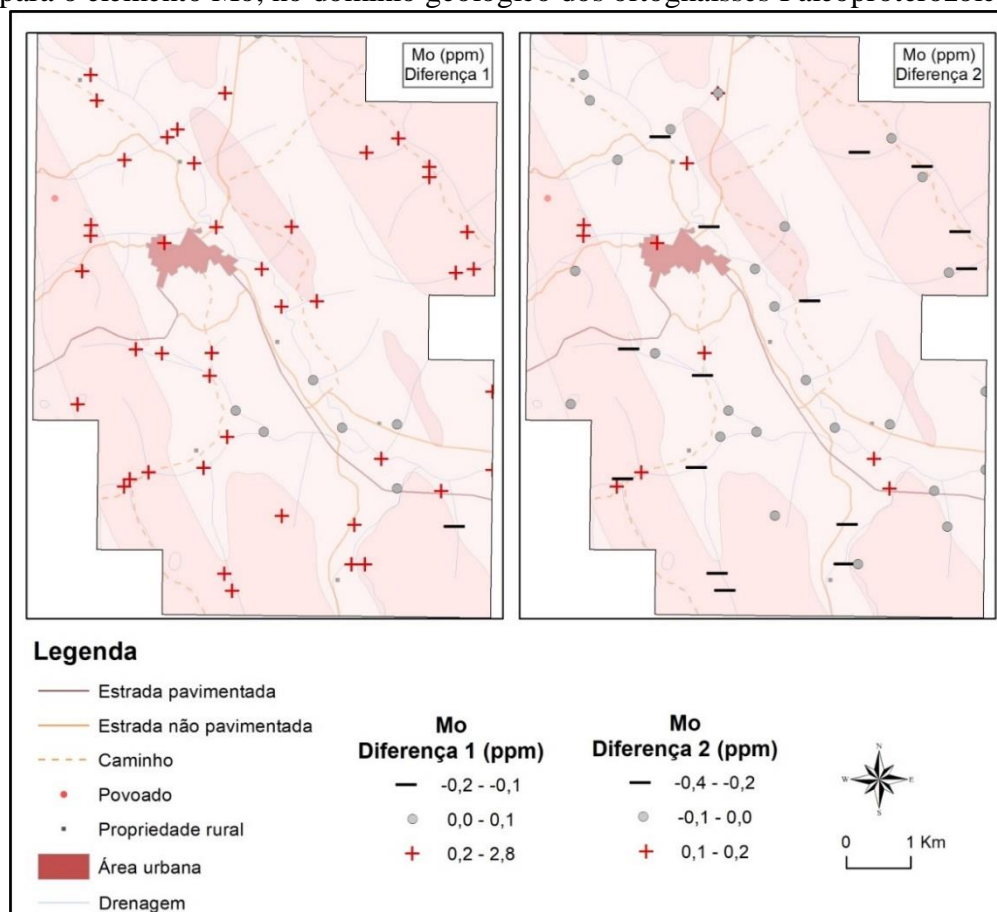
Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: O sinal de “mais” indicam as amostras onde o maior teor foi encontrado na fração mais fina e sinal de “menos”, as amostras onde o maior teor foi encontrado na fração mais grossa.

Outro ponto que chama a atenção é que as diferenças das distribuições das frações granulométricas registradas para o domínio geológico dos ortognaisses do embasamento (Área B), que de uma forma geral são maiores que as registradas na bacia Paleoproterozoicas (Área A). Tal característica pode ser justificada pelos teores obtidos na região do embasamento que

normalmente são muito maiores que os obtidos nos metassedimentos e, conseqüentemente geram maior variabilidade dos resultados e conseqüentemente uma maior diferença entre eles. Aliado a isso ainda pode existir uma parcela de influência da composição mineralógica e da ação do intemperismo no fracionamento granulométrico e sua composição química.

Figura 40- Mapa com a distribuição espacial da variável Diferença 1 e Diferença 2, obtidas para o elemento Mo, no domínio geológico dos ortognaisses Paleoproterozoicos



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Os sinais de “mais” indicam que o maior teor foi encontrado na fração mais fina e sinal de “menos”, que o maior teor foi encontrado na fração mais grossa.

7.3 As faixas de *background* geoquímico

Outro importante ponto a ser avaliado, está relacionado a faixa de teores dos elementos químicos, para os ambientes geológicos estudados (Áreas A e B), o que permite definir valores de referência de tais elementos para as três frações granulométricas consideradas, ou seja, definir o *background* geoquímico. Através do Apêndice A ao Apêndice G, é possível realizar a comparação gráfica entre as faixas de *background*, de todos os elementos estudados, obtidas em escala log-transformada dos teores das três frações granulométricas reportadas.

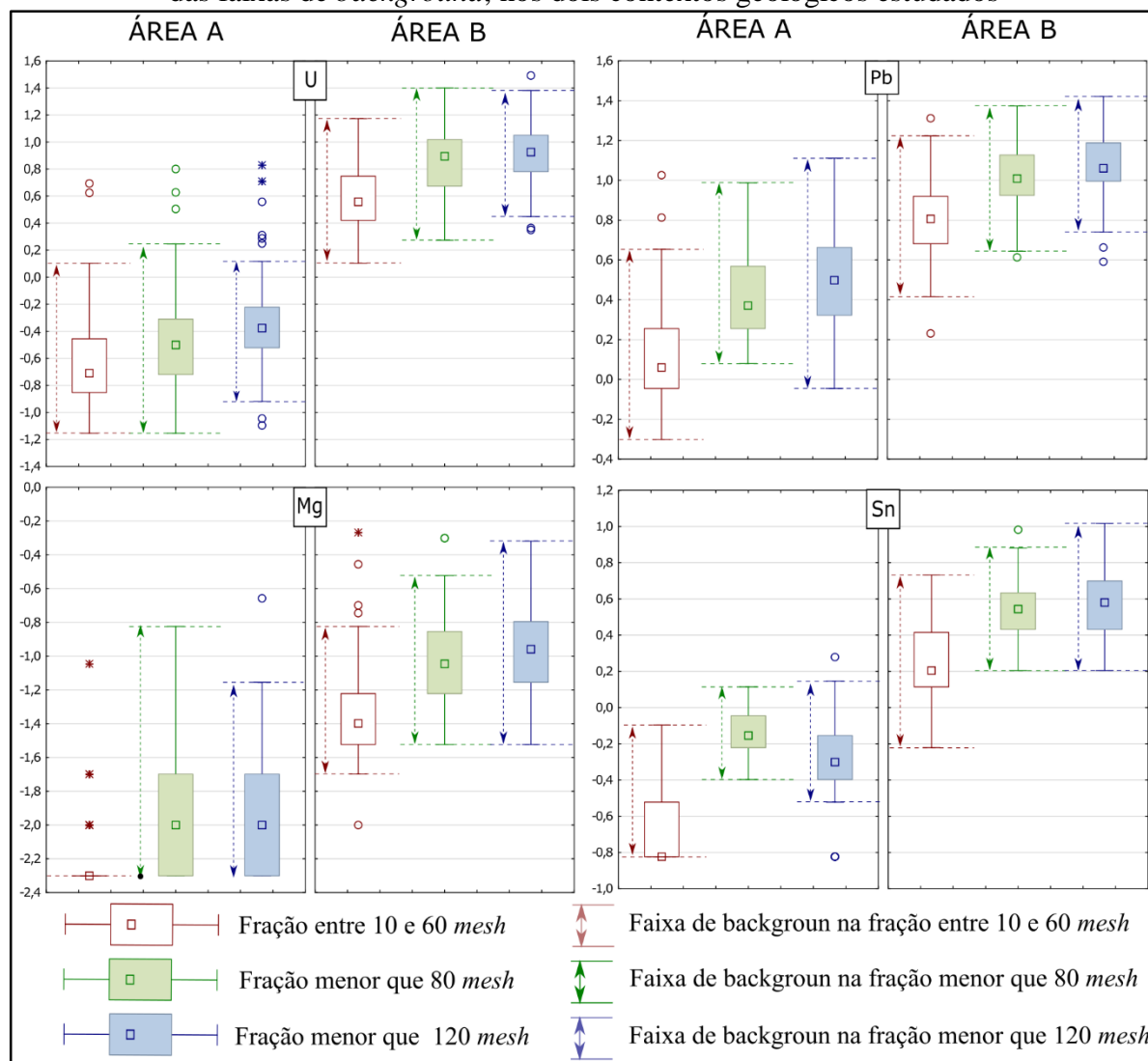
Quando se comparam os resultados obtidos para os dois ambientes, observa-se que muitos elementos, (Be, Bi, Ca, ETR, Cs, Hf, In, K, Li, Mg, Nb, P, Pb, Rb, Sn, Th, Tl, Ti, U, W e Zn), apresentam diferenças significantes entre os teores obtidos, sendo claramente visível que nos domínios dos ortognaisses Arqueanos (Área B) os teores destes elementos são consideravelmente maiores que os encontrados nos domínios dos metassedimentos (Área A). O único elemento que apresentou resultado contrário foi o antimônio (Sb), que visivelmente apresentou teores maiores nos domínios dos metassedimentos (Área A). Os valores mínimo, máximo e da mediana das distribuições dos teores de todos os elementos contemplados nas análises podem ser encontrados nos sumários estatísticos apresentados no capítulo 6, ratificando o exposto acima.

A Figura 41, apresenta os gráficos de comparação, elaborados para os elementos U, Pb, Mg e Sn, mostrando as distribuições, através dos gráficos *boxplot*, das frações granulométricas submetidas à rotina analítica do SGB-CPRM junto com a identificação das faixas de *background* estimadas através das distribuições, nos dois contextos geológicos estudados. Através dos gráficos *boxplots* apresentados, é possível observar que além da evidente diferença entre os teores obtidos quando se compara os resultados nos dois ambientes geológicos, nota-se também a tendência, já discutida anteriormente, de elevação de teores com a redução no tamanho da partícula. Ressaltando que cada metodologia analítica aplicada a uma região apresentará uma resposta que é condicionada pelos minerais presentes nas regiões amostradas, e, sobretudo, na alíquota analisada, tipo de digestão ácida utilizada na preparação das amostras e pelo tipo de leitura analítica adotada, corroborando com diversos autores. (LICHT, 2020; REIMAN *et al.*, 2008; SALOMÃO, 2020; GALUSZKA, 2007, MATSCHULLAT *et al.*, 2000; MRVIĆ *et al.*, 2011; REIMANN; GARRETT, 2005; REIMANN, 2005; ZHANG *et al.*, 2011) que comprovam que parâmetros relacionados à coleta, preparação e leitura das amostras como de suma importância na aquisição de resultados geoquímicos.

Diante do exposto até aqui, foi possível notar o controle exercido pela mineralogia da amostra, sobretudo numa dada fração granulométrica, nos resultados analíticos obtidos, quando essas são submetidas a uma mesma metodologia analítica (digestão ácida e leitura). De modo similar, diferentes metodologias analíticas empregadas em amostras de mesma mineralogia entregaram respostas distintas. Segundo Licht (2020), a escolha do tipo de digestão ácida à qual a amostra será submetida é um fator determinante para a liberação dos elementos químicos presentes na mesma. Assim, este trabalho ainda apresenta para os dois contextos geológicos estudados, uma comparação entre as faixas de *background*, obtidas nas distribuições dos

resultados das análises nas alíquotas contendo a fração granulométrica entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm), realizada nos laboratórios do SGB-PRM e do CGS Tabela 21 a Tabela 24.

Figura 41- Distribuições, através dos gráficos *boxplot*, dos teores obtidos de U, Pb, Mg e Sn nas três frações granulométricas submetidas à rotina analítica do SGB-CPRM e identificação das faixas de *background*, nos dois contextos geológicos estudados



Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

As estimativas das faixas de *background*, foram realizadas nas duas técnicas estatísticas mais utilizadas para estes fins na literatura, o *boxplot* e o *MAD* (REIMANN *et al.*, 2005, 2008; SALOMÃO, 2020; SALOMÃO *et al.*, 2018; MATSCHULLAT *et al.* 2000; REIMANN; GARRETT, 2005). Os resultados são apresentados agrupados por metodologia analítica utilizada, por técnica estatística de estimativa das faixas de *background* e pelo ambiente de amostragem. Assim a Tabela 21 mostra para a região dos metassedimentos Paleoproterozoicos (Área A) os limites obtidos através das duas técnicas, aplicadas às distribuições de teores nas três frações granulométricas estudadas, nas rotina analítica utilizada

pelo SGB-CPRM, enquanto que na Tabela 22, são encontrados os limites das faixas de *background* obtidas através dos resultados da rotina analítica utilizada pelo CGS na fração entre 10 e 60 *mesh* (entre 2 e 0,25 mm).

Tabela 21- Resultado dos cálculos de limite inferior (Li) e limite superior (Ls) da faixa de *background*, realizados através do *boxplot* e do *MAD* para o domínio dos metassedimentos Paleoproterozoicos (continua)

Faixas de <i>Background</i> nas Três Frações Granulométricas- Rotina analítica do SGB-CPRM - AREA A												
Elemento	fração 10 - 60 <i>mesh</i>				fração menor que 80 <i>mesh</i>				fração menor que 120 <i>mesh</i>			
	<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>		<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>		<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>	
	Li	LS	Li	LS	Li	LS	Li	LS	Li	LS	Li	LS
Ag	0,01	0,32	0,01	0,320	0,01	0,23	0,02	0,23	0,01	2,24	0,02	0,89
Al	0,03	1,44	0,03	0,68	0,01	1,37	0,07	1,37	0,09	1,8	0,12	1,80
As	1	1	1	1	1	2,83	1	1	1	10	1	10
Au	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ba	5	89,73	5	47,08	5	212,0	5,39	116,01	5	246,18	6,45	334,0
Be	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,28	0,1	0,1	0,1	0,90	0,1	0,78
Bi	0,02	0,18	0,02	0,16	0,02	0,22	0,02	0,14	0,02	0,21	0,02	0,21
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,080	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01	0,07
Cd	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,028	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
Ce	1,62	40,11	1,62	20,46	3,85	79,39	4,22	49,25	5,95	78,33	6,71	116,7
Co	0,10	4,58	0,10	1,00	0,30	3,47	0,30	2,67	0,10	11,51	0,12	12,50
Cr	2,00	18,79	2,00	9,37	4,00	28,44	4,05	19,98	2,00	54,50	2,00	32,16
Cs	0,05	0,44	0,05	0,10	0,05	0,33	0,05	0,29	0,05	0,45	0,05	0,45
Cu	0,70	10,90	0,70	4,99	2,23	12,66	3,15	9,78	0,80	24,98	0,85	13,99
Fe	0,52	2,71	0,52	1,97	0,39	4,49	0,39	2,84	0,28	8,84	0,28	11,63
Ga	0,24	4,70	0,24	2,01	0,40	9,16	0,43	3,93	0,50	9,80	0,50	7,01
Ge	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Hf	0,05	0,60	0,05	0,60	0,05	1,02	0,05	0,39	0,05	1,33	0,05	0,737
Hg	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,030	0,01	0,030	0,01	0,040	0,01	0,040
In	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
K	0,01	0,11	0,01	0,04	0,01	0,11	0,01	0,11	0,02	0,15	0,02	0,14
La	0,90	12,08	0,90	6,55	1,90	32,17	1,90	19,24	3,00	30,64	3,00	20,47
Li	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3,00
Lu	0,01	0,16	0,01	0,08	0,01	0,16	0,01	0,102	0,01	0,198	0,01	0,48
Mg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,15	0,01	0,078	0,01	0,160	0,01	0,08
Mn	47,24	121,09	47,24	102,24	27,0	171,2	35,35	132,74	13,00	336,00	13,00	336,0
Mo	0,21	0,61	0,21	0,53	0,35	1,25	0,38	1,06	0,08	1,09	0,10	1,30
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Nb	0,09	1,09	0,09	0,48	0,05	8,77	0,05	2,82	0,05	4,55	0,05	15,33
Ni	0,60	5,57	0,60	4,39	0,90	10,79	0,95	6,61	0,54	8,14	0,81	5,16
P	50	267,29	50	25,00	50	591,0	50	365,32	50	476,99	31,74	594,0
Pb	0,50	5,09	0,50	3,20	1,20	9,70	1,20	5,17	0,90	12,90	0,96	12,90
Rb	0,31	7,10	0,31	7,10	0,30	8,80	0,67	8,80	0,60	10,10	0,69	10,10
S	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03
Sb	0,05	0,50	0,05	0,50	0,05	0,36	0,03	0,19	0,05	0,58	0,05	0,41
Se	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sn	0,3	0,80	0,3	0,15	0,40	1,30	0,44	1,10	0,3	1,62	0,3	1,90
Sr	0,25	9,70	0,25	9,70	1,17	10,70	1,63	9,81	0,59	9,20	0,95	9,20
Tb	0,02	0,27	0,02	0,13	0,04	0,34	0,04	0,24	0,04	0,35	0,05	1,30
Te	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sc	0,11	3,76	0,11	2,27	0,1	9,22	0,1	5,09	0,20	12,73	0,20	5,66

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Os valores em negrito foram obtidos através dos cálculos dos limiares, enquanto que os demais, correspondem aos teores máximo e mínimo das distribuições.

Tabela 21 - Resultado dos cálculos de limite inferior (Li) e limite superior (Ls) da faixa de *background*, realizados através do *boxplot* e do *MAD* para o domínio dos metassedimentos Paleoproterozoicos (conclusão)

Faixas de <i>Background</i> nas Três Frações Granulométricas- Rotina analítica do SGB-CPRM - AREA A												
Elemento	fração 10 - 60 <i>mesh</i>				fração menor que 80 <i>mesh</i>				fração menor que 120 <i>mesh</i>			
	<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>		<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>		<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>	
	Li	LS	Li	LS	Li	LS	Li	LS	Li	LS	Li	LS
Th	0,22	8,11	0,22	3,69	0,30	8,33	0,44	5,15	0,40	8,35	0,53	26,20
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
Tl	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,04	0,02	0,05	0,02	0,05
U	0,07	1,42	0,07	0,67	0,07	2,07	0,08	1,32	0,09	1,88	0,15	1,18
V	1	215,00	1	107,5	2,00	186,1	2,00	51,27	2,00	179,2	2,08	246,0
W	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Y	0,27	5,22	0,27	3,22	0,50	6,21	0,50	4,80	0,58	11,18	0,77	60,27
Yb	0,1	0,28	0,1	0,05	0,1	0,57	0,1	1,56	0,1	0,82	0,1	3,50
Zn	1	16,00	1	7,78	1	13,17	1	9,96	1	50,00	1	31,12
Zr	0,5	10,74	0,5	0,5	0,5	56,80	0,5	10,87	0,5	62,60	0,5	62,60

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Os valores em negrito foram obtidos através dos cálculos dos limiares, enquanto que os demais, correspondem aos teores máximo e mínimo das distribuições.

Tabela 22- Resultado dos cálculos de limite inferior (Li) e limite superior (Ls) da faixa de *background*, realizados através do *boxplot* e do desvio absoluto da mediana (*MAD*) para o ambiente metassedimentar Paleoproterozoico

Faixas de <i>Background</i> – Rotina analítica do CGS - ÁREA A – fração entre 10 e 60 <i>mesh</i>									
Elementos	<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>		Elementos	<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>	
	Li	LS	Li	LS		Li	LS	Li	LS
Ag	0,02	0,06	0,03	0,04	Mo	0,05	0,82	0,09	0,35
Al ₂ O ₃	0,59	7,45	1,49	3,99	Na ₂ O	0,03	0,13	0,05	0,08
As	0,10	9,84	0,27	1,80	Nb	0,88	35,35	1,02	9,09
Au	0,19	4,69	0,54	1,72	Ni	0,18	7,21	0,64	2,48
B	4,85	46,14	8,91	22,63	P	30,34	366,91	53,63	152,72
Ba	8,95	632,43	25,26	143,25	Pb	1,36	15,44	3,35	8,45
Be	0,06	1,19	0,15	0,47	Rb	4,89	44,37	6,05	19,65
Bi	0,01	0,06	0,02	0,03	S	25,00	355,58	25,00	206,78
CaO	0,02	0,11	0,02	0,06	Sb	0,03	0,50	0,05	0,16
Cd	0,01	0,10	0,01	0,21	Se	0,03	0,70	0,05	0,16
Ce	5,79	62,79	8,37	23,79	SiO ₂	75,46	98,66	82,65	93,74
Cl	10,00	100,30	19,05	63,21	Sn	0,50	3,77	0,77	1,82
Co	0,10	7,08	0,38	1,82	Sr	1,18	30,29	2,63	7,19
Cr	0,75	62,46	1,57	11,38	Ta	0,05	1,60	0,08	0,33
Cu	0,30	28,03	1,38	6,50	Th	0,50	12,26	1,15	3,12
F	15,37	370,76	75,12	222,33	Ti	262,00	5616,81	385,67	1691,56
Fe ₂ O ₃	0,08	11,48	0,21	1,82	Tl	0,03	0,24	0,03	0,17
Ga	0,61	10,94	1,52	4,32	U	0,24	4,68	0,28	0,91
Hg	0,01	0,04	0,01	0,02	V	1,50	304,00	3,57	43,83
K ₂ O	0,06	1,36	0,18	0,58	W	0,01	3,75	0,07	0,63
Li	0,38	4,99	0,85	2,15	Zn	1,13	23,15	3,40	9,97
MgO	0,02	0,47	0,06	0,17	Zr	43,00	246,30	49,55	117,19
Mn	3,06	277,40	6,24	61,12					

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Os valores em negrito foram obtidos através dos cálculos, enquanto que os demais são os teores máximo e mínimo das distribuições.

Os resultados obtidos para estimativa das faixas de *background* realizada através das alíquotas das amostras coletadas no ambiente dos ortognaisses Arqueanos (Área B) e analisados

através da rotina utilizada pelo SGB-CPRM, podem ser visto na Tabela 23, já as informações referentes às distribuições dos teores encontrados nas análises na rotina do CGS, podem ser encontradas na Tabela 24.

Tabela 23- Resultado dos cálculos de limiar inferior (Li) e limiar superior (Ls) da faixa de *background*, realizados através do *boxplot* e do desvio absoluto da mediana (*MAD*) para as amostras coletadas no domínio dos ortognaisses Arqueanos (continua)

Faixas de <i>Background</i> nas Três Frações Granulométricas - Rotina analítica do SGB-CPRM - AREA B												
Elemento	Entre 10-60 <i>mesh</i>				menor que 80 <i>mesh</i>				menor que 120 <i>mesh</i>			
	<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>		<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>		<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>	
	Li	Ls	Li	Ls	Li	Ls	Li	Ls	Li	Ls	Li	Ls
Ag	0,01	0,51	0,01	0,51	0,10	0,65	0,08	0,65	0,19	1,08	0,18	0,76
Al	0,16	1,58	0,13	1,58	0,42	2,38	0,36	2,38	0,46	2,29	0,39	2,29
As	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2,83	1	1
Au	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ba	10,0	107	8,74	77,37	15,42	105	13,37	105	16,74	109,0	14,00	109,0
Be	0,22	3,04	0,18	2,00	0,45	5,1	0,42	4,01	0,42	6,70	0,40	5,48
Bi	0,03	2,27	0,03	0,98	0,04	3,75	0,04	0,55	0,04	4,79	0,04	0,80
Ca	0,01	0,18	0,01	0,18	0,03	0,36	0,03	0,27	0,03	0,38	0,03	0,33
Cd	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,11	0,01	0,11	0,01	0,09	0,01	0,07
Ce	20,8	206,0	17,04	206,0	67,41	323,7	53,64	316,6	76,47	347,4	61,16	343,0
Co	0,36	12,77	0,3	6,92	0,70	14,6	0,6	14,6	0,70	15,10	0,62	15,10
Cr	3	63	3	63	4	49	4	49	2,25	52,00	2,00	52,00
Cs	0,13	1,19	0,10	0,86	0,22	3,15	0,19	2,06	0,27	3,80	0,23	2,46
Cu	1,18	14,5	1,1	10,84	2,7	25,4	2,7	18,65	2,00	24,10	2,00	22,08
Fe	0,73	3,12	0,66	3,12	0,88	5,70	0,74	4,44	0,76	6,68	0,75	4,69
Ga	0,62	8,6	0,63	6,99	1,60	12,9	1,32	12,9	2,08	13,80	1,89	13,80
Ge	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Hf	0,05	0,27	0,05	0,19	0,07	0,38	0,06	0,28	0,07	0,28	0,06	0,23
Hg	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05
In	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,08	0,02	0,08	0,02	0,08	0,02	0,08
K	0,05	0,22	0,05	0,16	0,07	0,55	0,06	0,47	0,07	0,54	0,07	0,41
La	7,1	106,5	7,1	106,5	34,25	200,2	23,99	193,3	30,07	234,5	29,36	177,5
Li	1	2,83	1	1	1	11	1	11	1	11,00	1	11,00
Lu	0,05	0,78	0,04	0,78	0,15	1,58	0,12	1,42	0,14	1,88	0,12	1,67
Mg	0,02	0,17	0,01	0,13	0,03	0,50	0,03	0,30	0,04	0,48	0,04	0,33
Mn	59	430	59	338,2	70,37	724	60,26	599,0	63,00	802,0	63,00	625,6
Mo	0,35	2,15	0,33	1,92	0,50	3,78	0,46	2,63	0,37	3,88	0,34	3,80
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Nb	1,40	6,25	1,06	5,91	1,72	8	1,55	7,45	1,74	8,92	1,55	7,57
Ni	0,80	16,3	0,73	13,24	1,02	23,9	0,93	22,87	0,92	24,60	0,80	24,60
P	39,57	313	37,54	225,4	97,42	562,2	80,87	455,8	98,43	609,3	89,29	439,0
Pb	3,25	18,87	2,96	13,84	5,58	23,6	5,20	20,00	6,39	26,30	5,67	23,34
Rb	6,55	70,7	5,73	48,05	13,71	136,9	11,70	93,63	17,51	135,8	14,36	102,6
‘	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01	0,08	0,01	0,08
Sb	0,05	0,2	0,05	0,03	0,05	0,32	0,05	0,32	0,05	0,33	0,05	0,33
Sc	0,42	4,6	0,31	4,6	0,71	6	0,63	6	0,82	6,80	0,78	6,80
Se	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sn	0,63	5,4	0,68	3,76	1,98	8,64	1,81	6,78	1,79	10,40	1,68	8,57
Sr	1,38	11,2	1,16	11,2	4,39	19,01	4,13	14,36	2,91	18,90	2,70	16,61
Tb	0,19	2,3	0,16	2,20	0,48	4,37	0,40	4,37	0,63	5,08	0,51	4,33

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Os valores em negrito foram obtidos através dos cálculos, enquanto que os demais são os teores máximo e mínimo das distribuições.

Tabela 23 - Resultado dos cálculos de limiar inferior (Li) e limiar superior (Ls) da faixa de *background*, realizados através do *boxplot* e do desvio absoluto da mediana (*MAD*) para as amostras coletadas no domínio dos ortognaisses Arqueanos (conclusão)

Limites da Faixa de <i>Background</i> nas Três Frações Granulométricas - Rotina analítica do SGB-CPRM - AREA B												
Elemento	Entre 10-60 <i>mesh</i>				menor que 80 <i>mesh</i>				menor que 120 <i>mesh</i>			
	<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>		<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>		<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>	
	Li	Ls	Li	Ls	Li	Ls	Li	Ls	Li	Ls	Li	Ls
Tb	0,19	2,3	0,16	2,20	0,48	4,37	0,40	4,37	0,63	5,08	0,51	4,33
Te	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Th	3,63	32,3	3,02	32,3	8,43	51,1	8,03	51,1	11,70	58,20	11,18	52,84
Ti	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,08	0,01	0,07	0,02	0,06	0,01	0,07
Tl	0,04	0,42	0,03	0,29	0,08	0,72	0,06	0,54	0,09	0,90	0,07	0,67
U	1,38	14,93	1,27	11,25	3,09	25,13	3,01	20,56	3,94	28,47	3,29	21,68
V	1,73	38	1,02	38	3,27	49	2,83	49	3,94	51,00	3,30	51,00
W	0,13	1,13	0,09	1,00	0,1	1,98	0,1	1,00	0,10	1,98	0,10	1,00
Y	4,58	70,58	3,81	70,53	14,40	155,5	12,22	106,6	13,82	175,4	14,94	107,1
Yb	0,38	5,7	0,37	5,35	1,07	11,6	0,90	9,98	1,01	13,60	0,80	12,75
Zn	2,41	36	2	32,24	6	69,54	6	46,71	8,12	73,54	7,50	48,16
Zr	0,5	4,8	0,5	4,8	0,5	34,4	0,5	14,83	0,5	40,80	0,5	3,90

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Os valores em negrito foram obtidos através dos cálculos, enquanto que os demais são os teores máximo e mínimo das distribuições.

Tabela 24- Resultado dos cálculos de limite inferior (Li) e limite superior (Ls) da faixa de *background*, realizados através do *boxplot* e do desvio absoluto da mediana (*MAD*) para o domínio dos ortognaisses Arqueanos

Faixas de <i>Background</i> – Rotina analítica do CGS - ÁREA B – fração entre 10 e 60 <i>mesh</i>									
Elemento	<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>		Elemento	<i>Boxplot</i>		<i>MAD</i>	
	Li	Ls	Li	Ls		Li	Ls	Li	Ls
Ag	0,02	0,07	0,021	0,084	Mo	0,33	2,69	0,518	1,330
Al ₂ O ₃	2,94	14,48	2,940	14,480	Na ₂ O	0,18	2,82	0,177	1,659
As	0,10	7,80	0,197	1,851	Nb	8,95	92,96	8,950	92,960
Au	0,07	3,85	0,201	1,488	Ni	0,20	21,08	0,482	21,080
B	2,23	171,20	2,230	171,203	P	81,63	479,56	57,628	518,300
Ba	67,96	726,10	44,180	726,100	Pb	10,53	66,88	10,527	90,604
Be	0,73	12,18	0,806	3,378	Rb	36,94	180,00	36,940	180,000
Bi	0,03	1,59	0,025	2,956	S	25,00	398,20	25,000	398,200
CaO	0,04	0,52	0,040	0,521	Sb	0,03	0,29	0,025	0,290
Cd	0,03	0,03	0,010	0,070	Se	0,03	0,45	0,030	0,450
Ce	19,91	511,00	19,905	511,000	SiO ₂	63,18	92,19	47,077	92,190
Cl	12,20	140,20	10,000	140,200	Sn	1,54	52,98	1,540	86,309
Co	0,41	12,62	0,672	7,711	Sr	5,15	39,76	3,833	39,759
Cr	1,84	61,06	1,840	61,060	Ta	0,70	8,36	0,715	5,964
Cu	1,03	19,90	0,950	21,950	Th	6,07	86,97	6,068	86,971
F	103,90	550,39	91,000	550,394	Ti	251,30	5131,90	251,300	5131,900
Fe ₂ O ₃	0,25	4,30	0,775	3,535	Tl	0,22	0,81	0,220	0,810
Ga	4,61	24,29	4,614	24,290	U	2,22	18,55	2,217	18,553
Hg	0,01	0,04	0,008	0,043	V	1,99	48,78	1,500	48,780
K ₂ O	1,05	5,03	1,050	5,030	W	0,45	8,27	0,638	2,668
Li	0,68	7,43	0,671	7,779	Zn	5,27	47,69	5,010	48,965
MgO	0,05	0,72	0,030	2,352	Zr	83,10	721,70	83,100	721,700
Mn	23,81	411,80	23,810	411,800					

Fonte: OLIVEIRA NETO, 2023.

Nota: Os valores em negrito foram obtidos através dos cálculos, enquanto que os demais são os teores máximo e mínimo das distribuições.

8 CONCLUSÕES

No presente estudo foi possível observar e determinar os principais agentes que controlam a disponibilidade e distribuição dos elementos químicos nas diferentes frações granulométricas presentes nos sedimentos de corrente, considerando o ambiente de coleta. Foi possível reconhecer que a rocha parental é o principal fator de controle da disponibilidade e distribuição dos elementos químicos nas amostras de sedimento ativo de corrente das áreas estudadas.

Durante a comparação entre os resultados obtidos para as três frações granulométricas analisadas, foi possível observar que a maior parte dos elementos químicos estudados apresentam uma clara tendência de aumento dos teores à medida que se analisa frações granulométricas mais finas. Este efeito decorre da progressiva diminuição dos conteúdos de quartzo e minerais primários inertes à metodologia de digestão ácida utilizada neste estudo e, como consequência, da diminuição do efeito de diluição ocasionado pela composição química desses minerais e aumento dos teores obtidos nas análises realizadas nas frações granulométricas mais finas. Ressaltando ainda a participação desses elementos na composição de argilominerais, e adsorvidos em argilas e em oxi hidróxidos de Fe.

Também foi possível perceber que os elementos Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Mo, Sr e Sn, contrariam o demonstrado anteriormente, pois não seguem o comportamento de diminuição de suas concentrações, à medida que se analisa frações granulométricas mais finas, principalmente quando se compara as frações granulométricas menor que 80 e 120 *mesh* (0,177 e 0,125 mm), indicando que os mesmos podem estar associados a minerais primários na fração areia e silte que foram disponibilizados pela extração ácida aliada à pulverização e aumento da superfície específica. Tais informações nos sugerem que, dentre as frações granulométricas estudadas, a fração menor que 80 *mesh* (0,177 mm), é a mais adequada para estudos de dispersão destes elementos, principalmente em levantamento que cobrem ambientes geológicos diversificados. As análises em frações granulométricas ainda menores (menor que 120 *mesh*) apresentaram diminuição considerável dos teores, em relação aos obtidos na fração menor que 80 *mesh* (0,177 mm), sugerindo que a fase mineral que contém estes elementos citados, e que foi digerida pela água régia, está preferencialmente contida em sedimentos nas frações maiores que 120 *mesh* (0,125 mm), dentre as frações granulométricas estudadas.

Através da comparação entre os resultados, foi possível conhecer a relação entre as informações geradas e o ambiente em que ocorrem, evidenciando a sua relação com o conteúdo

mineral presente nos sedimentos de corrente, que é controlado principalmente pelo substrato geológico presente na área de influência da estação de amostragem (bacias de amostragem).

Foram definidas através do *boxplot* e dos cálculos do desvio absoluto da mediana (*MAD*) as faixas de *background*, para todos os elementos avaliados nos dois ambientes estudados (Áreas A e B), possibilitando comprovar as variações das faixas de *background* em relação ao ambiente amostrado e a metodologia amostral empregada. Tal procedimento permite que as faixas de concentração dos elementos químicos determinadas, sejam utilizadas como valores referências para futuros estudos prospectivos e ambientais na região e como parâmetro para estudos em ambientes geológicos semelhantes.

O estudo também mostra que a metodologia utilizada pode ter forte influência na determinação das faixas de *background* geoquímico. Foi possível observar que tanto a metodologia amostral, avaliada através das três frações granulométricas, quanto a metodologia analítica, avaliada através dos resultados da fração granulométrica entre 10 e 60 mesh, quando analisadas pelas metodologias analíticas adotadas pelo SGB-CPRM e pelo CGS, e até a abordagem estatística adotada, quando se compara os resultados obtidos para o *boxplot* e para o *MAD* nas mesmas frações granulométricas, vemos diferenças significativas no resultado final da determinação das faixas de *background*.

O estudo conclui e corrobora com o apresentado na literatura sobre o tema, que amostras de sedimento de corrente são adequadas para caracterização geoquímica de ambientes superficiais, contribuindo também para o aumento do conhecimento relacionado aos recursos minerais e possibilitando uma maior probabilidade de identificação de áreas alvo, que podem ser posteriormente exploradas para a localização de novas zonas mineralizadas. Além disso, o sedimento de corrente se mostra uma excelente matriz geológica para caracterização ambiental, no entanto, é também bastante difundido na literatura o uso da granulometria menor que 80 *mesh* para as pesquisas de mapeamento e prospecção geoquímica. A presente pesquisa mostra que, de modo geral, realmente esta fração é a mais indicada para mapeamentos geoquímicos multielementares, uma vez que é a que mostra melhor possibilidade em detectar os diversos elementos químicos, contudo para pesquisas de cunho prospectivo específico, estudos orientativos preliminares devem ser realizados a fim de determinar a fração granulométrica que o elemento de interesse será melhor avaliado.

Este estudo apresentou uma etapa extremamente importante para um projeto de levantamento geoquímico: o estudo orientativo. Seja com conotação para recursos minerais, seja para estudos ambientais, os estudos orientativos têm sua importância ditada por contribuir para estabelecer quais as técnicas de amostragem, analíticas e de processamento de dados mais

adequadas para a situação particular a ser pesquisada, levando em consideração as características específicas da região estudada.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ANDER, E. L.; JOHNSON, C. C.; CAVE, M. R.; PALUMBO-ROE, B.; NATHANAIL, C. P.; LARK, R. M. Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil. **Science of the Total Environment**, v. 454–455, p. 604–618, Mar. 2013. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.03.005
- APPLETON, J. D.; RIDGWAY, J. Regional geochemical mapping in developing countries and its application to environmental studies. **Applied Geochemistry Supplies**, Gran Betanha, v. 2, p. 103-110, 1992.
- BABINSKI, M.; PEDREIRA, A.; BRITO-NEVES, B. B.; VAN-SCHMUS, W. R. Contribuição à geocronologia da Chapada Diamantina. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7., 1999, Lençóis - BA. **Anais [...]** Lençóis: SBG, 1999. p. 118-121.
- BAIZE, D.; STERCKEMAN, T. of the necessity of knowledge of the natural pedogeochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. **Science of the Total Environment**, v. 264, n. 1-2, p. 127–139, 2001. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00615-X.
- BARBOSA, J. S. F. (coord.). **Geologia da Bahia: pesquisa e atualização**. Salvador: CBPM, 2012. 2 v. (Série Publicações Especiais, 13).
- BARBOSA, J. S. F.; LUCIANO, R. L.; CRUZ FILHO, B. E.; SANTANA, J. S.; MORAES, A. M. V.; MASCARENHAS, J. F. **Mapa tectônico – geocronológico do estado da Bahia: implicações metalogenéticas**. Salvador: CPRM; CBPM, 2021. (Série Publicações Especiais, 24). Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21804>. Acesso em: 19 set. 2022.
- BEESON, R. The use of the fine fractions of stream sediment in geochemical exploration in arid e semi-arid terrains. **Journal geochemistry exploration**, Amsterdam, v. 22, p. 119-132, Set 1984.
- BIDONE, E. D. **Les indices d'uranium du Pliocene continental de la region nord occidentale du bassin neogene du Roussillon dans leur cadre sedimentologique**. 1980. 225 f. Tese (Doctorat) - Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 1980.
- BOLUCEK, C. A.; KALENDER L. Drainage sediment geochemical orientation study Keban, **The Arabian Journal for science and Engineering Elazig**, Turquia, v. 34, n. 1, Jan. 2009.
- BRIM, R. P. **Estudos orientativos - uma filosofia e uma sugestão para sua aplicação**. [S. l.]: CPRM, 1980. v. 1
- CANNON, W. F.; WOODRUFF, L. G.; PIMLEY, S. Some statistical relationships between stream sediment and soil geochemistry in northwestern Wisconsin. Can stream sediment

compositions be used to predict compositions of soils in glaciated terranes. **Journal Geochemical Exploration**, v. 81, p. 29-46, 2004.

CAMPOS, L. D. **O depósito de Au-Cu Lavra Velha, Chapada Diamantina Ocidental**: um exemplo de depósito da classe IOCG associado aos terrenos Paleoproterozoicos do bloco Gavião. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CLARKE, F. W.; WASHINGTON, H. S. The composition of the Earth's crust. **USGS**, Washington, Artigo profissional n. 127, 1924.

COHEN, D. R.; SILVA-SANTISTEBAN, C. M.; RUTHERFORD, N. F.; GARNETT, H. M.; WALDRON, H. M. Comparison of vegetation and stream sediment geochemical patterns in northeastern New South Wales. **Journal Geochemical Exploration**, v. 66, p. 469-489, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(99\)00042-4](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(99)00042-4). Acesso em: 20 Jul. 2021

CONNOR, J. J.; KEITH, J. R.; ANDERSON, B. M. Trace-metal variation in soils and sagebrush in the Powder River Basin. **Journal of Research of the United States Geological Survey**, Wyoming and Montana, v. 4, p. 49–59, 1976.

CRUZ, S. C. P.; ALKMIM, F. F. A interação tectônica entre o Aulacógeno do Paramirim e o Orógeno Araçuaí-oeste Congo. *In*: SIMPOSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 3., 2005, Salvador - BA. **Anais [...]** Salvador: CBPM, 2005. p. 215-218.

CRUZ, S. C. P.; CARNEIRO, M. A.; BARBOSA, J. S. F.; MARTINS, A. A. M.; SANTANA, J. S.; TEIXEIRA, L.; GONÇALVES, G. S. S. T.; LEAL, A. B. M.; DANTAS, E.; PIMENTE, M. Idades U-Pb (LA-ICPMS) para as suítes Caraguataí e Jussiape, Bloco Gavião, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 1, p. 120-129, 2011.

CRUZ, S. C. P.; DIAS, V. M.; ALKMIN, F. F. A interação tectônica embasamento / cobertura em aulacógenos invertidos: um exemplo da Chapada Diamantina Ocidental. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4 - Suplemento, p. 111-127, dez. 2007.

CRUZ, S. C. P.; PEUCAT, J.-J.; TEIXEIRA, L.; CARNEIRO, M. A.; MARTINS, A. A. M.; SANTANA, J. S.; SOUZA, J. S.; BARBOSA, J. S. F.; LEAL, A. B. M.; DANTAS, E.; PIMENTEL, M. The Caraguataí syenitic suite, a ca. 2.7 Ga-old alkaline magmatism (petrology, geochemistry and UePb zircon ages): Southern Gavião block (São Francisco Craton), Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 37, p. 95-112, aug. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.11.006>.

CUNHA, J. C.; MARINHO, M. M.; SABATÉ, P. The oldest rocks of South America (3.4 and 1,9 Ga): Granite-Greenstone and Granulitic Terranes of the São Francisco Craton in the State of Bahia, Northeastern Brazil. *In*: INTERNACIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: CBPM, 2000.

DARNLEY, A. G. International geochemical mapping: it new I : 3 000 000 Commission for the Geoglobal project. **Journal Geochemical Exploration**, v. 34, p. 1-14, 1990.

DARNLEY, A. G.; BJIRKLUND, A.; BELVIKEN, B.; GUSTAVSSON, N.; KOVAL, P. V.; PLANT, J. A.; STEENFELT, A.; TAUCHID, M.; XUEJING, X.; XIE, X. 1995. A Global **Geochemical Database for Environmental and Resource Management**.

Recommendations for International Geochemical Mapping – Final Report of IGCP, Projeto 259, 1995.

DEMETRIADES, A. Geochemical Mapping. **Encyclopedia of Geology**, v. 2, p. 267-280, dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00059-X>. Acesso em: 05 nov. 2020

EYNATTEN, H. V.; DELGADO, R. T. Geochemistry versus grain-size relations of sediments in the light of comminution, chemical alteration, and contrasting source rocks. **Codawork 11**. Girona, may. 2011

FETH, J. H.; ROBERSON, C. E.; POLZER, W. L. **Sources of mineral constituents in water from granitic rocks Sierra Nevada, California and Nevada**. Washington, DC: U. S. Government Printing Office, 1964. 170 p. (Geological Survey Water-Supply Paper, n. 1535).

GAŁUSZKA, A. Different approaches in using and understanding the term “Geochemical background” - Practical implications for environmental studies. **Journal of Environmental Studies**, v. 16, p. 389–395, 2007.

GAŁUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z. M. Geochemical background - an environmental perspective. **Mineralogia**, v. 42, p. 7–17, 2012. DOI: 10.2478/v10002-011-0002-y.

GAŁUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z. M.; ZALASIEWICZ, J. Assessing the Anthropocene with geochemical methods. **Geological Society of London**, v. 395, p. 221–238, 2014. DOI: 10.1144/SP395.5

GARRELS, R. M.; MACKENZIE, R. T. Origin of the chemical composition of some springs and lakes. Equilibrium Concepts in Natural Water Systems, **American Chemical Society**, Washington, p. 222-242, 1967.

GARRET, R. G. Why minus 80 *mesh*?, **Explore**, n. 185, dez. 2019. Disponível em: www.appliedgeochemist.org. Acesso em: 10 out. 2020.

GOLDSCHMIDT, V. M. The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks. **Journal of Chemical Society**, p.655-673, 1937.

GOUGH, L. P.; CROCK, J. G. Distinguishing between natural geologic and anthropogenic trace element sources, Denali National Park and Preserve. *In*: DUMOULIN, J. A.; GRAY, J. E. (ed.). **Geologic Studies in Alaska by the U.S. Geological Survey, 1995**. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey, 1997. p. 57-71. (Professional paper, 1574).

GOUGH, L. P.; ERDMAN, J. A. Baseline elemental concentrations for big sagebrush from Western U.S.A. **Journal of Range Management**, v. 36, n. 718, 1983. DOI: 10.2307/3898194

GUADAGNIN, F.; CHEMALE JR., F.; MAGALHÃES, A. J. C.; SANTANA, A.; DUSSIN, I.; TAKEHARA, L. Age constrains on crystal-tuff from the Espinhaço Supergroup: insight into the Paleoproterozoic to Mesoproterozoic intracratonic basin cycles of the Congo-São Francisco Craton. **Gondwana Research**, v. 27, n. 1, p. 363-376, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.10.009>.

GUIMARÃES, J. T. (org.). **Projeto Ibitiara - Rio de Contas**: estado da Bahia. Salvador: CPRM, 2005. 157 p., il. + 3 mapas anexos. Escala 1:200.000. Relatório interno.

GUIMARÃES, J. T.; SANTOS, R. A. S.; MELO, R. C. **Geologia da Chapada Diamantina Ocidental**. Salvador: CBPM/CPRM, 2008. 64 p. Projeto Ibitiara - Rio de Contas, n. 31.

HASSAN, A. M. The relation of stream sediment grain sizes and its geochemical composition: a case study from Wadi Himur Area. **Young Scientist**, Egypt, v. 12, n. 35, p. 121-129, dez. 2011. Disponível em: <https://moluch.ru/archive/35/4013/>. Acesso em: 20 out. 2020.

HAWKES, H. E. **Principles of geochemical prospecting**. Washington: USGS, 1957. 355 p.

HOROWITZ, A. J.; ELRICK, K. A. The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. **Applied Geochemistry**, v. 2, p. 437-451, 1987.

IBGE. **Bacias e divisões hidrográficas do Brasil 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/31653-bacias-e-divisoes-hidrograficas-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 19 set. 2021.

IBGE. **Censo demográfico 2010**: principais resultados - sinopse. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=destaques>. Acesso em: 10 set. 2021.

IBGE. **Cidades@**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba>. Acesso em: 10 set. 2021.

IBGE. **Divisão Territorial Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/23701-divisao-territorial-brasileira.html>. Acesso em: 17 set. 2021.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009a. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009b. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>. Acesso em: 9 set. 2021.

IBGE. **Manual técnico de vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-tecnico-da-vegetacao-brasileira.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

IBGE. **Mapa de solos da folha SD. 24 – Salvador**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

IBGE. **Mapa geomorfológico da folha SD.24 – Salvador**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Portal**. Brasília: INMET, 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 set. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **AR5 Climate Change 2014**: synthesis report summary for Policymakers. Genebra: IPCC, 2014. Disponível em:

http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf. Acesso em: 17 set. 2021.

JOHNSON, C. C.; BREWARD, E. L.; AULT, A. L. G-BASE: baseline geochemical mapping of Great Britain and Northern Ireland. **Geochemical Exploration Environment Anal.**, v. 5, n. 4, p. 347–357, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1144/1467-7873/05-070>. Acesso em: 30 nov. 2020

JOHNSON, C. C.; DEMETRIADES, A. Urban geochemical mapping: a review of case studies in this. In: JOHNSON, Christopher C.; DEMETRIADES, Alecos; LOCUTURA, Juan; OTTESEN, Rolf Tore (ed.). **MAPPING the Chemical Environment of Urban Areas**. [S. l.]: John Wiley & Sons Ltd, 2011. Cap. 2, p. 7–27. DOI: 10.1002/9780470670071.ch2

KAURANNE, K. **Regolith exploration geochemistry in arctic and temperate terrains**, Amsterdam: GJS Govett, Elsevier, 1992. 443 p. (Handbook of Exploration Geochemistry, v. 5).

KEITH, M. L.; DEGENS, E. T. Geochemical Indicators of Marine and Freshwater Sediments. In: ABELSON, P. H. (ed.). **Researches in Geochemistry**. New York: John Wiley and Sons, 1959. 511 p.

KENTUCKY ENERGY AND ENVIRONMENT CABINET. **Kentucky Guidance for Ambient Background Assessment**. 2004. Disponível em: <https://eec.ky.gov/EnvironmentalProtection/Waste/superfund/Pages/sfguidanceforms.aspx> Acesso em: 12 ago. 2022.

KEY, R. M.; DE WAELE, B.; LIYUNGU, A. K. A multi-element baseline geochemical database from the western extension of the Central African Copperbelt in north western Zambia. **Applied. Earth Science**, v. 113, p. 205–226, 2004.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BEK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, Jun. 2006.

LEVINSON, A. A. **Introduction to exploration geochemistry**. Calgary: Applied Publishing, 1974. 612 p.

LICHT, O. A. B.; MELLO, C. S. B.; SILVA, C. R. (ed.). **Prospecção geoquímica: depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás**. Rio de Janeiro: CPRM; Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2007. 788 p.

LICHT, O. A. B. Geochemical background – what a complex meaning has such a simple expression. **Geochimica Brasiliensis**, v. 34, n. 2, p. 161–175, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21715/GB2358-2812.2020342161>.

MAROUSI, Z.; ALIPOUR-ASLL, M.; GHAVAMI-RIABI, R. The effect of particle size distribution on the geochemistry of stream sediments and heavy minerals in the Kuh-Zar copper-gold mineralization. **Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches**, Damghan, v. 34, n. 71, p. 23–26, 2018.

MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN C. Geochemical background—can we calculate it? **Environmental Geology**, v. 39, p. 990–1000, 2000.

MCKNIGHT, T. L.; HESS, D. **Climate zones and types. physical geography: a landscape appreciation.** Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2000.

MEYER, W. T.; THEOBALD, P. K.; BLOOM, H. Stream sediment geochemistry In P J Hood (Editor), *Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores* Geological Survey of Canada. **Economic Geology Report**, v. 31, p. 411-434, 1979.

MIDLETOWN, G. V. Generation of the log-normal frequency distribution in sediments. **Topics in Mathematical Geology**, Nova York, p. 63-64, 1970

MOSS, A. J. The Physical Nature of common sandy and Pebbly deposits part 1. **American Journal of Science**, Berkshire, v. 260, p. 337-373, May 1962.

MOSS, A. J. The Physical Nature of common sandy and Pebbly deposits part 2. **American Journal of Science**, Berkshire, v. 261, p. 297-343, 1963.

MOSS, A. J. Bedload sediments. **Sedimentology**, Amsterdam, v. 18, p. 159-219, 1972.

MRVIĆ, V.; KOSTIĆ-KRAVLJANAC, L.; ZDRAVKOVIĆ, M.; KOKOVIĆ, N.; PEROVIĆ, V.; ČAKMAK, D.; NIKOLOSKI, M. Methods for assessment of background limit of Ni and Cr in soils of eastern Serbia. **Ratarstvo i povrtarstvo**, v. 48, p. 189–194, 2011.

NAKIĆ, Z.; POSAVEC, K.; BAČANI, A. A visual basic spreadsheet macro for geochemical background analysis. **Ground Water**, v. 45, p. 642–647, 2007. DOI: 10.1111/j.1745-6584.2007.00325.x

NAVAL FACILITIES ENGINEERING COMMAND – NAVFAC. **Guidance for environmental background analysis, v. 1, Soil.** Washington, 2002. (NFESC User's Guide: UG-2049-ENV).

NIETO, P.; CUSTODIO, E.; MANZANO, M. Baseline groundwater quality: a European approach. **Environmental Science & Policy**, v. 8, p. 399–409, 2005. DOI: 10.1016/j.envsci.2005.04.004

PALUMBO-ROE, B.; ANDER, L.; CAVE, M.; JOHNSON, C.; COOPER, M. Background concentrations in mineralised catchments in Northern Ireland: assessment of “pressures” on water bodies in fulfilment of Water Framework Directive objectives. In: YOUNG, M. E. (ed.). **Unearthed: impacts of the Tellus Surveys of the North of Ireland.** Dublin: Royal Irish Academy, 2016. p. 293–302. DOI: 10.3318/978-1-908996-88-6.ch23

PEDREIRA, A. J. **O Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina Centro-oriental, Bahia:** sedimentologia, estratigrafia e tectônica. 1994. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

PLANT, J. A.; RAISWELL, R. Principles of environmental geochemistry. In: THORNTON, I. (ed.). **Applied environmental geochemistry.** London: Academic Press, 1983. p. 1–38.

PLANT, J.; SMITH, D.; SMITH, B.; WILLIAMS, L. Environmental geochemistry at the global scale. **Applied Geochemistry**, v. 16, p. 1291–1308, 2001. DOI: 10.1016/S0883-2927(01)00036-

PORTIER, K. Statistical issues in assessing anthropogenic background for Arsenic. **Environmental Forensics**, v. 2, p. 155–160, 2001. DOI: 10.1006/enfo.2001.0051

RANASINGHE, P.N.; FERNANDO, G.W.A. R.; DISSANAYAKE, C. B.; RUPASINGHE, M. S. Stream sediment geochemistry of the Upper Mahaweli River Basin of Sri Lanka Geological and environmental significance. **Journal of Geochemical Explorer**, v. 99, p. 1-28, 2008.

REIMANN, C.; AYRAS, M.; CHEKUSHIN, V.; BOGATYREV, I.; BOYD, R.; DE CAARITAT, P.; DUTTER, R.; FINNE, T. E.; HALLERAKER, J. H.; JAGER, Ø.; KASHULINA, G.; LEHTO, O.; NISKAVAARA, H.; PAVLOV, V.; RÄISÄNEN, M. L.; STRAND, T.; VOLDEN, T. Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region. **Geological Survey of Norway**, 1998

REIMANN, C.; CARITAT, P. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: Regional geochemical surveys versus enrichment factors. **Science of the Total Environment**, v. 337, p. 91–107, 2005. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.06.011

REIMANN, C.; CARITA, T. P. Establishing geochemical background variation and threshold values for 59 elements in Australian surface soil. **Science of the Total Environment**, v. 578, p. 633–648, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.010

REIMANN, C.; FABIAN, K.; BIRKE, M.; FILZMOSE, P.; DEMETRIADES, A.; NÉGREL, P.; OORTS, K.; MATSCHULLAT, J.; DE CARITA, T. P.; ALBANESE, S.; ANDERSON, M.; BARITZ, R.; BATISTA, M. J.; BEL-IAN, A.; CICCHELLA, D.; VIVO, B.; DE VOS, W.; DINELLI, E.; ĐURIŠ, M.; DUSZA-DOBEK, A.; EGGEN, O. A.; EKLUND, M.; ERNSTEN, V.; FLIGHT, D. M. A.; FORRESTER, S.; FÜGEDI, U.; GILUCIS, A.; GOSAR, M.; GREGORAUSKIENE, V.; DE GROOT, W.; GULAN, A.; HALAMIĆ, J.; HASLINGER, E.; HAYOZ, P.; HOOGEWERFF, J.; HRVATOVIC, H.; HUSNJAK, S.; JÄHNE-KLINGBERG, F.; JANIK, L.; JORDAN, G.; KAMINARI, M.; KIRBY, J.; KLOS, V.; KWEĆKO, P.; KUTI, L.; LADENBERGER, A.; LIMA, A.; LOCUTURA, J.; LUCIVJANSKY, P.; MANN, A.; MACKOVYCH, D.; MCLAUGHLIN, M.; MALYUK, B. I.; MAQUIL, R.; MEULI, R. G.; MOL, G.; O'CONNOR, P.; OTTESEN, R. T.; PASNIECZNA, A.; PETERSELL, V.; PFLEIDERER, S.; POŇAVIĆ, M.; PRAZERES, C.; RADUSINOVIĆ, S.; RAUCH, U.; SALPETEUR, I.; SCANLON, R.; SCHEDL, A.; SCHEIB, A.; SCHOETERS, I.; ŠEFČIK, P.; SELLERSJÖ, E.; SLANINKA, I.; SORIANO-DISLA, J. M.; ŠORŠA, A.; SVRKOTA, R.; STAFILOV, T.; TARVAINEN, T.; TENDA VILOV, V.; VALERA, P.; VEROUG STRAETE, V.; VIDOJEVIĆ, D.; ZISSIMOS, A.; ZOMENI, Z.; SADEGHI, M. GEMAS: Establishing geochemical background and threshold for 53 chemical elements in European agricultural soil. **Applied Geochemistry**, v. 88, p. 302–318, 2018. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2017.01.021

REIMANN, C.; FILZMOSE, P.; GARRET, R.; DUTTER, R. **Statistical data analysis explained**. England: Wiley e Sons, Ltd. 2008. 343 p.

REIMANN, C.; FILZMOSE, P.; GARRET, R. G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. **Science of the total environment**, v. 346, p. 1-16. Fev. 2005.

REIMANN, C.; GARRETT, R. G. Geochemical background - Concept and reality. **Science of the Total Environment**, v. 350, p. 12–27, 2005. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.01.047

REIMANN, C. Geochemical mapping: technique or art? **Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis**, v. 5, p. 359–370, 2005. DOI: 10.1144/1467-7873/03-051

RICE, C. R. Trace-element concentrations in streambed sediment across the conterminous United States. **Environment Science Technology**, v. 33, p. 2499-2504, 1999.

ROSE, A.W.; HAWKES, H. E.; WEBB, J. S. **Geochemistry in Mineral Exploration**. 2. ed. Londres: Academic Press, 1979. 657 p.

SALMINEN, R.; BATISTA, M. J.; BIDOVEC, M.; DEMETRIADES, A.; VIVO, B.; VOS W.; DURIS, M.; GILUCIS, A.; GREGORAUSKIENE, V.; HALAMIC, J.; HEITZMANN, P.; LIMA, A.; JORDAN, G.; KLAVER, G.; KLEIN, P.; LIS, J.; LOCUTURA, J.; MARSINA, K.; MAZREKU, A.; O’CONNOR, P. J.; OLSSON, S. Å.; OTTESEN, R. T.; PETERSELL, V.; PLANT, J. A.; REEDER, S.; SALPETEUR, I.; SANDSTRÖM, H.; SIEWERS, U.; STEENFEL, T. A.; TARVAINEN, T. **FOREGS Geochemical Atlas of Europe, Part 1: Background Information, Methodology and Maps**. Espoo, Geological Survey of Finland, 2005. 526 p.

SALOMÃO, G. N.; DALL’AGNOL, R.; SAHOO, P.; FERREIRA-JÚNIOR, J.; SILVA, M.; SOUZA-FILHO, P.; BERRÊDO, J. F.; NASCIMENTO-JUNIOR, W.; COSTA, M. Geochemical distribution and threshold values determination of heavy metals in stream water in the sub-basins of Vermelho and Sororó rivers, Itacaiúnas River watershed, Eastern Amazon, Brazil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 32, p. 180–198, 2018. DOI: 10.21715/GB2358-2812.2018322180

SALOMÃO, G. N.; DALL’AGNOL, R.; ANGÉLICA, R. S.; FIGUEIREDO, M. A.; SAHOO, P. K.; MEDEIROS FILHO, C. A.; COSTA, M. F. Geochemical mapping and estimation of background concentrations in soils of Carajás mineral province, eastern Amazonian Craton, Brazil. **Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis**, v. 19, p. 431–447, 2019. DOI: 10.1144/geochem2018-066

SALOMÃO, G. N. **Mapeamento geoquímico da Bacia do Rio Itacaiúnas, província mineral de Carajás**: assinatura geoquímica dos blocos crustais e implicações para recursos minerais e meio ambiente. 2020. 210 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

SAHOO, P. K.; DALL’AGNOL, R.; SALOMÃO, G. N.; FERREIRA JÚNIOR, J. S.; SILVA, M. S.; COSTA, M. L.; ANGÉLICA, R. S.; MEDEIROS FILHO, C. A.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; COSTA, M. F.; GUILHERME, L. R. G.; SIQUEIRA, J. O. High-density regional scale geochemical mapping and background levels of potentially toxic elements in soils from Itacaiúnas River Basin, eastern Amazon. **Geoderma**, v. 376, p. 114-504, 2020. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114504

SANTOS, C. C. **Mobilidade de elementos químicos no perfil de solo e seu controle na prospecção geoquímica**: aplicação na região de Santa Maria da Vitória, BA. 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SANTOS, C. C.; OLIVEIRA NETO, W. L. **Mapeamento geoquímico da Folha Piatã**. Salvador: CPRM, 2023.

SCHOBENHAUS, C. As tafrogêneses superpostas Espinhaço e Santo Onofre, Estado da Bahia: revisão e novas propostas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 26, n. 4, p. 265-276, 1996.

SCHOBENHAUS, C.; HOPPE, A.; BAUMANN, A.; LORCK, A. Idade U/Pb do vulcanismo Rio dos Remédios, Chapada Diamantina, Bahia. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 38., 1994, Balneário Camboriú, SC. **Anais [...]** Balneário Camboriú: SBG, 1994. p. 397-399, v. 2.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality. **Biometrika**, Grã Betanha, n. 52, p. 591- 611, 1965.

SNALL, J.; LILJEFORS, T. Leachability of major elements from minerals in strong acids. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 71, n. 1, p. 1-12, 2000.

SUGUIO K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Blucher, 2003. 416 p.

SWIFT, D. J. P.; DUANE, D. B.; LUDWICK, J. C.; BOEMER, W. R. **Shelf Sediment Transport: a probability model**, Stroudsburg, Pa. [*S. l.*]: Downden, Hutchinson e Ross, 1959. p. 195-223.

TEIXEIRA, L. R. **Projeto Ibitiara - Rio de Contas: relatório temático de litogeoquímica**. Salvador: CPRM, 2005. 33 f. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Relatório interno.

TIDBALL, R. R.; EBENS, R. J. Regional geochemical baselines in soils of the Powder River Basin, Montana-Wyoming. *In: LAUDON, R. B. (ed.). Geology and energy resources of the powder river*. Casper, Wyoming: Wyoming Geological Association 28th Annual Field Conference Guidebook, 1976. p. 299–310.

TIDBALL, R. R.; ERDMAN, J. A.; EBENS, R. J. Geochemical baselines for sagebrush and soil. Powder River Basin, Montana-Wyoming (Open-File Report 74-250). *In: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Geochemical survey of the wester coal regions*. [*S. l.*: s. n.], 1974. p. 6-13.

TUKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis**. Massachusetts: Addison-Wesley, jan 1977. 688 p.

VISHER, G. S. Grain size distribution and deposicional processes. **Journal of sedimentary Research**, v. 39, n. 39, p. 1074-1106, Set. 1969.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY. **Model toxics control act regulation and statute**. United States of America, 2013. Disponível em: <https://ecology.wa.gov/SpillsCleanup/Contamination-cleanup/Rules-directing-our-cleanup-work/Model-Toxics-ControlAct>. Acesso em: 15 ago. 2022.

WEBB, J. S.; THOMPSON, M. Analytical requirements in exploration geochemistry. **Analytical Chemistry in the Exploration, Mining and Processing of Materials**, Joanesburgo, v. 49, p. 1507-1518, ago. 1976.

WEDEPOHL, K. H. **Handbook of geochemistry**. [*S. l.*]: Springer Verlag, 1969. 442 p.

WENTWORTH, C. K. Fundamental limits to the sizes of clastic grains. **Science**, Nova York, v. 77, p. 633-634, Jun. 1933.

WHITE, W. M. **Geochemistry**. Nova York: Wiley, 2005. 672 p.

WILCOXON, F. Individual Comparisons by Ranking Methods. **Biometrics Bulletin**, Nova York, v. 1, n. 6. p. 80-83, Dec. 1945.

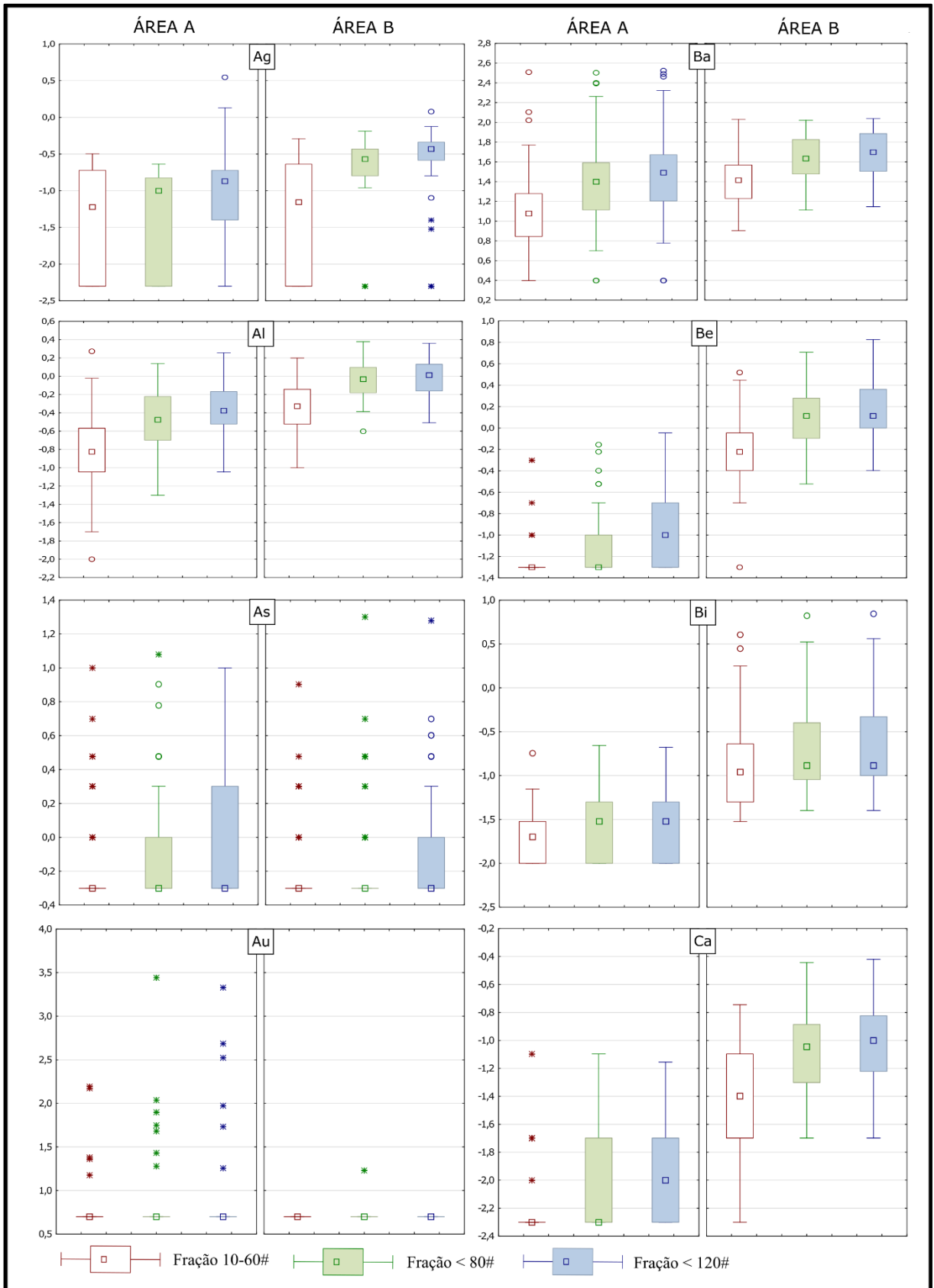
WU, K.; LIU, S.; SHI, X.; COLIN, C.; BASINNOT, F.; LOU, Z.; ZHANG, H.; ZU, A.; FANG, X.; MOHAED, C. A. R. The Effect of Size Distribution on the Geochemistry and Mineralogy of Tropical River Sediments and Its Implications regarding Chemical Weathering and Fractionation of Alkali Elements. **Lithosphere**, v. 2022, p. 20, Jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.2113/2022/8425818>. Acesso em: 30 out. 2022

YANG, F.; KONG, M.; XIE, S.; NIE, L.; SONG, Y.; WANG, C.; HAN, W.; CARRANZA, E. J. M.; WANG, Q.; GUO, Z. The Relationship between Particle Size and Element Distribution in Stream Sediments from the Dongyuan W-Mo Deposit, Eastern China. **Mineral**, v. 431, dez 2022.

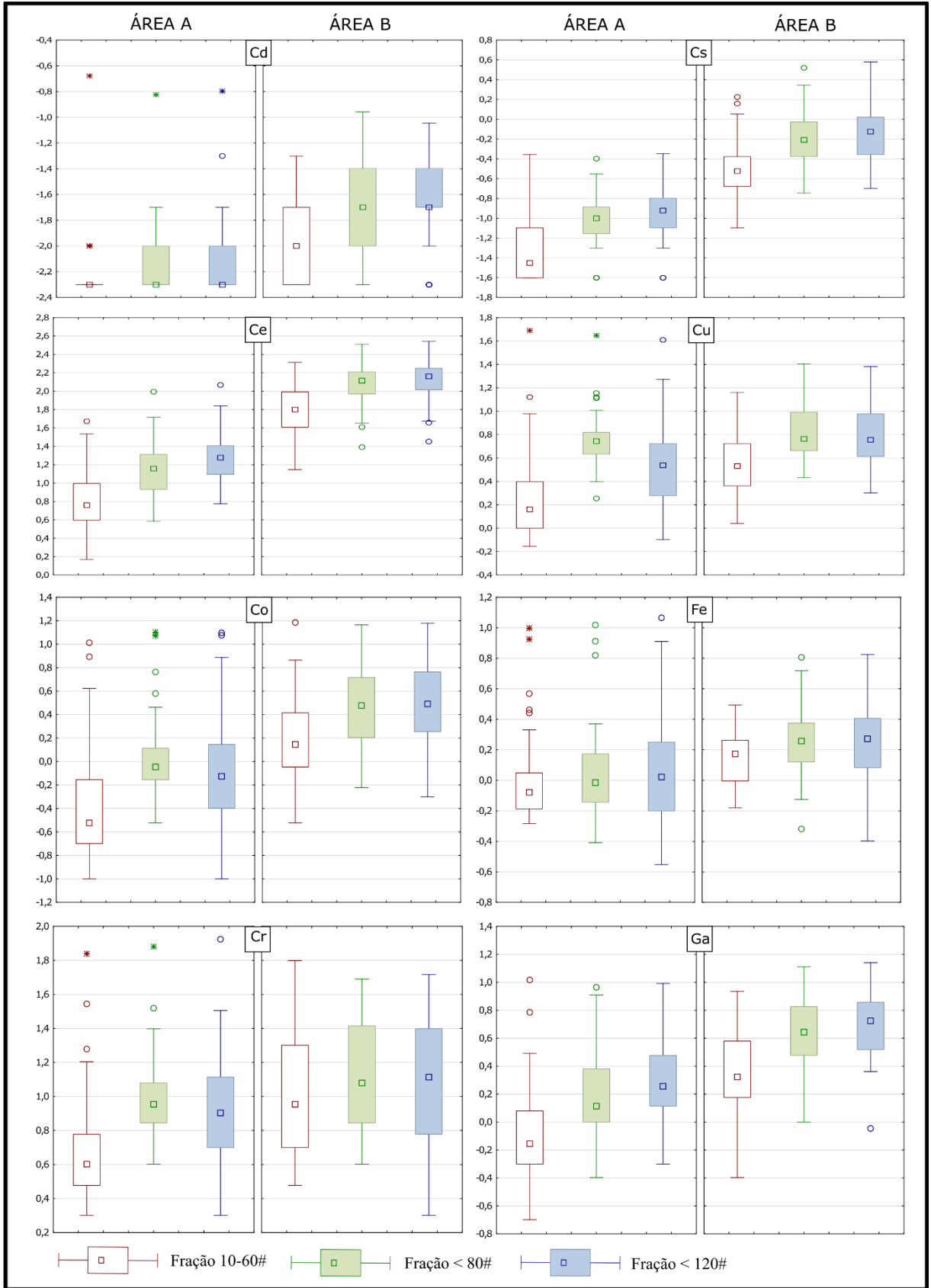
ZHANG, Q.; ZHANG, Y.; WANG, X.; LUO, J. Comparison of sequential chemical extraction procedure and DGT technique to measure effective arsenic in sediment of Lake Taihu, China. **Journal of Agro-Environment Science**, v. 30, p. 1398–1403, 2011.

APÊNDICES

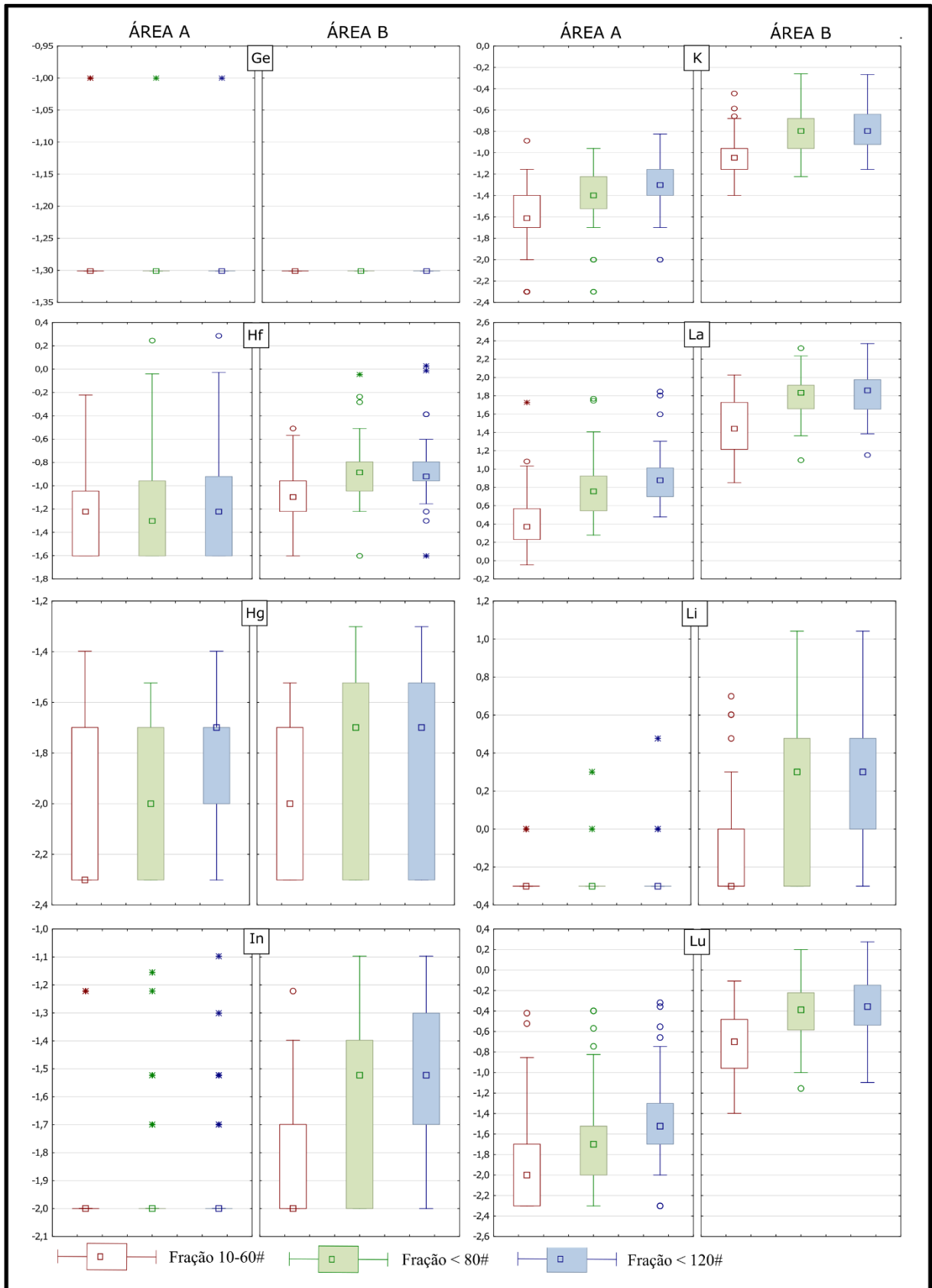
Apêndice A- Gráficos boxplot com as distribuições log transformadas para as três frações granulométricas estudadas, para as duas áreas. Elementos Ag, Al, As, Au, Ba, Be, B e, Ca



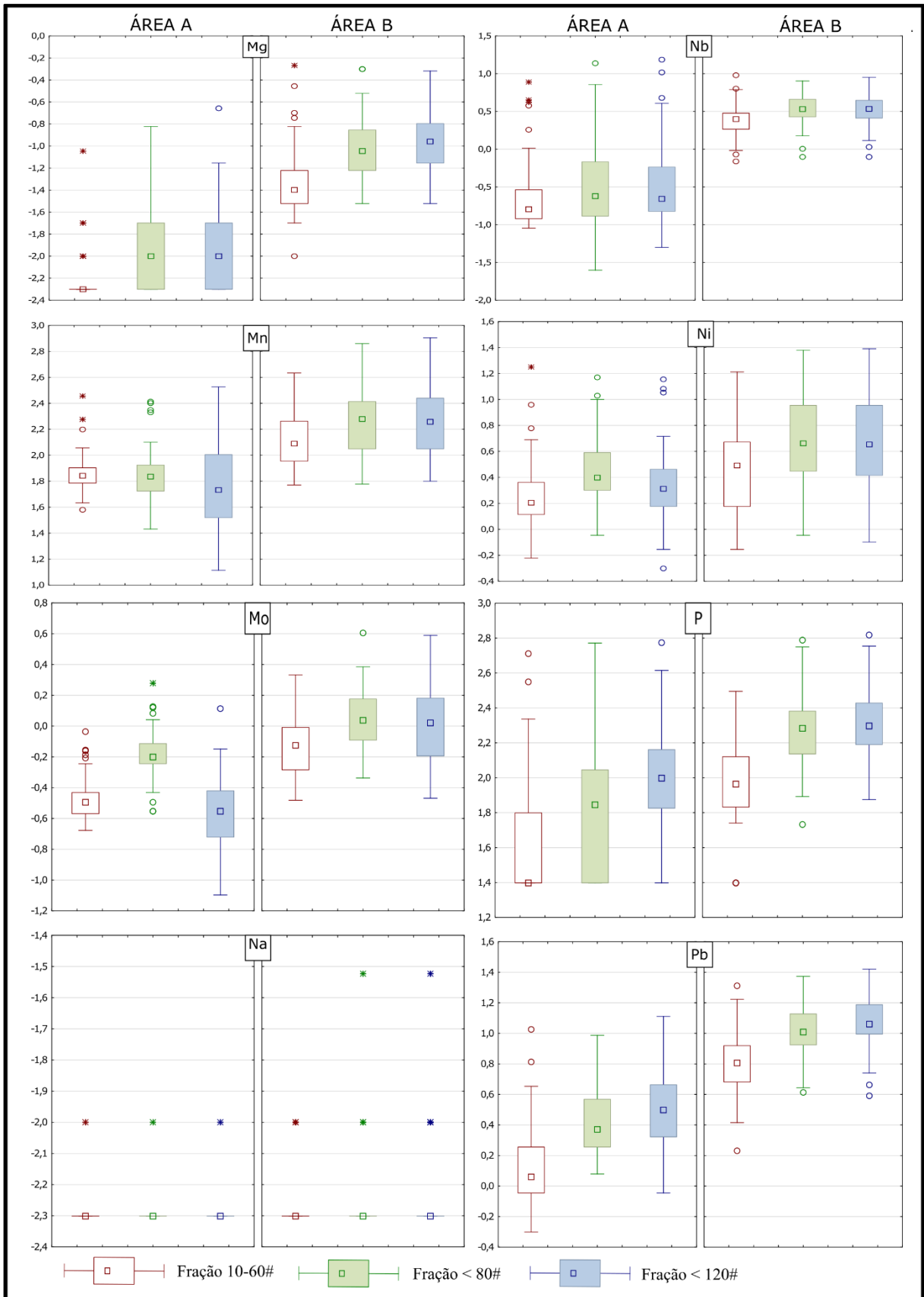
Apêndice B- Gráficos boxplot com as distribuições log transformadas para as três frações granulométricas estudadas, para as duas áreas. Elementos Cd, Ce, Co, Cr, Ce, Cu, Fe e Ga



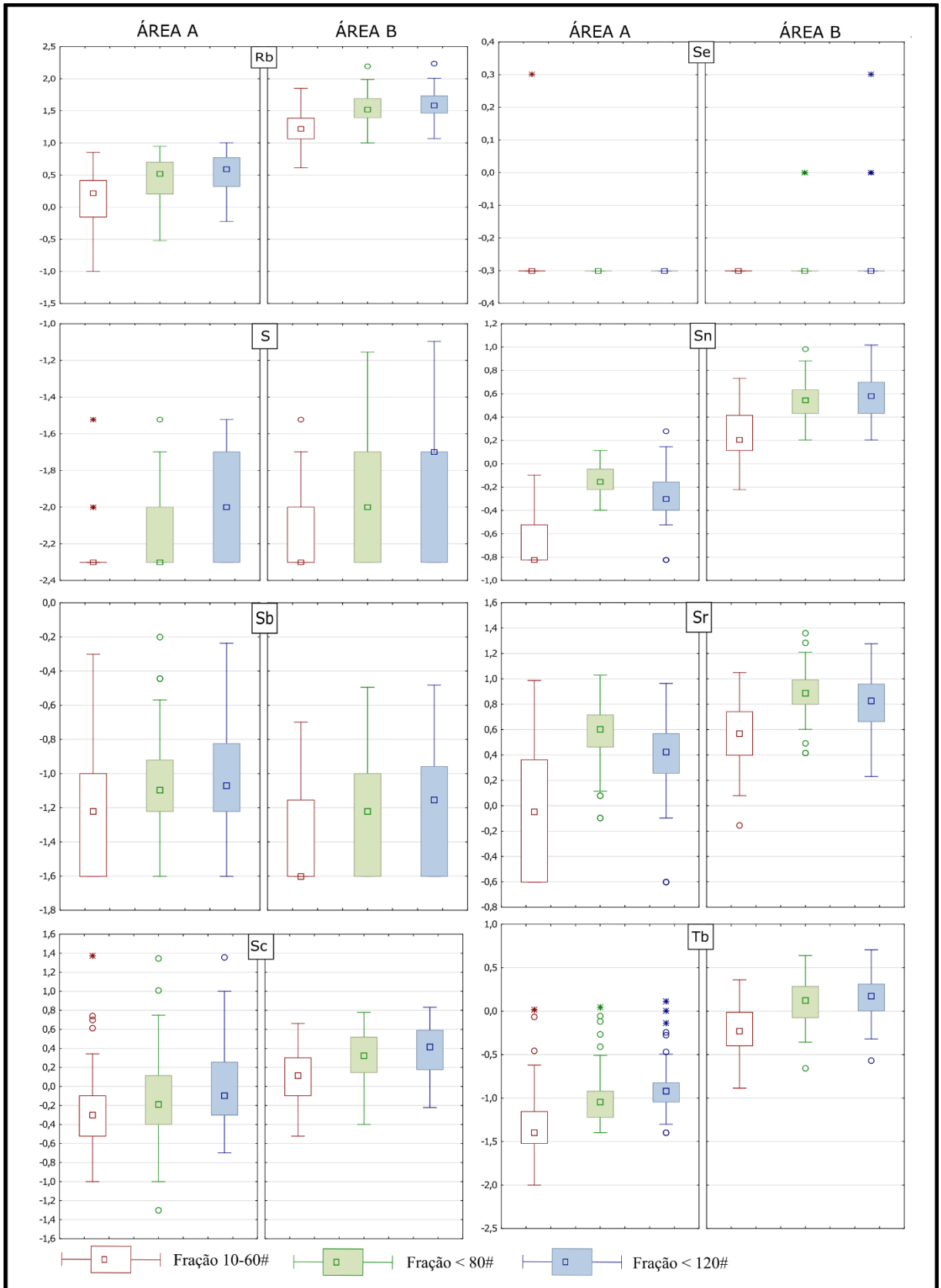
Apêndice C- Gráficos boxplot com as distribuições log transformadas para as três frações granulométricas estudadas, para as duas áreas. Elementos Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li e Lu



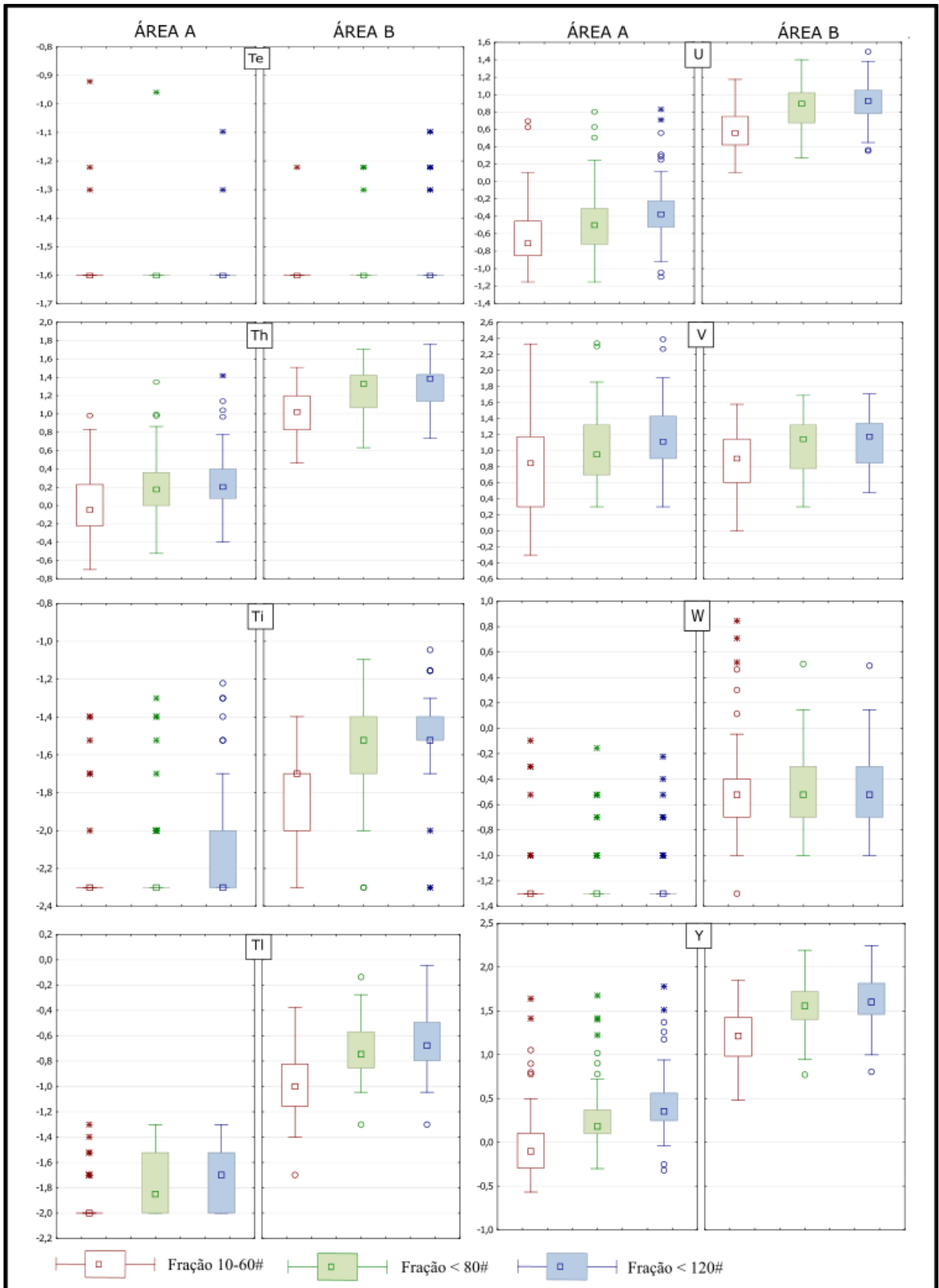
Apêndice D- Gráficos boxplot com as distribuições log transformadas para as três frações granulométricas estudadas, para as duas áreas. Elementos Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P e Pb



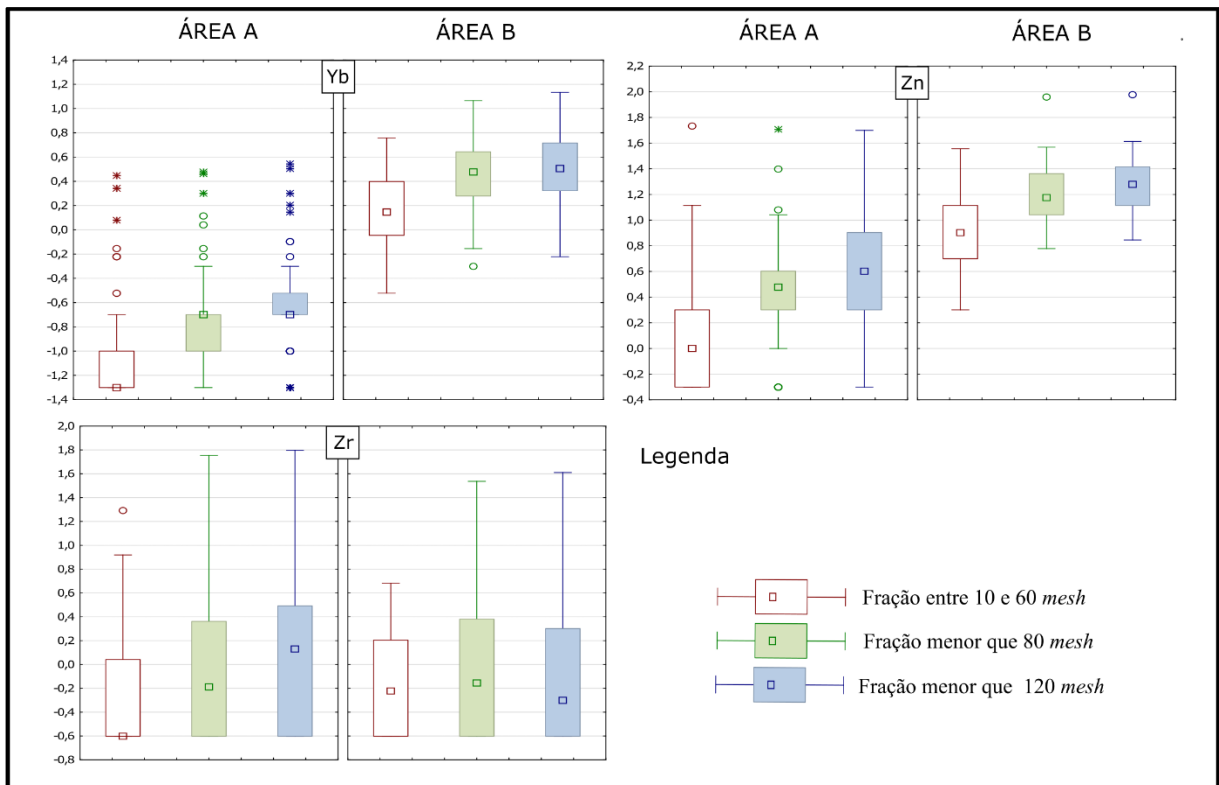
Apêndice E- Gráficos boxplot com as distribuições log transformadas para as três frações granulométricas estudadas, para as duas áreas. Elementos Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr e Tb



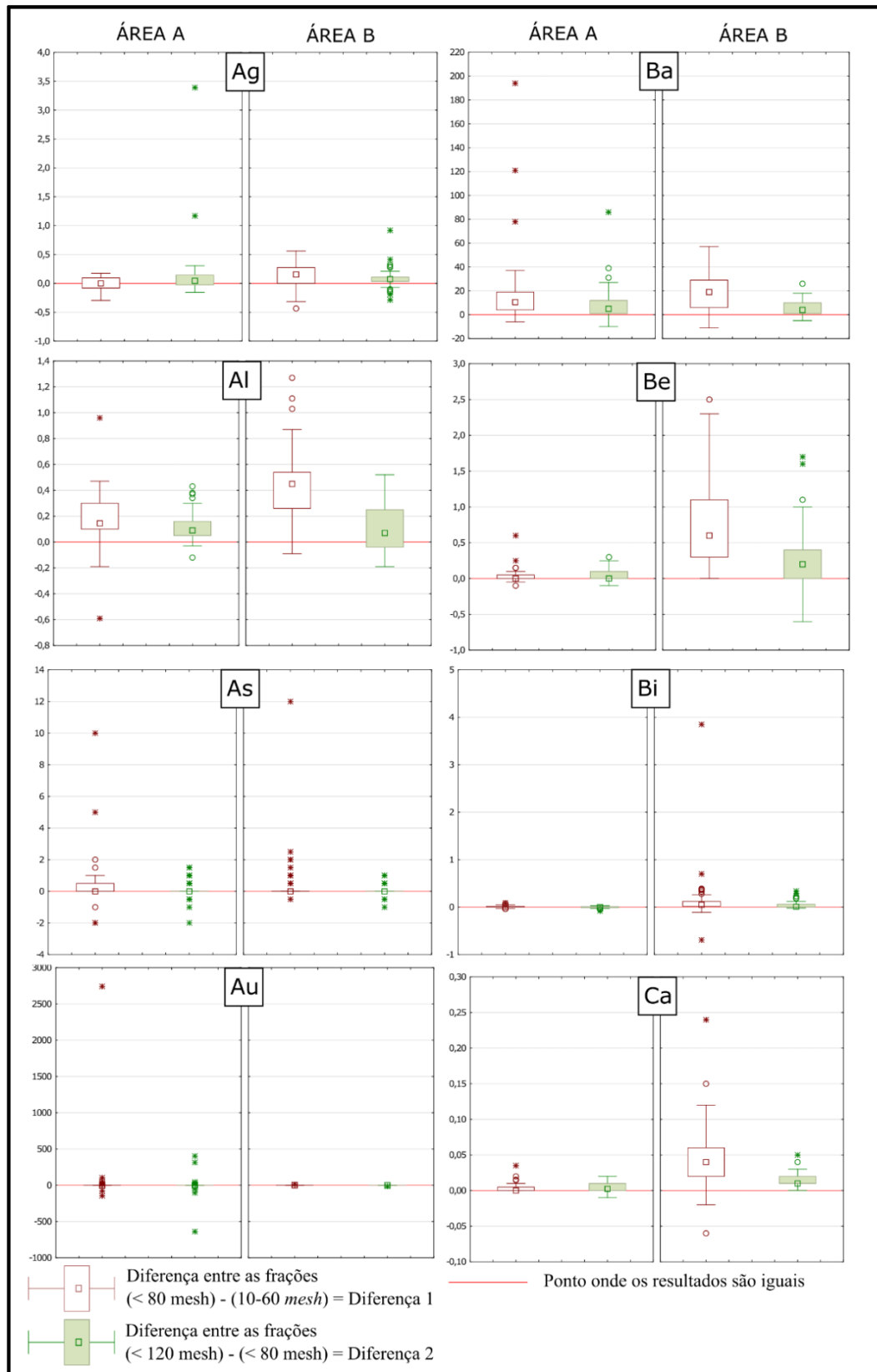
Apêndice F- Gráficos boxplot com as distribuições log transformadas para as três frações granulométricas estudadas, para as duas áreas. Elementos Te, Th, Ti, Tl, U, V, W e Y



Apêndice G- Gráficos boxplot com as distribuições log transformadas para as três frações granulométricas estudadas, para as duas áreas. Elementos Yb, Zn e Zr

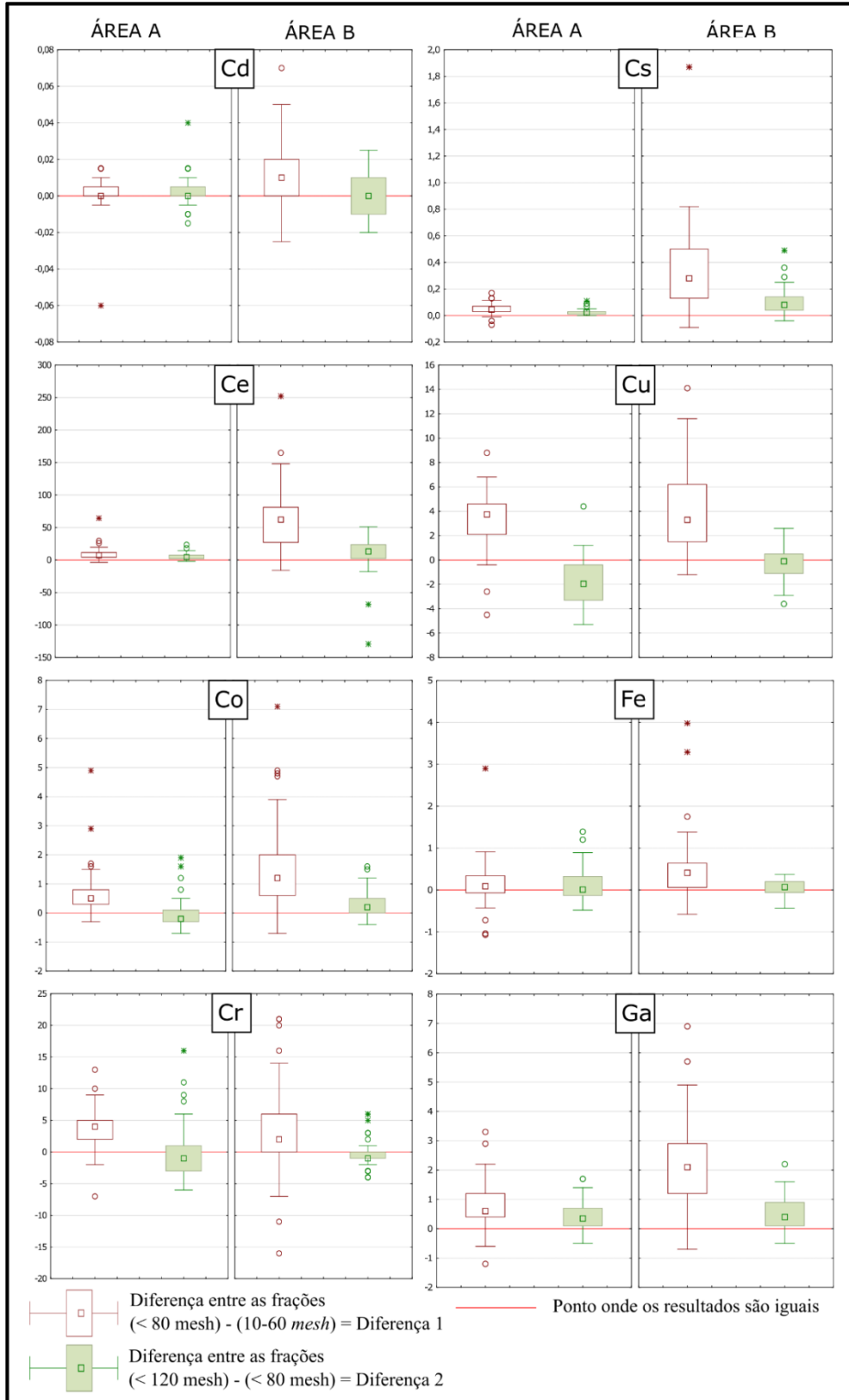


Apêndice H- Gráficos *boxplot* das diferenças entre os pares dependentes das duas áreas estudadas. Em vermelho estão expressas as diferenças entre a fração menor que 80 *mesh* e a fração entre 10 e 60 *mesh*, e em verde as diferenças entre a fração menor que 120 *mesh* e a menor que 80 *mesh*. Elementos Ag, Al, As, Au, Ba, Be, Bi, Ca

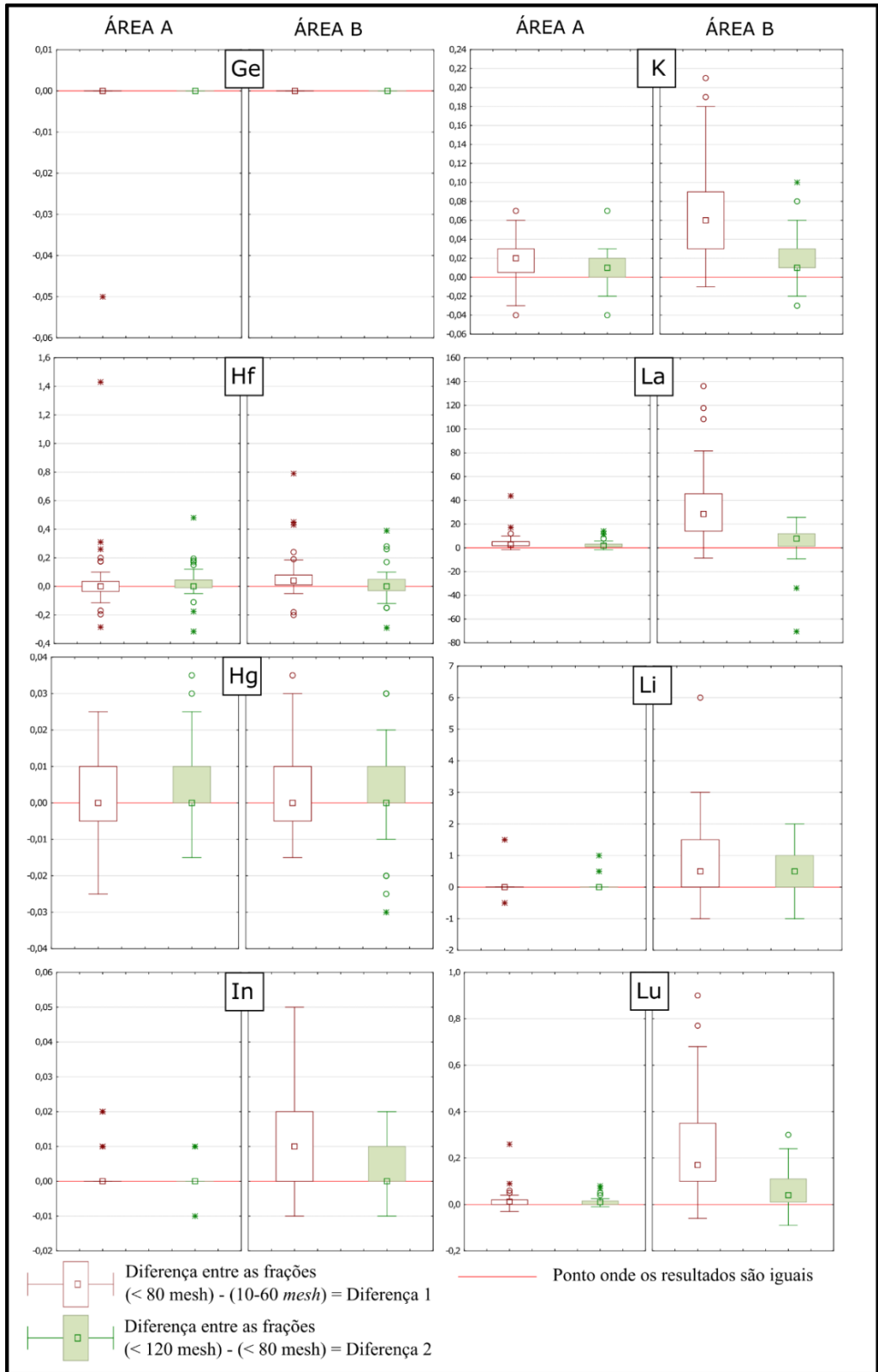


Apêndice I- Gráficos boxplot das diferenças entre os pares dependentes das duas áreas estudadas. Em vermelho estão expressas as diferenças entre a fração menor que 80 *mesh* e a fração entre 10 e 60 *mesh*, e em verde as diferenças entre a fração menor que 120 *mesh* e a menor que 80 *mesh*. Elementos Cd, Ce, Co, Cr, Ce, Cu, Fe e

Ga

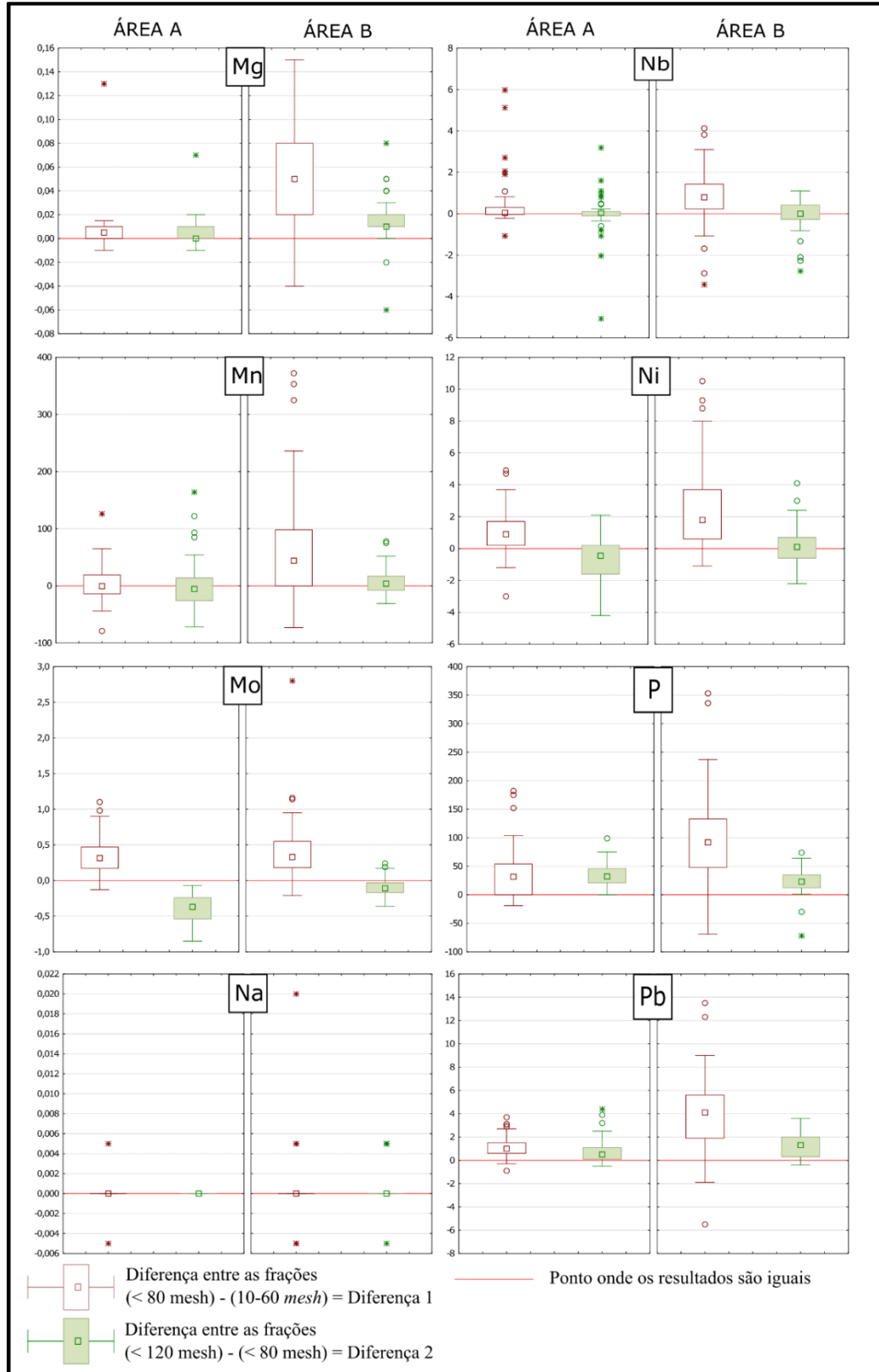


Apêndice J- Gráficos boxplot das diferenças entre os pares dependentes das duas áreas estudadas. Em vermelho estão expressas as diferenças entre a fração menor que 80 *mesh* e a fração entre 10 e 60 *mesh*, e em verde as diferenças entre a fração menor que 120 *mesh* e a menor que 80 *mesh*. Elementos Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li e Lu

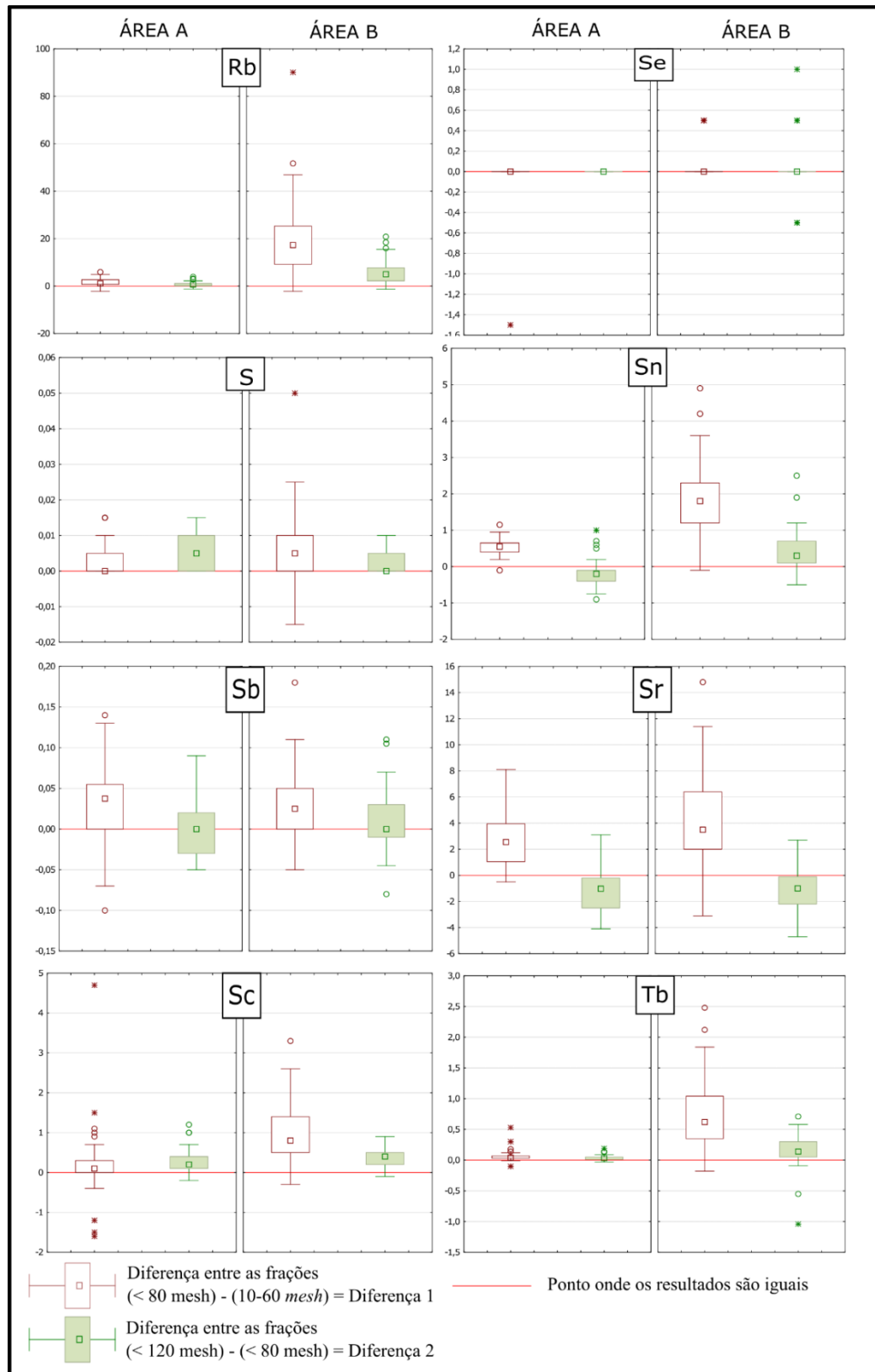


Apêndice K- Gráficos boxplot das diferenças entre os pares dependentes das duas áreas estudadas. Em vermelho estão expressas as diferenças entre a fração menor que 80 *mesh* e a fração entre 10 e 60 *mesh*, e em verde as diferenças entre a fração menor que 120 *mesh* e a menor que 80 *mesh*. Elementos Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P e Pb

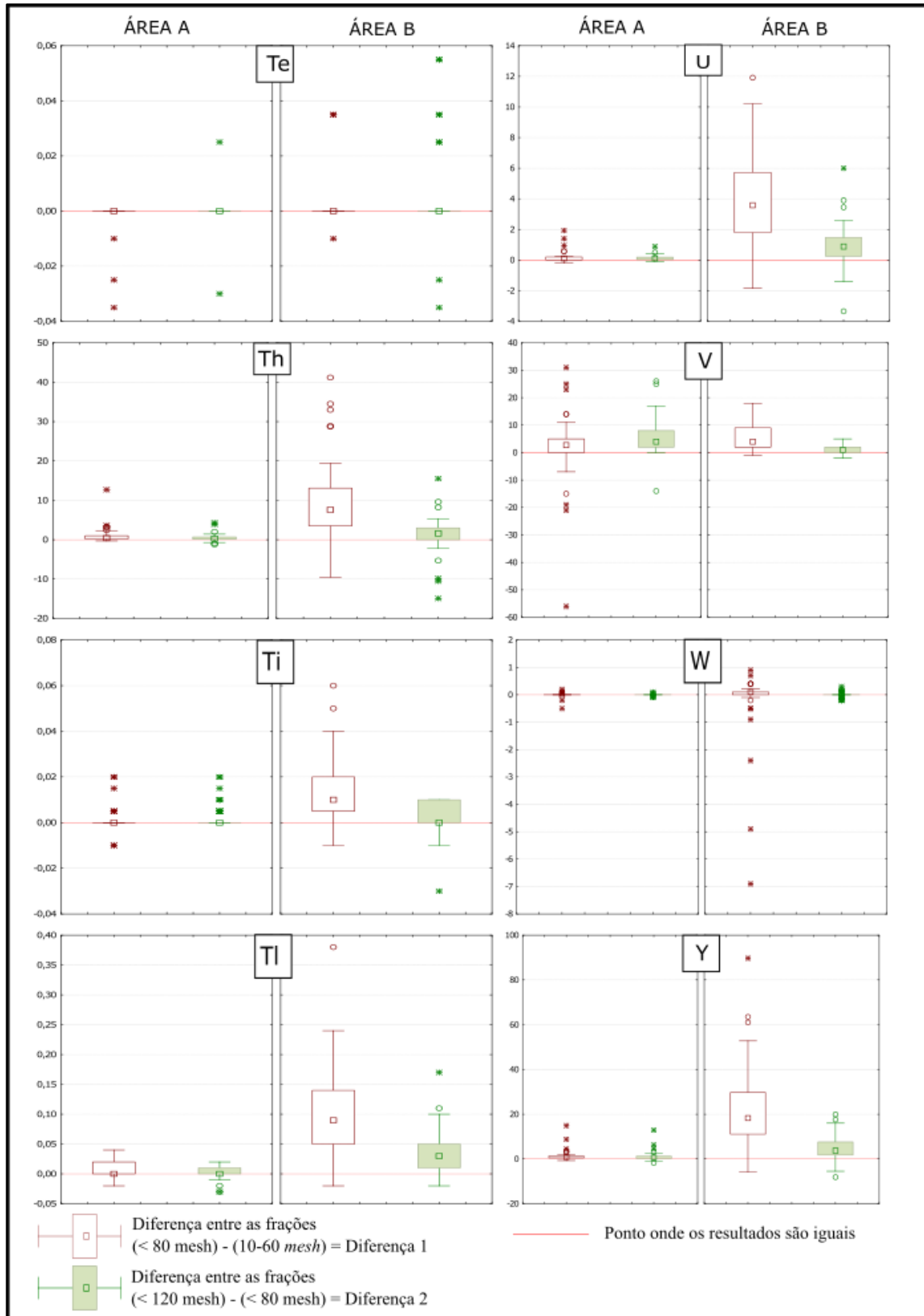
Pb



Apêndice L- Gráficos boxplot das diferenças entre os pares dependentes das duas áreas estudadas. Em vermelho estão expressas as diferenças entre a fração menor que 80 mesh e a fração entre 10 e 60 mesh, e em verde as diferenças entre a fração menor que 120 mesh e a menor que 80 mesh. Elementos Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr e Tb



Apêndice M- Gráficos boxplot das diferenças entre os pares dependentes das duas áreas estudadas. Em vermelho estão expressas as diferenças entre a fração menor que 80 mesh e a fração entre 10 e 60 mesh, e em verde as diferenças entre a fração menor que 120 mesh e a menor que 80 mesh. Elementos Te, Th, Ti, Tl, U, V, W e Y



Apêndice N- Gráficos *boxplot* das diferenças entre os pares dependentes das duas áreas estudadas. Em vermelho estão expressas as diferenças entre a fração menor que 80 *mesh* e a fração entre 10 e 60 *mesh*, e em verde as diferenças entre a fração menor que 120 *mesh* e a menor que 80 *mesh*. Elementos Yb, Zn, Zr

