

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE PETROLOGIA E GEOTECTÔNICA

CURSO DE GEOLOGIA

**MAPEAMENTO GEOQUÍMICO POR SEDIMENTOS DE CORRENTE A
SUL DA FAIXA VAZANTE, MINAS GERAIS: ANÁLISE ESTATÍSTICA UNI,
BI E MULTIVARIADA E DEFINIÇÃO DE BACKGROUND GEOQUÍMICO**

Vinícius da Silva Xavier

2017040329

Orientadores:

**Francisco José da Silva - UFRRJ
Eduardo Duarte Marques - SGB/CPRM**

Julho/2023

1 – XAVIER, VINÍCIUS

Mapeamento Geoquímico por Sedimentos de Corrente a Sul da Faixa Vazante,
Minas Gerais: Análise Estatística Uni, Bi e Multivariada e Definição de
Background Geoquímico

Curso de Geologia / Departamento de Petrologia e Geotectônica

Instituto de Geociências / Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro – UFRRJ

[Seropédica]

Ano 2023

Trabalho de Graduação

Monografia

Área de Concentração: Geoquímica Ambiental

“Um passo à frente e você não está mais no mesmo lugar.”
Um passeio no mundo livre
Chico Science e Nação Zumbi

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a minha família por todo suporte, confiança e amor em todos esses anos. Meus pais, Andréa Xavier e Edilson Xavier e minhas irmãs, Ana Luiza Xavier e Laura Xavier. Agradeço cada descida ao Rio sacrificante dos meus pais em busca de uma melhor condição de vida para nós, cada momento de afeto e a todo apoio e incentivo dado até aqui. Este trabalho é integralmente dedicado a vocês.

Um agradecimento mais que especial às minhas avós, Luiza Macedo, Iracy Fernandes e Maria da Graça Lopes. Sempre foram a razão de inspiração, fonte de ensinamentos e afeto que me permitiu ser forte e resiliente como elas são. Um afetuoso agradecimento a Jovita do Rosário, que mais que ajudou na minha criação, sendo uma verdadeira segunda mãe. Agradeço a minha namorada Carolina Bento por ser um porto seguro e uma verdadeira companheira, até mesmo de curso, durante parte desta trajetória. Toda minha gratidão a vocês.

Agradeço a todos os professores que contribuíram em minha trajetória até aqui. Desde o ensino primário no Colégio Solar da Criança, passando pelo ensino fundamental e médio no Grupo Potência - GPI, ao curto período em engenharia química na UERJ e depois chegando até o fim do ensino superior na geologia da Rural. Todos seus ensinamentos são vitais não só para minha trajetória, mas de muitas outras pessoas. Desejo que inspirem ainda muitas pessoas nessa jornada educacional a buscar qualificação, conhecimento e que haja reconhecimento da carreira, que carece de melhores condições de trabalho. Muito obrigado por todo conteúdo intelectual e profissional que vocês me concederam.

Agradeço aos meus orientadores Francisco José da Silva e Eduardo Duarte Marques, pela oportunidade de trabalhar com geoquímica ambiental, pela paciência e pela transmissão de seus conhecimentos. Foi excelente o Francisco ter me apresentado ao Eduardo na festa do Jubileu de Ouro do curso de geologia da Rural em 2019. Sempre me falaram de networking, e realmente sem ele, não se vai a lugar algum.

Agradeço a todos os amigos que fiz durante a vida, e a todas as pessoas que me ajudaram em todas as fases. Agradeço a turma de geologia de 2017, em especial Yanná, Rafa, Gabi, Maju, Amanda, Iza, Naty e Claudete por terem me proporcionado vivenciar experiências e momentos incríveis. Agradeço também aos meus amigos da escola por todos esses anos de amizade, boa relação e zoeira de sempre.

E, por fim, um agradecimento ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM pelo trabalho pioneiro na geração e disseminação de conhecimento geocientífico com excelência, contribuindo para melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento sustentável do Brasil. Através da empresa, consegui minha primeira experiência profissional e serei eternamente grato por todo conhecimento adquirido nesse tempo. Agradeço a coordenadora nacional de consistência de dados, Alessandra Pacheco, vulgo “melhor chefe que terei na vida”. E a todas as pessoas especiais as quais tive o prazer de trabalhar na Equipe de Consistência, Rafa, Mari, Ramadan, Rapha, Iris, Bibi, Sergio, Tomaz, Brunão e Nasha.

Resumo

Os levantamentos geoquímicos multielementares são historicamente utilizados como ferramenta para exploração mineral, mas devido a sua relevância ao gerar informações, tem sido aplicado em estudos ambientais e de gestão territorial, em particular nas definições de concentrações de background geoquímico. A área de estudo é situada no noroeste de Minas Gerais, sob o contexto geotectônico do Distrito Zincífero de Vazante, no limite entre o Cráton São Francisco e a Faixa Brasília. O principal objetivo deste estudo é definir faixas de background geoquímico para sedimento de corrente, como ferramenta de investigação da assinatura geoquímica e da influência dos domínios geológicos na composição química dos sedimentos de corrente a sul da Faixa Vazante. A amostragem foi executada pelo Serviço Geológico do Brasil, com 709 amostras coletadas em uma área de aproximadamente 9.000 km². Em laboratório, as amostras de sedimentos de corrente foram secadas a 60°C em estufas, seguidas de quarteamento e, posteriormente, peneiradas em malhas com abertura < 80 mesh. Após o tratamento físico, as polpas peneiradas < 80 mesh de cada amostra é submetida a pulverização e digestão com água régia e analisadas por ICP-OES (elementos maiores) e ICPMS (elementos menores e traços) para um total de 50 elementos. Os dados geoquímicos foram processados por métodos estatísticos, abrangendo a estatística univariada, através de gráficos box-plot e sumário estatístico com dados log-transformados; a estatística bivariada, por meio da correlação Spearman e gráficos bi-plot, para analisar o grau de afinidade entre os elementos; e a estatística multivariada, a partir da análise fatorial com prévia transformação do dado pela razão logarítmica CLR e extração dos principais fatores. Desta forma, foram gerados mapas de dispersão geoquímica por meio de ferramenta SIG, identificação de associações e processos geoquímicos, e definição de concentrações de background geoquímico para as diferentes unidades litológicas entre os elementos analisados por diferentes métodos para fim de comparação, dentre eles: dados brutos, mediana + 2x MAD e TIF, com base em percentis. A análise fatorial resultou em 7 scores que representam 10 associações geoquímicas da área de estudo, são elas: (1) Al, Ga, In, Sc, Sn e V; (2) Mg, Zn; (3) Cs, K, Rb; (4) Cr, Cu, Ni; (5) Cr, Ni e Ti; (6) As - Pb; (7) Co, Mn e Fe; (8) ELTR, Th e U; (9) Ba, Ca, P e Sr; (10) Be, Cs, Li, Mg, Rb, Y. Portanto, os valores de background propostos associados às associações geoquímicas nesta pesquisa são importantes devido ao auxílio em estudos prospectivos minerais, de impactos ambientais e na formulação de políticas socioambientais.

Palavras chave: Background geoquímico, Estatística, Sedimentos de corrente, Faixa Vazante, Associações geoquímicas.

Abstract

Multi-element geochemical surveys have historically been used as a tool for mineral exploration, but due to their relevance in generating information, they have been applied in environmental and land management studies, particularly in defining geochemical background concentrations. The study area is located in the northwest of Minas Gerais, within the geotectonic context of the Vazante Zinc District, on the boundary between the São Francisco Craton and the Brasília Belt. The main objective of this study is to define ranges of geochemical background for stream sediment as an investigative tool for the geochemical signature and the influence of geological domains on the chemical composition of stream sediments south of the Vazante Belt. Sampling was carried out by the Geological Survey of Brazil, with 709 samples collected in an area of approximately 9,000 km². In the laboratory, stream sediment samples were dried at 60°C in ovens, followed by quartering and subsequently sieved with an aperture < 80 mesh. After the physical treatment, the < 80 mesh sieved pulps of each sample were pulverized, digested with aqua regia, and analyzed by ICP-OES (major elements) and ICP-MS (minor and trace elements) for a total of 50 elements. The geochemical data were processed using statistical methods, including univariate statistics through box plots and summary statistics with log-transformed data; bivariate statistics using Spearman correlation and bi-plot graphs to analyze the degree of affinity between elements; and multivariate statistics through factor analysis with prior data transformation using the log-ratio CLR and extraction of the main factors. Thus, geochemical dispersion maps were generated using GIS tools, allowing for the identification of associations and geochemical processes, as well as the definition of geochemical background concentrations for different lithological units among the elements analyzed using different methods for comparison, including raw data, median + 2x MAD, and TIF based on percentiles. The factor analysis resulted in 7 scores representing 10 geochemical associations in the study area, which are: (1) Al, Ga, In, Sc, Sn, and V; (2) Mg, Zn; (3) Cs, K, Rb; (4) Cr, Cu, Ni; (5) Cr, Ni, and Ti; (6) As - Pb; (7) Co, Mn, and Fe; (8) LREE, Th, and U; (9) Ba, Ca, P, and Sr; (10) Be, Cs, Li, Mg, Rb, Y. Therefore, the proposed background values associated with the geochemical associations in this research are important due to their assistance in mineral prospecting studies, environmental impact assessments, and the formulation of socio-environmental policies.

Keywords: Geochemical background, Statistics, Stream sediments, Vazante Belt, Geochemical associations.

Sumário

1. Introdução	12
1.1. Apresentação	12
1.2. Objetivo	12
1.3. Justificativa	12
1.4. Localização e vias de acesso	12
2. Revisão bibliográfica	14
2.1. Prospecção Geoquímica	14
2.2 Ciclos, dispersões e ambientes geoquímicos	14
2.3. Sedimentos de corrente em estudos geoquímicos	16
2.4. <i>Background</i> geoquímico	17
3.1 Aspectos fisiográficos	19
3.1.1 Clima	19
3.1.2 Vegetação	19
3.1.3 Geomorfologia	19
3.1.4 Hidrografia	20
3.2. Geologia Regional	21
3.2.1 Contexto geotectônico da Faixa Brasília e da Bacia do São Francisco	22
3.3.1 Zona Interna da Faixa Brasília	29
3.3.3 Zona do Cráton São Francisco	35
4. Materiais e métodos	40
4.1 Amostragem	40
4.2 Análises laboratoriais	41
4.3 Processamento de dados e análise estatística	43
4.4 Quantificação do <i>background</i> geoquímico	44
4.4.1 MAD	45
4.4.2 TIF	45
4.5 Construção do ambiente SIG e simbologias	46
5. Resultados e Discussão	48
5.1 Sumário Estatístico	48
5.2.2 Distribuição dos elementos menores e traços	59
5.3 Definição de <i>background</i> geoquímico e comparativo entre métodos	65
5.4 Análise dos dados geoquímicos conforme estatística bivariada e multivariada	67
5.4.2 Estatística Multivariada - Análise de Principais Fatores	71
6. Conclusão e Recomendações	81
7. Referências Bibliográficas	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. O estado de Minas Gerais (MG) está destacado em cinza e a área de estudo, hachurada em vermelho, é compreendida pelas folhas: (1) coromandel; (2) lagamar; (3) monte carmelo; e (4) patos de minas. Mapa projetado no sistema geocêntrico sirgas 2000 (sistema de referência geocêntrico para as américas).....	13
Figura 2 - Representação simplificada do intervalo de concentração do <i>background</i> geoquímico, delimitado entre os limites inferior (LIB) e superior (LSB), também conhecido como <i>threshold</i> , em relação à faixa de concentração de um elemento específico presente em um determinado meio amostral, ressaltando as suas anomalias geoquímicas negativas e positivas. (Extraído de Salomão, 2020; Modificado de Gosar <i>et al.</i> (2019) após Gałuszka <i>et al.</i> (2014).).....	18
Figura 3 – Diferentes métodos de digestão/extração ordenados segundo as suas respectivas forças de extração em materiais naturais (solos e sedimentos) e a resposta analítica, destacando o efeito esperado nos valores de <i>background</i> geoquímico. (Extraído de Salomão, 2020; Baseado em Caritat, 2011; Mann, 2010.).....	18
Figura 4 - Esboço tectônico do Brasil Central, com a Província Tocantins e suas faixas móveis associadas (simplificado de Almeida <i>et al.</i> , 1981 in Valeriano <i>et al.</i> , 2004b).....	22
Figura 5 - Mapa estrutural simplificado da Faixa Brasília e porção adjacente do Cráton do São Francisco, com indicação dos domínios cratônico, externo e interno da referida faixa. Modificado de Schobbenhaus <i>et al.</i> (1984) e Bizzi <i>et al.</i> (2003).....	24
Figura 6 - Evolução geotectônica esquemática do segmento sul da Faixa Brasília segundo Dardenne (2000) (Extraído de Sanches 2012).	25
Figura 7 - Unidades supracrustais subdivididas a partir da tectônica da Faixa Brasília de acordo com semelhanças no sistema deposicional. Extraído de Pimentel <i>et al.</i> (2011) e modificado por Marques <i>et al.</i> , (2015).....	27
Figura 8 - Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco, mostrando a localização geográfica e delimitação da bacia, modificado de Alkmim & Martins Neto (2001) e extraído de Tonietto (2010).	28
Figura 9 - Mapa geológico da Sinforma de Araxá (Extraído de Seer <i>et al.</i> (2001)).....	30
Figura 10 - Coluna estratigráfica do Grupo canastra (Modificado de Dardenne, 2000 e Pereira, 1992), segundo Rodrigues (2008).....	34
Figura 11 - Coluna estratigráfica do Grupo Vazante segundo Dardenne (2000), extraída de Neves (2011).	36
Figura 12 - Disposição das estações de amostragem para sedimentos de corrente ao longo da área de estudo sob modelo digital de elevação. Os pontos pretos indicam as estações de amostragem.....	41
Figura 13 - Representação da simbologia cartográfica com base em gráficos Box-Plot, mapa de bacias e mapa de pontos. AIQ = amplitude interquartil; Q1: percentil 25%; Q2: percentil 50%; Q3 = percentil 75%.	47
Figura 14 - Mapa geológico simplificado da área de estudo em escala aproximada 1:250.000.....	51
Figura 15 - Box-Plot da distribuição de elementos maiores, menores e traços em amostras de sedimentos de corrente nas sete principais unidades geológicas da área estudada: Complexo Abadia dos Dourados e Grupo Araxá (1); Grupo Canastra (2); Grupo Ibiá (3); Complexo Monte Carmelo (4); Formação Serra da Saudade – Grupo Bambuí (5); e Grupo Vazante (6). A linha contínua que se encontra em cada gráfico representa a concentração média da crosta (UCC).	52
Figura 16 - Box-Plot da distribuição de elementos maiores, menores e traços em amostras de sedimentos de corrente nas sete principais unidades geológicas da área estudada: Complexo Abadia dos Dourados e Grupo Araxá (1); Grupo Canastra (2); Grupo Ibiá (3); Complexo Monte	

Carmelo (4); Formação Serra da Saudade – Grupo Bambuí (5); e Grupo Vazante (6). A linha contínua que se encontra em cada gráfico representa a concentração média da crosta (UCC).

.....	53
Figura 17 - Box-Plot da distribuição de elementos maiores, menores e traços em amostras de sedimentos de corrente nas sete principais unidades geológicas da área estudada: Complexo Abadia dos Dourados e Grupo Araxá (1); Grupo Canastra (2); Grupo Ibiá (3); Complexo Monte Carmelo (4); Formação Serra da Saudade – Grupo Bambuí (5); e Grupo Vazante (6). A linha contínua que se encontra em cada gráfico representa a concentração média da crosta (UCC).	54
Figura 18 – Distribuição espacial do Al em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	56
Figura 19 – Distribuição espacial do Ca em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	56
Figura 20 – Distribuição espacial do Fe em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	57
Figura 21 – Distribuição espacial do Mg em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	57
Figura 22 – Distribuição espacial do Mn em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	58
Figura 23 – Distribuição espacial do P em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	58
Figura 24 – Distribuição espacial do Cr em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	61
Figura 25 – Distribuição espacial do Ni em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	61
Figura 26 – Distribuição espacial dos ETRL em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	62
Figura 27 – Distribuição espacial do Cs em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	62
Figura 28 – Distribuição espacial do Th em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	63
figura 29 – Distribuição espacial do Zn em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	63
Figura 30 – Distribuição espacial do As em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	64
figura 31 – Distribuição espacial do Pb em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	64
Figura 32 - Mapa de pontos e bacias para As, ELTR e P conforme dados brutos, TIF (<i>Tukey's Inner Fence</i> , Limiar Superior = $Q3 + 1,5 \cdot AIQ$ e Limiar Inferior = $Q1 - 1,5 \cdot AIQ$) e mMad (mediana $\pm 2 \cdot [MAD]$). Anomalias positivas são representadas em vermelho nos mapas de pontos e bacias. Valores de <i>background</i> são representados pela cruz nos mapas de pontos e em verde claro nos mapas de bacias. Anomalias negativas são representadas em pontos pretos no mapa de pontos e verde escuro nos mapas de bacias.	66
Figura 33 - Gráficos de dispersão expressando as melhores correlações entre elementos para as amostras de sedimentos de corrente.	70
figura 34 - Correlograma com os melhores parâmetros de correlação entre os elementos analisados. Gerado pelo aplicativo EZCorrGraph (Campos & Licht, 2021).	71

Figura 35 - Gráfico do tipo Scree para determinação da quantidade de fatores relevantes para a análise (critério de Kaiser, peso do autovalor > 1; representado pela linha vermelha no gráfico) para as amostras de sedimentos de corrente.	73
Figura 36 – Distribuição espacial do fator 1 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) na área de estudo.	74
figura 37 – Distribuição espacial do fator 2 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) na área de estudo.	75
figura 38 – Distribuição espacial do fator 3 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) na área de estudo.	76
figura 39 – Distribuição espacial do fator 4 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	77
figura 40 – Distribuição espacial do fator 5 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.	78
figura 41 – Distribuição espacial do fator 6 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) na área de estudo.	79
figura 42 – Distribuição espacial do fator 7 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) na área de estudo.	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos analisados e seus respectivos limites inferiores e superiores de detecção.	42
Tabela 2 – Sumário estatístico dos elementos selecionados.	49
Tabela 3 – Sumário estatístico dos elementos não selecionados.	49
Tabela 4 - Valores de <i>background</i> geoquímico para os elementos segundo os métodos de TIF e mMAD. (LS = Limiar Superior; LI = Limiar Inferior).....	65
Tabela 5 – Matriz de correlação resumida dos elementos analisados para sedimentos de corrente. As células em vermelho significam que a correlação entre elementos é significativa a $p < 0,001$; em amarelo, significativa a $p < 0,01$; em verde, significativa a $p < 0,05$; e em branco, significativa a $p < 0,1$	69
Tabela 6 – Segregação de fatores pela análise de principais fatores para amostras de sedimentos de corrente, sendo em amarelo coeficientes positivos ($>0,5$) e em verde coeficientes negativos ($< -0,5$).	72
Tabela 7 – Autovalores e suas respectivas porcentagens de variância para cada fator segregado da análise de principais fatores em amostras de sedimentos de corrente.....	73

1. Introdução

1.1. Apresentação

Trabalho de graduação (IA-243) é uma disciplina obrigatória do décimo período da grade curricular e um dos requisitos finais para obtenção do título de bacharel em Geologia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRuralRJ). Este trabalho teve como orientação os geólogos Prof. Dr. Francisco José da Silva, orientador acadêmico e Professor na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e o pesquisador em Geociências PhD Eduardo Duarte Marques do Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM.

1.2. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo o mapeamento geoquímico como forma de investigação da assinatura geoquímica dos sedimentos de corrente da região compreendida a sul da Faixa Vazante, Minas Gerais.

1.3. Justificativa

Os estudos geoquímicos avaliam a distribuição dos elementos e os processos que permitem compreender os fluxos entre diferentes compartimentos terrestres. A utilização do mapeamento geoquímico tem se tornado cada vez mais eficaz no entendimento da dispersão dos elementos químicos em ambiente superficial, sendo fundamental para ramos como: avaliação de áreas contaminadas, exploração mineral, saúde animal e humana, agricultura, regulação ambiental, parâmetros de uso e qualidade da água.

A escolha desta região para o estudo foi motivada por ela ser rica em diversos bens minerais, com exploração de água mineral, minérios de zinco, cádmio, chumbo, ouro, prata diamante, rocha fosfática, minerais industriais e insumos agrícolas. Exemplo da riqueza mineral é a presença do Distrito Plumbo-Zincífero de Paracatu e Distrito Zincífero de Vazante. A área de estudo apesar de não abranger estes dois distritos, a sua delimitação visou as áreas mais carentes de informação, com menor quantitativo de dados levantados por empresas e instituições de pesquisa.

1.4. Localização e vias de acesso

A área de estudo (Figura 1) é localizada entre as mesorregiões mineiras do noroeste de Minas e Alto Parnaíba, próximo à divisa com o estado de Goiás e é compreendida pelas folhas Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo e Pato de Minas, todas na escala 1:100.000. A área é

delimitada pelas coordenadas geográficas 18°15'S - 19°00'S e 46°30'W - 47°30'W, com área de aproximadamente 9.000 km².

Dentro dos limites da área de estudo encontram-se sedes de alguns municípios, destacando-se Patos de Minas, Patrocínio, Monte Carmelo, Coromandel e Lagamar. A partir da capital de Minas Gerais, Belo Horizonte, o acesso às mesorregiões do Noroeste de Minas e Alto Parnaíba se faz principalmente pelas rodovias federais BR-040, BR-262, BR-354, BR-365 e estaduais DF-285, MG-188, MG-410 e MG-706, além de outras estradas estaduais e municipais que se interligam, sendo que algumas possuem percursos intermitentes, devido aos períodos chuvosos.

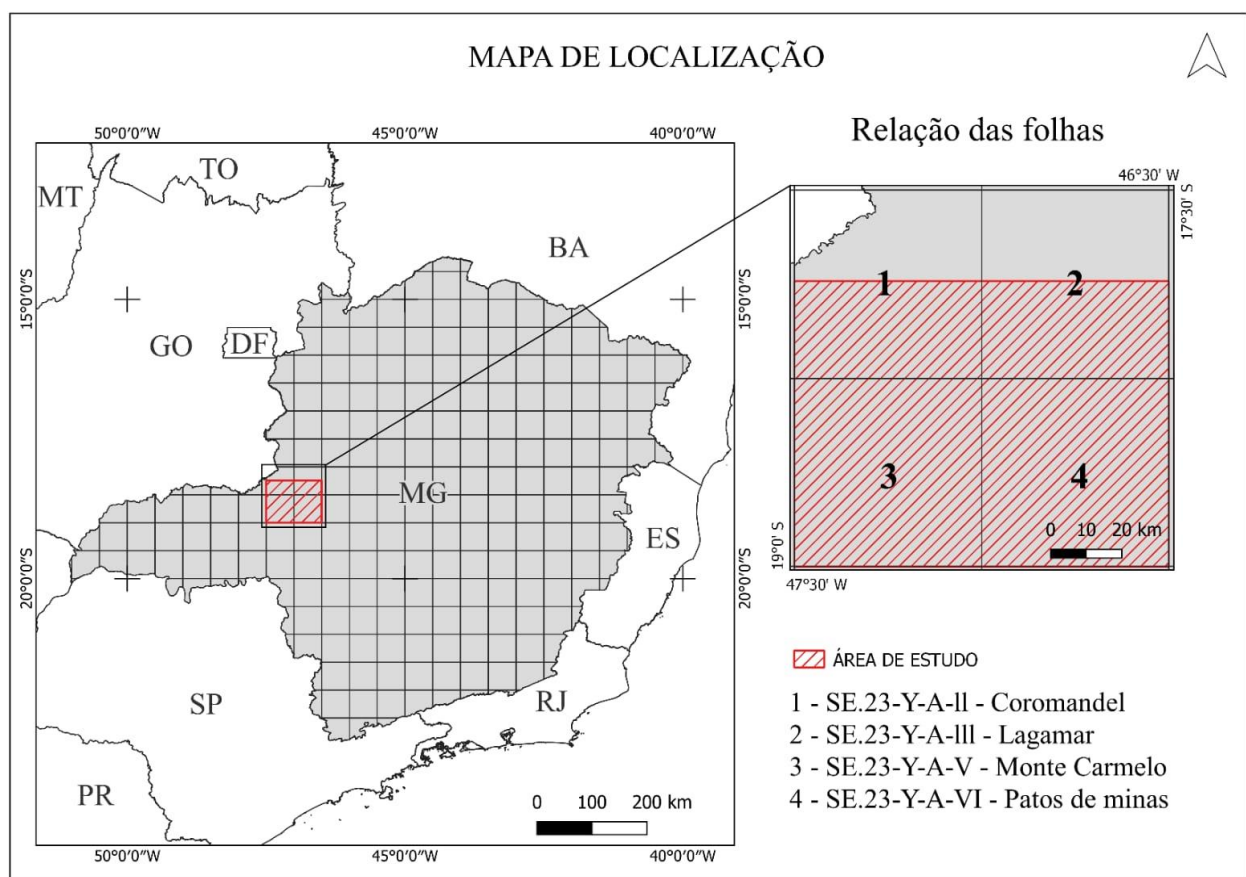


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. O estado de Minas Gerais (MG) está destacado em cinza e a área de estudo, hachurada em vermelho, é compreendida pelas folhas: (1) Coromandel; (2) Lagamar; (3) Monte Carmelo; e (4) Patos de Minas. Mapa projetado no sistema geocêntrico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

2. Revisão bibliográfica

2.1. Prospecção Geoquímica

A investigação ambiental por meio de técnicas geoquímicas tem sido realizada desde a década de 30, quando pesquisadores da antiga União Soviética (ex-URSS) iniciaram investigações geoquímicas com objetivo voltado à prospecção de jazimentos minerais. Com o sucesso da metodologia, devido a sua assertividade, provocou sua rápida propagação por outros países, tendo sido aplicada de forma intensa como método de pesquisa com êxito em todos ambientes fisiográficos e geológicos do planeta (Licht, 2001).

A partir da década de 80, vários países como: Canadá, Finlândia, França, Inglaterra, Noruega e Suécia, iniciaram projetos em escalas abrangentes, desde locais, regionais a nacionais. O intuito foi de aplicar e aperfeiçoar os métodos de exploração geoquímica, até então restritos à exploração mineral, para que tivessem uma aplicação mais ampla e contribuíssem como conforme abaixo (Licht, 2001):

- variações naturais ou antropogênicas na cobertura dos solos, corpos hídricos ou na biota, visando o estabelecimento de bases de conhecimento da composição química de uma região e dos eventuais passivos ambientais;
- variações litológicas no auxílio à cartografia geológica e pedológica, servindo como ferramenta para estudos geológicos e de aumento da produção e da fertilidade agrícola;
- focos de poluentes industriais, agrícolas e domésticos, tanto em ambientes rurais quanto urbanos, com finalidades de monitoramento e fiscalização ambiental;
- avaliação da pluma de contaminantes das fontes de poluição sobre as águas superficiais e subterrâneas, visando estabelecer as potencialidades e viabilidade no aproveitamento de aquíferos.

2.2 Ciclos, dispersões e ambientes geoquímicos

A terra pode ser observada sob a óptica de um sistema dinâmico, tanto em sua superfície como em seu interior, onde a existência, disponibilidade, mobilidade e circulação dos materiais naturais de um ambiente para outro, podem ser expressos sob o aspecto de um ciclo. Tudo isso é feito por uma expressiva quantidade de processos geológicos, tais como: fusão, cristalização, erosão, dissolução, precipitação, vaporização, e decaimento radioativo (Rose *et al.*, 1979). O ciclo geoquímico proposto por Mason (1960), e modificado por Fortescue (1992), é mais abrangente e completo pois considera os aspectos biogênicos, antropogênicos e tectogênicos. Desta forma, foi

considerada pela primeira vez com a devida importância, a participação importante desses agentes no ciclo geoquímico.

O grande sistema Terra pode ser dividido em dois ambientes principais: endógeno e exógeno. O primeiro é caracterizado pelo predomínio de altas pressões e temperaturas e baixa proporção de oxigênio e fluidos, com a ocorrência de processos magmáticos, hidrotermais e metamórficos. Enquanto o segundo, é caracterizado por baixas pressões e temperaturas, abundância de oxigênio e livre movimentação de fluidos. Além da ocorrência de processos erosivos, intempéricos, sedimentares, antrópicos e de diagênese. (Licht, 1998).

A classificação geoquímica dos elementos (Goldschmidt, 1937; Krauskopf, 1972) foi proposta de acordo com o comportamento geoquímico dos elementos a partir de experimentos realizados com diversos materiais naturais, dentre eles, meteoritos, rochas silicáticas e mineralizações sulfetadas. E, assim, explicam a distribuição dos elementos maiores, menores e traços em minerais e rochas. São divididos em quatro grupos: calcófilos, siderófilos, litófilos e atmófilos.

Os elementos calcófilos possuem afinidade pelo S e estão dispostos sob a forma de sulfetos, como Ag, Hg, Cu, Pb, Zn, Ga, In; os elementos siderófilos se concentram no núcleo da Terra e possuem afinidade pelo Fe, como Au, Mo, Co, Ni, C, P, Sn; os elementos litófilos são os mais abundantes na crosta terrestre, dispostos sob a forma de silicatos e conhecidos também como elementos maiores, possuem grande afinidade pela SiO₂, como Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Li, Na, K, Rb; os elementos atmófilos estão dispostos como gases na atmosfera, como H, C, N, O, He, Ne, Ar (Goldschmidt, 1937; Levinson, 1974).

Halos geoquímicos primários são regiões compreendidas por concentrações empobrecidas ou enriquecidas de um determinado elemento em zonas mineralizadas, rochas encaixantes, solos, vegetação, águas superficiais e subterrâneas, podendo desta forma, destacar um possível alvo geoquímico (Almeida, 2017). A origem do halo geoquímico associada aos processos de formação do alvo (depósito mineral), ou de sua distribuição supergênica, é definido como halo geoquímico secundário (Beus & Grigorian, 1977). O padrão de dispersão de metais na forma de halos geoquímicos adjacentes à sua fonte é um comportamento característico de regiões de clima tropical e relevos mais suaves (Anand & Paine, 2002).

Os processos dispersivos geoquímicos também são caracterizados de acordo com a sua natureza, resultante de processos químicos, mecânicos, bioquímicos, com os elementos sendo remobilizados em ambientes primários ou secundários (Rose *et al.*, 1979). Os processos de

dispersão secundária são divididos em clásticos, hidromórficos e biogênicos. A dispersão clástica ocorre quando partículas sólidas são movimentadas em suspensão, arraste e saltação. A dispersão hidromórfica ocorre quando o agente de dispersão é uma solução aquosa com carga iônica. E por fim, a dispersão biogênica ocorre quando a movimentação é resultante da atividade biológica (Rose *et al.*, 1979).

2.3. Sedimentos de corrente em estudos geoquímicos

Sedimentos ativos de corrente ativo são constituídos por materiais de carga granulométrica que variam de fina a média, caracterizados pelas frações argila, silte e areia. São transportados por cursos d'água ativos, concentrando-se no leito de drenagem. Tais sedimentos refletem a composição média dos pontos de erosão da bacia hidrográfica a montante do local de amostragem, e por isso é um meio amostral muito utilizado e adequado para levantamentos geoquímicos regionais (Salomão, 2020). Podem variar de acordo com: a composição geológica e pedológica da área fonte, a energia de transporte gerada pela topografia, a intensidade e o tipo da cobertura vegetal da bacia e o tempo de atuação dos processos físicos, químicos e biológicos. Sob condições climáticas onde prevalecem os processos de intemperismo químicos, a granulometria dos sedimentos de um canal de drenagem mostrará um predomínio das frações finas. Já em regiões de clima temperado a glacial, sob predomínio dos processos de intemperismo físico, a granulometria grossa será a preponderante (Licht, 2001).

Em resumo, os sedimentos de corrente de um canal de drenagem são compostos por: materiais clásticos, minerais ou fragmentos de rocha resistentes aos processos intempéricos; materiais orgânicos compostos por restos de organismos pertencentes a biota que habitam a bacia, as margens ou o canal de drenagem; material mineral de granulometria majoritariamente fina composto por óxidos hidratados de Fe, Mn e Al e argilominerais; detritos orgânicos ou inorgânicos produzidos pela atividade antrópica.

Além dessas partículas sólidas, deve ser considerada a presença de água intersticial com significativa carga iônica. Dessa forma, sedimentos ativos de corrente são os materiais não consolidados que estão sendo continuamente transportados na corrente da drenagem por saltação, tração ou suspensão (Licht, 1998) e que são comumente usados nas etapas iniciais de pesquisas geoquímicas regionais para a identificação de áreas potencialmente mineralizadas, ou até mesmo para a identificação de fontes de contaminação natural ou antrópica.

2.4. *Background* geoquímico

A especificação de valores de *background* geoquímico é de suma importância devido a aplicação para diversas áreas do conhecimento, podendo englobar desde estudos geológicos voltados à exploração mineral, área na qual este termo originalmente foi usado, até como padrão de referência para formuladores de políticas ambientais. Com o agravamento das questões ambientais nas últimas décadas, o avanço pela conscientização ambiental global e o crescimento de ações que prezam pela sustentabilidade, tem se tornado mais frequentes estudos de *background* geoquímico (Salomão, 2020).

O conceito de *background* geoquímico foi inicialmente adicionado na prospecção geoquímica como forma de distinguir o enriquecimento de um elemento químico em zonas mineralizadas das rochas encaixantes (Hawkes & Webb, 1962). Estudos assim, buscavam relacionar áreas com altos valores, que seriam distintos do *background*, como alvos exploratórios. Mais tarde, o termo começou a ser amplamente difundido em investigações ambientais.

Da perspectiva geoquímica, a “ausência de faixas anômalas” seria equivalente ao *background* geoquímico (Matschullat *et al.*, 2000). O termo é discutido em estudos no campo das ciências ambientais (Gałuszka, 2007; Reimann & Garrett, 2005). Entretanto, ainda não há uma definição ou acordo definitivo sobre seu uso.

Em busca de uma definição que contemple diversos aspectos do meio físico e utilizações, Gałuszka (2007) propõe uma definição para *background* geoquímico, além de propor métodos para a determinação dos valores de *background*.

“Concentração ‘natural’ teórica de uma substância química em uma amostra ambiental específica (ou meio), considerando as variáveis temporais e espaciais da área investigada, que pode ser determinada por métodos diretos, indiretos e integrados.” (Gałuszka 2007).

Apesar de não ser explícito nas definições acima, o *background* geoquímico é reconhecido como um intervalo de concentração (Figura 2) por diferentes autores (Gałuszka, 2007; Gałuszka & Migaszewski, 2012; Reimann & Caritat, 2005), ao invés de um valor único, como normalmente é apresentado, o *threshold*, ou limite superior do *background*.

Um aspecto importante não contemplado pelas definições e autores citados é o método analítico empregado e sua influência sobre o conceito de *background* geoquímico. Johnson e Demetriades (2011) destacam tais condições como um importante aspecto conceitual, além de

ressaltarem a variabilidade natural do *background*. Para exemplificar como os métodos analíticos podem influenciar nos resultados obtidos, a Figura 3 ilustra os métodos de digestão/extração e a resposta analítica esperada com reflexo direto na determinação do *background* geoquímico. A capacidade de extração da digestão multiácidos ou da digestão com água régia é, em comparação, maior do que EDTA ou MMI resultando, conseqüentemente, em concentrações de *background* mais elevadas para um mesmo conjunto de amostras.

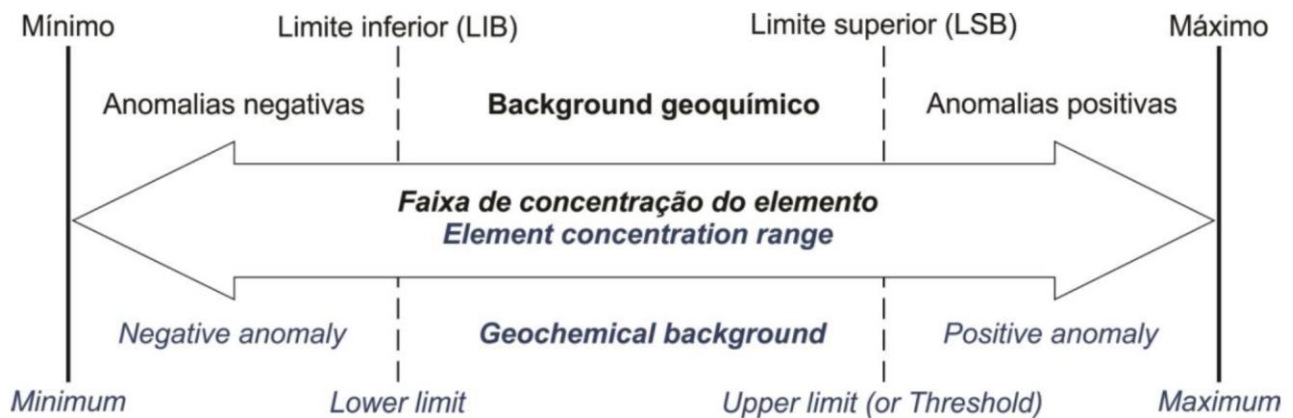


Figura 2 - Representação simplificada do intervalo de concentração do background geoquímico, delimitado entre os limites inferior (LIB) e superior (LSB), também conhecido como *threshold*, em relação à faixa de concentração de um elemento específico presente em um determinado meio amostral, ressaltando as suas anomalias geoquímicas negativas e positivas. (Extraído de Salomão, 2020; Modificado de Gosar *et al.* (2019) após Gałuszka *et al.* (2014).)

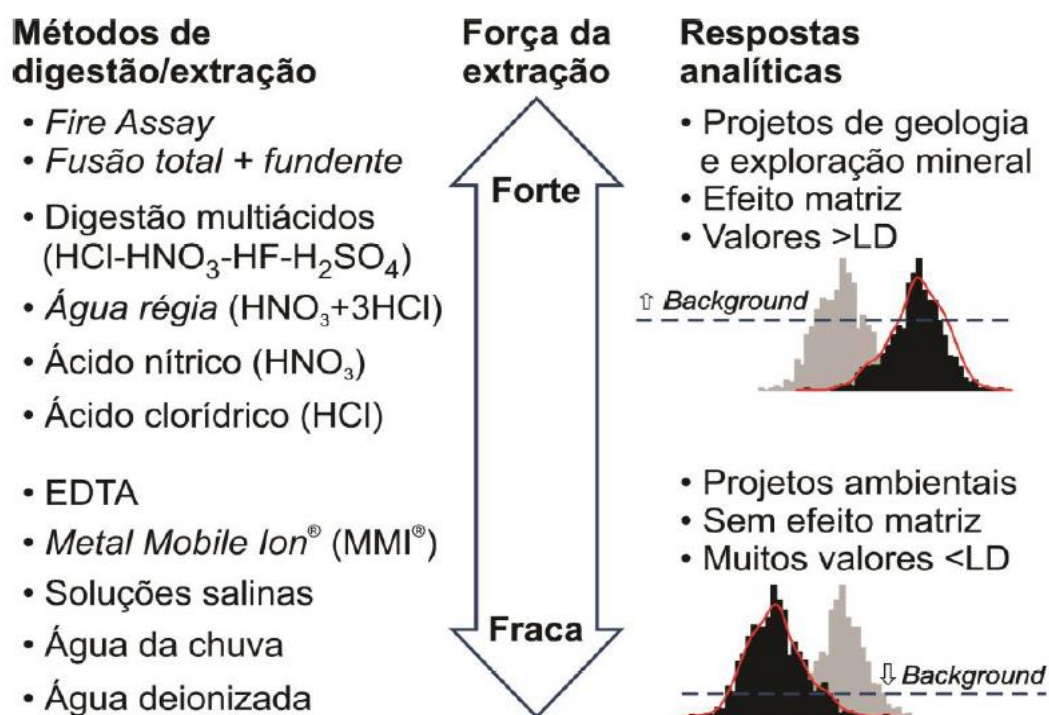


Figura 3 – Diferentes métodos de digestão/extração ordenados segundo as suas respectivas forças de extração em materiais naturais (solos e sedimentos) e a resposta analítica, destacando o efeito esperado nos valores de *background* geoquímico. (Extraído de Salomão, 2020; Baseado em Caritat, 2011; Mann, 2010.)

3. Área de estudo

3.1 Aspectos fisiográficos

3.1.1 Clima

O estado de Minas Gerais apresenta três variedades climáticas segundo o Instituto de Geociências Aplicadas, da Secretaria de Estado de Ciências e Tecnologia (IGA-SECT, 1979). Dentre eles: clima tropical semiúmido, clima tropical de altitude e clima tropical semiárido.

Na área em questão do mapeamento geoquímico, há a predominância do clima tropical semiúmido, subordinado ao tropical de altitude. O primeiro é caracterizado por duas estações bem definidas, com verões chuvosos e invernos secos, e por temperaturas que oscilam entre 12°C e 40°C (média 24°C). O índice pluviométrico anual pode chegar a 1700 milímetros. Enquanto o segundo as temperaturas são um pouco mais amenas, variando entre 10°C e 30°C, e os índices pluviométricos anuais superam os 1300 milímetros.

3.1.2 Vegetação

Segundo Rizzini (1997), a diversidade vegetal disposta pelo Estado de Minas Gerais pode ser dividida em cinco tipos: cerrado, campos limpos, matas secas, matas pluviais e caatinga. A vegetação predominante na área de estudo é o cerrado, com vegetação esparsa, árvores de tamanho variado que chegam a até 8 metros e com copas que não se tocam. As árvores e arbustos são geralmente tortuosos. Este tipo de vegetação está relacionado a solos lixiviados com baixa fertilidade, sendo este comum em várias porções do Estado.

O cerrado ocorre principalmente em áreas com coberturas cenozoicas, elúvio-coluvionares e detríticas. Em áreas com peneplanização, este tipo de vegetação dá lugar a agricultura mecanizada para o plantio principalmente de soja, milho, algodão e café e também a grandes reflorestamentos de eucaliptos. Estas são atividades propícias pela topografia adequada ao uso de máquinas agrícolas.

3.1.3 Geomorfologia

Os domínios geomorfológicos da área de estudo foram classificados no Projeto Vazante-Paracatu do SGB-CPRM conforme Tuller *et. al* (2017):

(I) Domínio 1: corresponde às áreas onde afloram os complexos Monte Carmelo e Abadia dos Dourados, dos grupos Ibiá e Bambuí. Morros ondulados com sistema de drenagem dendrítico e altitudes entre 700 e 800 metros.

(II) Domínio 2: Rochas do Grupo Vazante, com sistema de drenagem dendrítico de alta densidade, vales fechados e abruptos e altitudes de 800 a 900 metros.

(III) Domínio 3: Rochas do Grupo Canastra, com vales profundos, serras alongadas e escarpas abruptas, padrão de drenagem dendrítico de baixa densidade e retangular, fraturas e/ou falhas controlam estruturalmente e altitudes entre 950 e 1300 metros.

(IV) Domínio 4: corresponde à estrutura circular Serra Negra, com cristas alongadas, abruptas, dispostas em formato circular. Possui uma rede de drenagem radial-centrífuga como. As altitudes variam entre 1100 e 1250 metros.

(V) Domínio 5: relacionado às coberturas detríticas compostas por latossolos depositados sobre quartzitos do Grupo Canastra, sobre as rochas vulcânicas do Grupo Mata da Corda e das rochas alcalinas da Serra Negra, formando grandes extensões de superfícies peneplanizadas com alta permeabilidade, altitudes de 950 a 1300 metros.

(VI) Domínio 6: caracterizado por áreas onde predominam calcários e dolomitos, formadas por feições cársticas como grutas, dolinas e sumidouros. Relaciona-se principalmente aos carbonatos do Grupo Bambuí, e aos afloramentos do Grupo Vazante.

3.1.4 Hidrografia

A rede hidrográfica do estado de Minas Gerais é bem diversificada, sendo formada por um sistema de bacias de pequeno a grande porte. As bacias mais representativas são as dos rios São Francisco e Paraná.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco é uma das mais importantes do Brasil e a maior do Estado de Minas Gerais, drenando cerca de 40% do mesmo (BDMG, 2002). A nascente é localizada na serra d'Água, próximo ao município de Medeiros-MG e recebe o nome de rio Samburá. Somente depois de receber as águas que vêm da serra da Canastra, recebe o nome de rio São Francisco. Outros rios importantes da bacia são o Pará, Paracatu, Paraopeba, das Velhas e Verde Grande.

A bacia hidrográfica do rio Paraná também é uma das mais importantes do Estado de Minas Gerais e do Brasil, principalmente pela capacidade de geração de energia elétrica através de suas usinas hidrelétricas que fornecem energia para a região e para regiões vizinhas. Subdivide-se em duas bacias menores, a do rio Paranaíba e a do rio Grande. O rio Paranaíba é o principal formador

do rio Paraná. Tem cerca de 1070 quilômetros de curso até a junção do rio Grande, onde ambos passam a formar o rio Paraná.

A área de estudo está inserida nas duas principais bacias, Paraná e São Francisco, e é drenada por eles e/ou seus tributários, tais como os rios Paracatu, Verde, Dourados, Santo Antônio do Bonito, Santo Inácio, São Marcos e Preto. A rede hidrográfica da área é de alta densidade, e diversificada em portes e formas, mostrando padrões de drenagens característicos conforme os litotipos encontrados na região e/ou condicionantes estruturais (Thuler *et al.*, 2017).

Segundo Thuler *et al.* (2017), onde há predomínio de pelitos e arenitos a drenagem é de padrão dendrítica, enquanto as áreas relacionadas aos alinhamentos estruturais (falhas ou fraturas) tendem a exibir um padrão de drenagem retangular. Nos grandes corpos intrusivos, como o complexo plutônico alcalino de Serra Negra, podem ser encontradas drenagens circulares. Enquanto nas áreas de domínio de calcário, nos carstes, são observados sumidouros, dolinas, grutas e escarpas íngremes, possuindo boa circulação e armazenamento de águas subterrâneas.

3.2. Geologia Regional

A área de estudo está localizada a sul do município de Vazante, e é inserida geologicamente entre o Cráton do São Francisco e a Faixa de Dobramentos Brasília.

O início do Neoproterozóico foi caracterizado por uma fase de rifteamento de idade Toniana de aproximadamente 900 Ma, responsável pela dispersão dos blocos crustais que constituíam o Supercontinente Rodínia (Brito Neves *et al.*, 1999). No decorrer do tempo geológico, ocorreram de forma diacrônica sucessivos eventos colisionais que formaram diversas faixas orogênicas (e.g. Províncias Mantiqueira e Tocantins), consolidando a aglutinação do Supercontinente Gondwana, por volta de 520 Ma (Unrug, 1996).

A Província Tocantins (Figura 4) representa um orógeno de grandes proporções, desenvolvido como consequência da aglutinação de três importantes áreas cratônicas: o Cráton Amazônico, o Cráton do São Francisco, e o Cráton do Parapanema, estando encoberta pela bacia do Paraná (Dardenne, 2000). A Província Tocantins é segmentada em três faixas proterozóicas dobradas: Faixa Araguaia (à norte), Faixa Paraguai (à oeste) e Faixa Brasília (à leste).

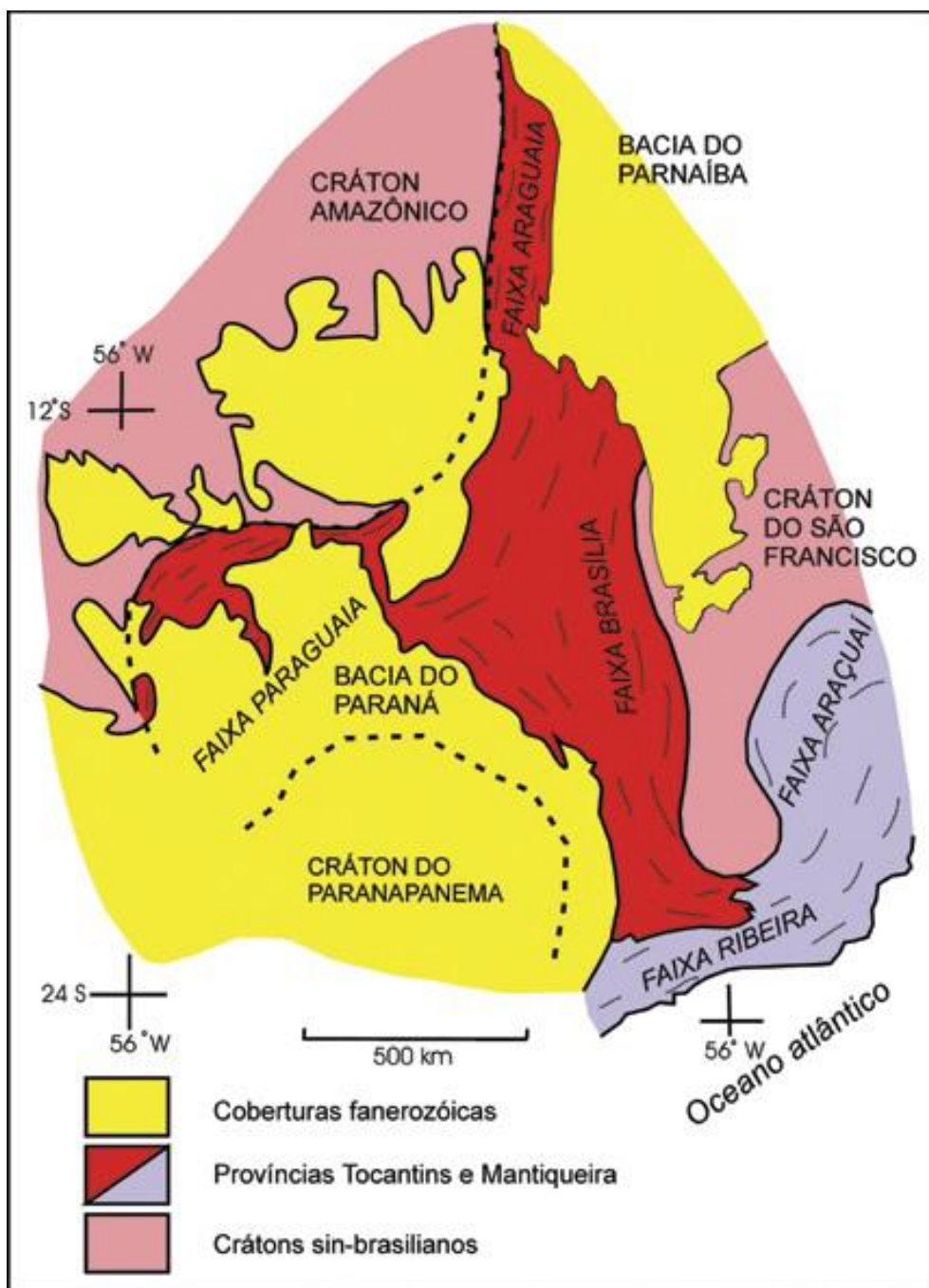


Figura 4 - Esboço tectônico do Brasil Central, com a Província Tocantins e suas faixas móveis associadas (simplificado de Almeida *et al.*, 1981 in Valeriano *et al.*, 2004b).

3.2.1 Contexto geotectônico da Faixa Brasília e da Bacia do São Francisco

A Faixa de Dobramentos Brasília (Almeida, 1977; Marini *et al.*, 1981; Fuck *et al.*, 1994; Dardenne, 2000; Valeriano *et al.*, 2004a) corresponde a um orógeno composto por terrenos em sistema de nappes e empurrões com vergência de oeste para leste contra o Cráton São Francisco. Esta se estende por mais de 1.000 km na direção N-S com aproximadamente 300 km de largura e é caracterizada pelas seguintes unidades:

- Sequências sedimentares e metassedimentares: (a) Grupos Araí e Serra da Mesa; com idades Paleo a Mesoproterózoicas; b) Grupos Paranoá e Canastra (Mesoproterozóico); c) Grupos Araxá, Ibiá e Vazante, com rochas Meso a Neoproterozóicas e d) Grupo Bambuí depositado no Neoproterozóico
- Intrusões ígneas e sequências Vulcano-sedimentares: a) Complexos Máficos-Ultramáficos de Niquelândia, Barro Alto e Canabrava com idades Paleo a Mesoproterozóica; b) Sequências vulcano-sedimentares Mesoproterozóicas de Juscelândia, Palmeirópolis Indianópolis; c) Magmatismo máfico e ultramáfico e intrusões de granitos orogênicos Neoproterozóicas e d) Arco Magmático de Goiás formado por sequências vulcano sedimentares de idade Neoproterozóica.

A Faixa Brasília foi segmentada (Costa e Angeiras, 1971) em dois conjuntos tectônicos distintos separados pela sintaxe dos Pirineus: Faixa Brasília Meridional, de direção NW-SE e foco deste estudo e a Faixa Brasília Setentrional, de direção NE-SW. Posteriormente reformulada e subdividida em 3 unidades tectônicas de oeste para leste (Fuck *et al.*, 1993; Fuck *et al.*, 1994) (Figura 5): zona interna da Faixa Brasília; zona externa da Faixa Brasília, onde ocorrem os grupos Canastra e Ibiá; zona cratônica, onde afloram os grupos Vazante, Paranoá e Bambuí.

A evolução geotectônica da Faixa Brasília vem sendo alvo de diversos estudos e interpretações. Desta forma, Dardenne (2000) propõe um modelo evolutivo de quatro fases (Figura 6) para a faixa meridional: (I) deposição do Grupo Canastra (meso-neoproterozóico), em margem passiva; (II) desenvolvimento do arco magmático a oeste, relacionado à zona de subducção intra-oceânica e deposição dos grupos Araxá, durante estágio de expansão oceânica, e Ibiá, em bacia de retroarco; (III) início do evento colisional brasileiro, e deposição dos Grupos Vazante e Bambuí em grande depressão formada no Front dos cavalgamentos; (IV) início de novo evento colisional, responsável por empurrões de baixo ângulo que colocam os Grupos Araxá, Ibiá e Canastra sobre o Grupo Bambuí.

Por outro lado, Valeriano *et al.* (2008) propõe três estágios evolutivos para Faixa Brasília durante o período de 1.0 a 0.6 Ga. A fase inicial é caracterizada por fase extensional de rifteamento responsável pela formação de uma margem passiva na porção ocidental do paleocontinente São Francisco-Congo e a deposição de sedimentos plataformais neoproterozóicos. Logo após, com a progressiva expansão da bacia oceânica, formou-se uma zona de subducção, associada ao Arco Magmático de Goiás. Com a evolução desta subducção, iniciou-se o estágio final que resultou na colisão do paleocontinente do Paranapanema e dos blocos do Maciço de Goiás e do Arco Magmático de Goiás, consolidando a formação da Faixa Brasília em sua configuração atual.

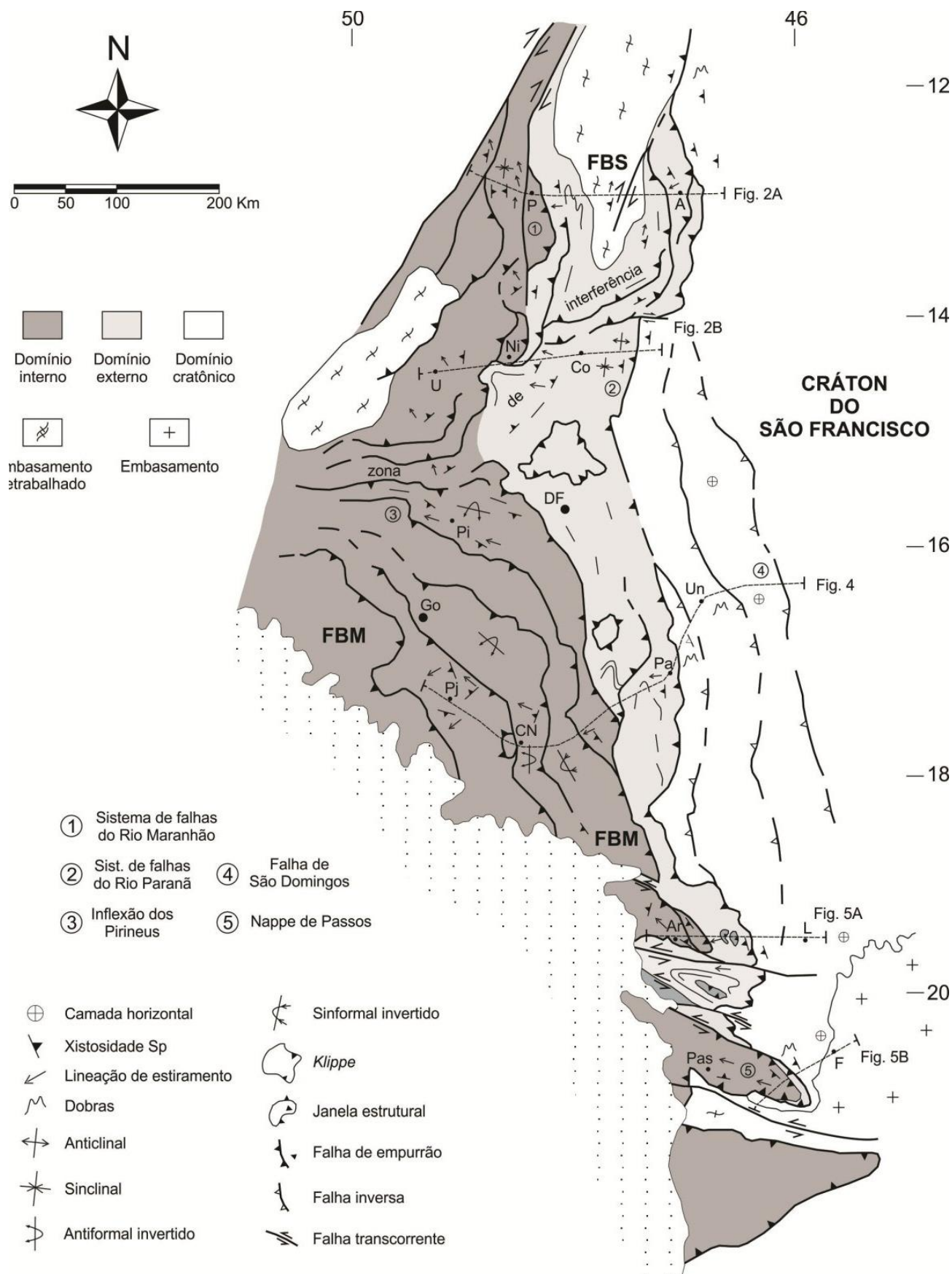


Figura 5 - Mapa estrutural simplificado da Faixa Brasília e porção adjacente do Cráton do São Francisco, com indicação dos domínios cratônico, externo e interno da referida faixa. Modificado de Schobbenhaus *et al.* (1984) e Bizzi *et al.* (2003).

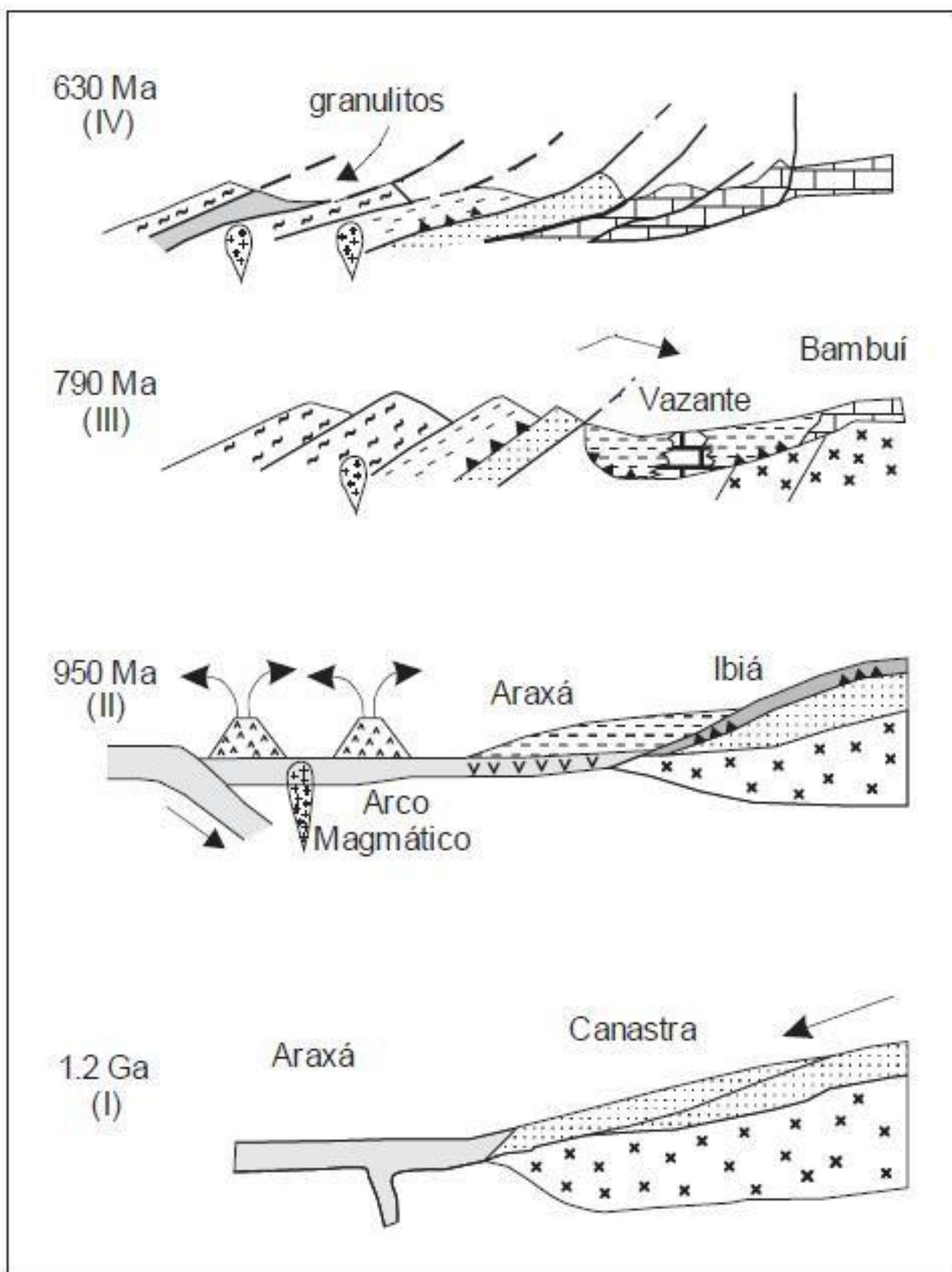


Figura 6 - Evolução geotectônica esquemática do Segmento Sul da Faixa Brasília segundo Dardenne (2000) (extraído de Sanches 2012).

A partir de estudos de proveniência de zircão detrítico e de Sm-Nd, Pimentel *et al.* (2011), propõem a subdivisão da Faixa Brasília em 4 sequências deposicionais (Figura 7). Os Grupos Paranoá, Canastra e Vazante, na porção mais central da faixa, teriam idades mais antigas do que 900 Ma, e são interpretados como uma sequência de margem passiva depositadas ao longo da margem oeste do Cráton de São Francisco. Com relação aos Grupos Araxá e Ibiá, contêm populações de zircões detríticos com idades contemporâneas a 600 Ma, sendo assim interpretadas como depósitos sinorogênicos. O Grupo Bambuí, que cobre grande parte do Cráton de São Francisco, contém também zircões mais recentes, e é interpretado como uma sequência predominantemente em bacia do tipo Antepaís/Foreland, depositado no final da orogênese da Faixa Brasília.

A Bacia do São Francisco (Figura 8) é uma bacia proterozoica que recobre o Cráton do São Francisco (Almeida, 1977; Alkmim, 2004). Estas rochas sedimentares estão sobrepostas ao embasamento constituído por rochas granito-gnáissicas arqueanas e paleoproterozoicas dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas (Teixeira *et al.*, 2000). As coberturas constituem o Supergrupo Espinhaço (Paleo-Mesoproterozoico), o Grupo Bambuí (neoproterozoico) e os grupos depositados a partir dos eventos de subsidência do Paleozoico: Grupo Santa Fé (Paleozoico), Grupo Areado, Urucuia e Mata da Corda (Cretáceo) (Alkmim & Martins-Neto, 2001; Sgarbi *et al.*, 2001).

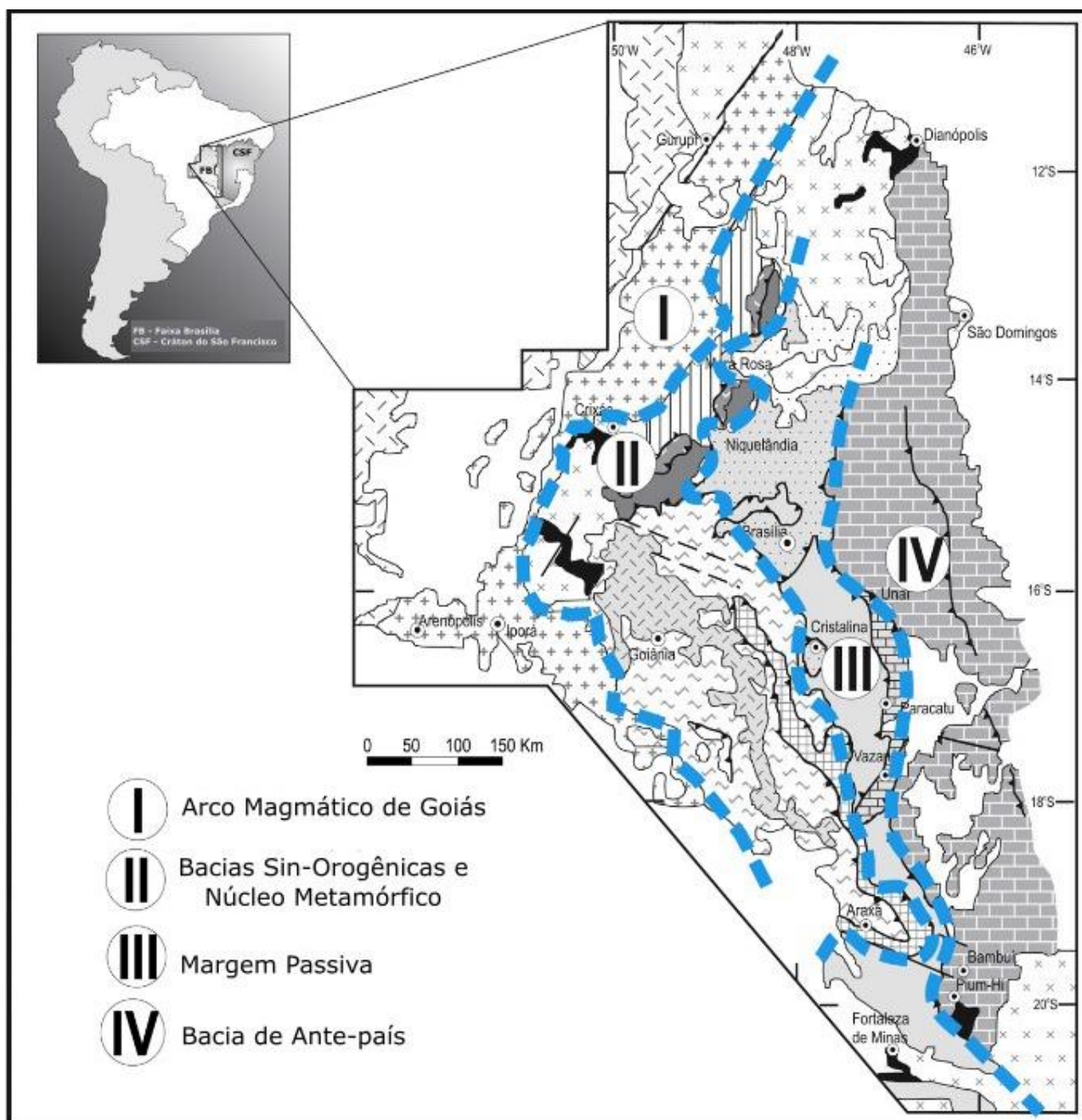


Figura 7 - Unidades supracrustais subdivididas a partir da tectônica da Faixa Brasília de acordo com semelhanças no sistema deposicional. Extraído de Pimentel *et al.* (2011) e modificado por Marques *et al.*, (2015).

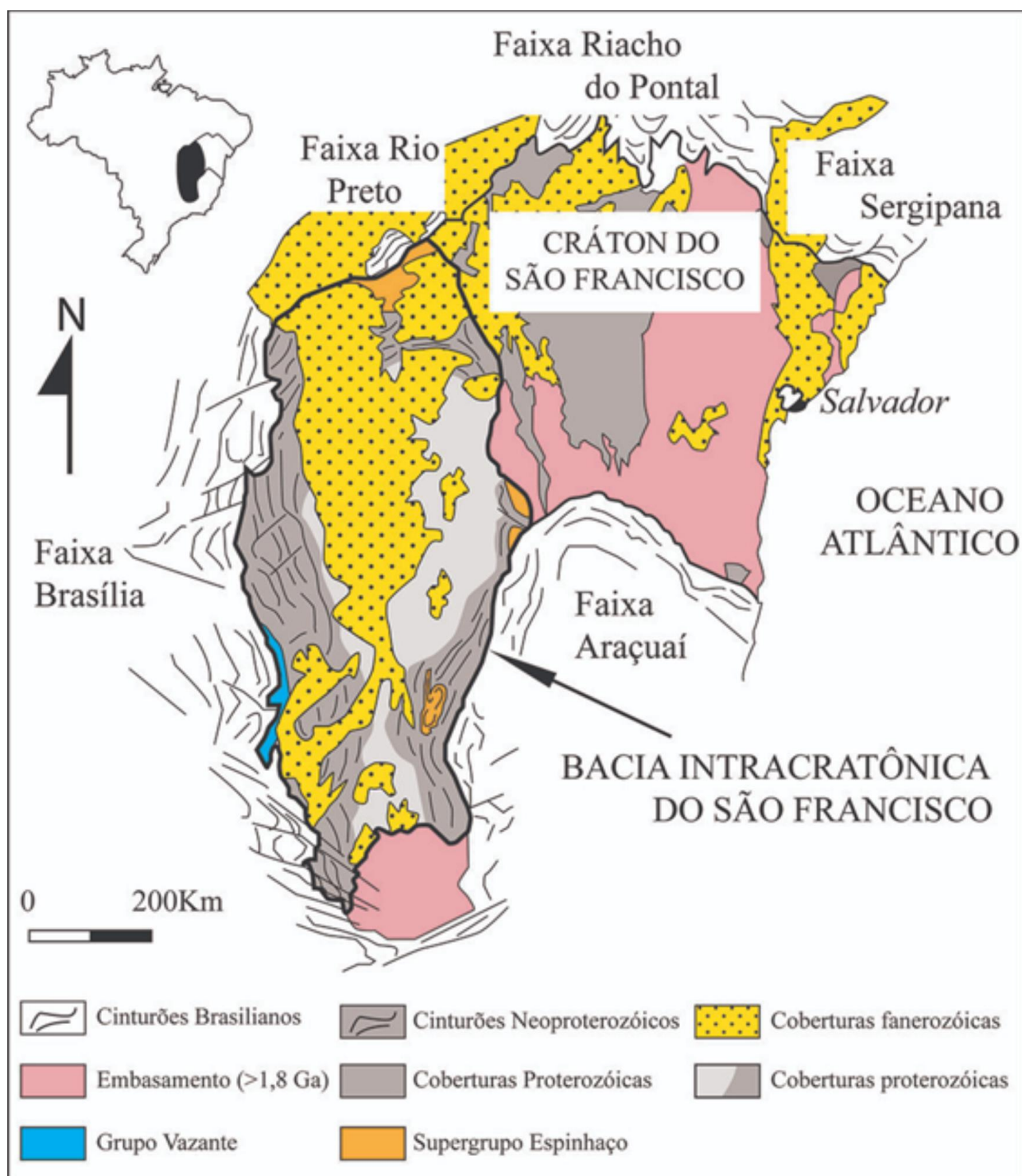


Figura 8 - Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco, mostrando a localização geográfica e delimitação da bacia, modificado de Alkmim & Martins Neto (2001) e extraído de Tonietto (2010).

3.3 Geologia local e Litoestratigrafia

As unidades litoestratigráficas serão descritas a partir de seu posicionamento geotectônico, de acordo com modelo de Fuck *et al.* (1993); Fuck *et al.* (1994) e Uhlein *et al.* (2013). Os compartimentos geotectônicos são: zonas interna e externa da Faixa Brasília e a zona cratônica.

3.3.1 Zona Interna da Faixa Brasília

Nesta zona estão contemplados o Grupo Araxá e os complexos Abadia dos Dourados e Monte Carmelo. Corresponde ao domínio mais ocidental da área mapeada.

- **Grupo Araxá**

Segundo Barbosa (1955), os micaxistos encontrados em torno da cidade de Araxá foram designados como Formação Araxá, renomeada posteriormente para Série e Grupo (Barbosa *et al.*, 1970), termo este que, subsequentemente, tornou-se clássico na literatura geológica da Faixa Brasília. Segundo esse autor, o Grupo Araxá é composto por metamorfitos de fácies epidoto-anfibolito, consistindo essencialmente de micaxistos e quartzitos, com intercalações de anfibolitos. Barbosa *et al.* (1970) referem-se a eles como de duas micas, com predomínio de muscovita e tendo como acessórios: rutilo, zircão, turmalina e estauroлита além de cianita. Os quartzitos não são expressivos, estando presentes como lentes e leitos delgados.

De acordo com Paulsen *et al.* (1974), os micaxistos do Grupo Araxá e os filitos da Formação Ibiá diferem apenas quanto ao grau metamórfico, sugerindo uma zona de transição entre os mesmos a norte de Argenita, contrapondo Barbosa *et al.* (1970) que assinalam falhamento de empurrão entre estas unidades, com os xistos Araxá sobrepostos aos filitos Ibiá.

Conforme reconhecidos em outras áreas da faixa Brasília, Simões & Navarro (1996) reconhecem, três domínios tectônicos: (i) Cratônico, representado por rochas do Grupo Bambuí, (ii) Externo, caracterizados pelas rochas do Grupo Canastra e Formação Ibiá, e (iii) Interno, correspondidos pelas rochas do Grupo Araxá e unidades gnáissicas associadas. Brito Neves *et al.* (1999), reconhecem esta divisão e ressaltam que uma característica particular do Grupo Araxá é a ocorrência de uma série de pequenos corpos serpentínicos distribuídos por uma extensão de cerca de 200 quilômetros formando uma *mélange* ofiolítica (Strieder & Nilson, 1992) que, junto com as lascas de empurrão (Figura 9), sugerem que as rochas do Grupo Araxá seriam correspondentes a uma cunha acrescionária empurrada sobre as sequências plataformais da margem passiva.

Seer (1999) realizou um amplo estudo na Sinforma de Araxá e descreveu zonas de cisalhamento subverticais e sub-horizontais separando as escamas tectônicas constituídas pelos grupos Araxá, Ibiá e Canastra, que representam terrenos tectonoestratigráficos sem vínculo genético entre si. Estes seriam provenientes de regiões geográficas distintas, e reinterpretou o

embasamento cristalino como constituído por corpos graníticos sin-colisionais intensamente deformados.

Pimentel *et al.* (1999, 2001) propõem uma bacia de retro-arco onde se depositou o Grupo Araxá, com formação entre 1,2 Ga e 0,9 Ga, com a deposição dos metassedimentos principalmente entre 0,9 Ga e 0,7 Ga.

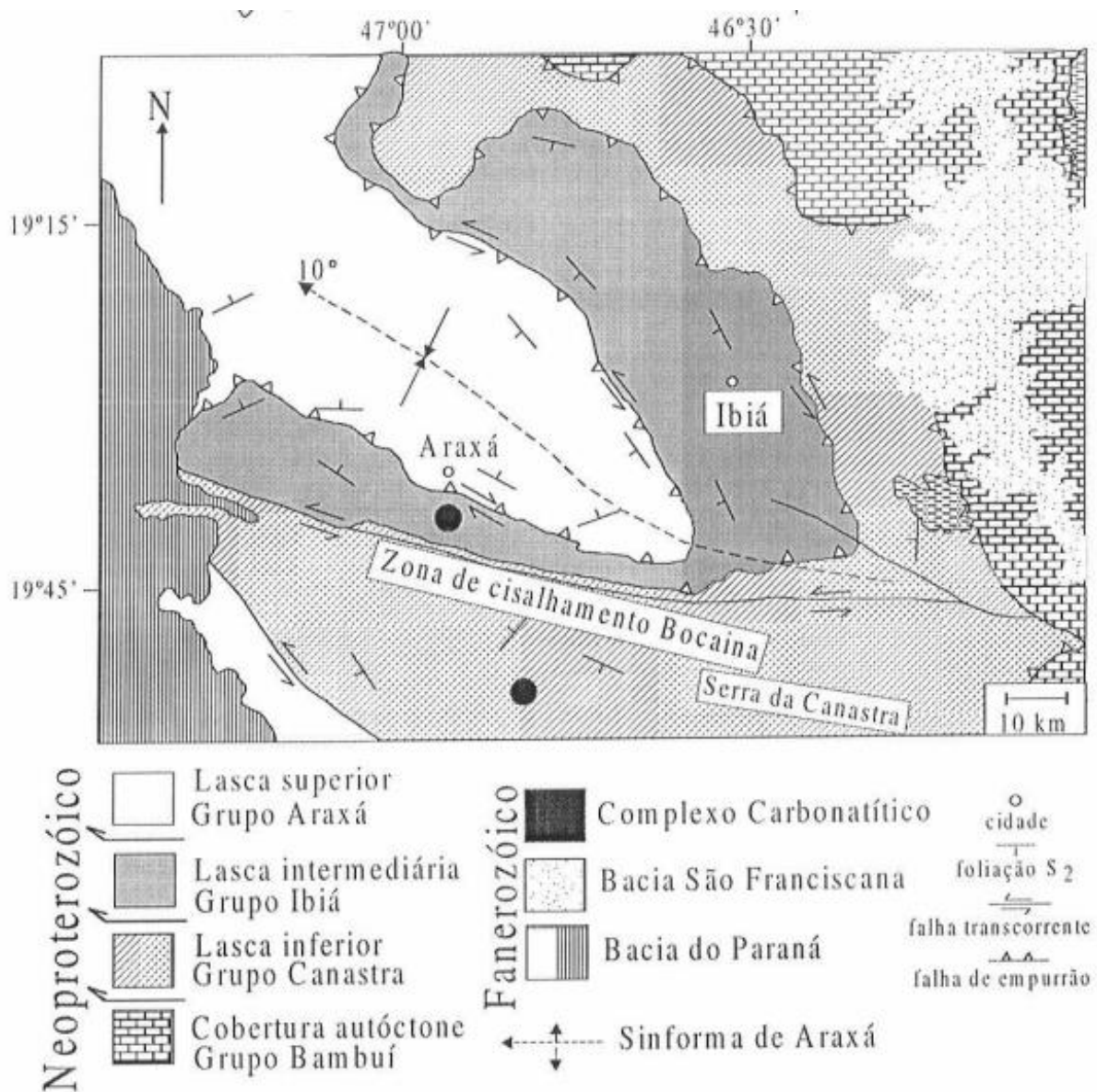


Figura 9 - Mapa Geológico da Sinforma de Araxá (extraído de Seer *et al.* (2001)).

Segundo Seer *et al.* (2001) O metamorfismo principal que afetou as rochas do Grupo Araxá na Sinforma de Araxá ocorreu por volta de 630 Ma sendo datado através de isócrona Sm-Nd em granada-micaxisto, que forneceu idade de 637 ± 12 Ma, e granada anfibolito, que apresentou idade de 596 ± 32 Ma e corresponderia a época de cristalização dos minerais metamórficos.

Portanto, apesar do histórico confuso tanto do aspecto estratigráfico, quanto do geocronológico, o Grupo Araxá é tratado como constituído por micaxistos, quartzitos subordinados e, duvidosamente, para-anfibolitos. A associação de ortoanfibolitos, rochas metavulcânicas ácidas e filitos foi atribuída ao Complexo Abadia dos Dourados (Féboli et al., 2017).

● **Complexo Abadia dos Dourados**

A Sequência Vulcano-Sedimentar de Abadia dos Dourados é considerada como Complexo Abadia dos Dourados, seguindo o Código de Nomenclatura Estratigráfica vigente no Brasil, e foi separada do Grupo Araxá devido a íntima relação entre os litotipos, sendo eles ortoanfibolitos, rochas metavulcânicas ácidas e filitos.

Em mapeamento geológico realizado na região de Abadia dos Dourados, Brod *et al.* (1991) apontaram uma estrutura complexa, caracterizada por blocos tectônicos separados por falhas inversas de baixo ângulo, com direção geral N40°W e vergência NE. Estes blocos foram designados, de E para W, Bloco Ibiá, Bloco Abadia dos Dourados, Bloco Chapada das Perdizes e Bloco Granito-Gnáissico. Como já mencionado, esta associação reconhecida por Complexo Abadia dos Dourados é caracterizada por micaxistos, anfibolitos, metatufos ácidos, metacherts ferruginosos e xistos carbonosos intrudidos por pequenos corpos de biotita granito sin- a tardi-colisionais e tardi-colisionais. Brod *et al.* (1992), a partir de estudos geoquímicos, mostraram que os anfibolitos possuem características químicas compatíveis com basaltos de cadeia meso-oceânica.

A deposição das rochas do Complexo Abadia dos Dourados se deu em ambiente marinho profundo, e foi relacionado ao vulcanismo básico que, segundo análises efetuadas por Brod *et al.* (1992), corresponderia a basaltos toleíticos de alto Fe gerados a partir de fonte mantélica, semelhantes a basaltos do tipo enriquecido (E-MORB). Os autores propõem que os metatufos ácidos depositados estariam ligados a este vulcanismo que subsequentemente, foram recobertos por pelitos (filitos e filitos carbonosos).

● **Complexo Monte Carmelo**

Como litotipos do Complexo Monte Carmelo, foram caracterizadas rochas de composição granítica a granodiorítica, com ocorrências relacionadas de anfibolito e fácies metamórfica epidoto-anfibolito, eventualmente com características intrusivas, que afloram na metade oeste da Folha Monte Carmelo e extremo sudoeste da Folha Coromandel. (Pereira *et al.*, 1983) e (Montes *et al.*, 1984)

As rochas foram descritas como peraluminosas e posicionadas no Complexo Monte Carmelo por Seer *et al.* (2010). E, em conjunto com a paragênese mineral, os associaram como próximos das características dos granitos sincolisionais.

3.3.2 Zona Externa da Faixa Brasília

● Grupo Canastra

Barbosa (1955) descreveu a Formação Canastra como composta de filitos prateados ou acinzentados e quartzitos associados que afloram na região da Serra da Canastra. Almeida (1967b) reclassificou a Formação Canastra elevando-a para grupo, individualizando-a em duas formações: a inferior é denominada Formação Cristalina, composta por quartzitos e a outra superior, Formação Paracatu, onde predominam pelitos, representada por filitos com associação subordinada de metassiltitos, calcários e quartzitos.

Zini *et al.* (1988) dividiu de maneira informal a Formação Paracatu (Grupo Canastra), na região homônima, do topo para base, nas fácies Serra da Anta (de ambiente marinho aberto) e Morro do Ouro (de ambiente marinho restrito). Freitas-Silva (1991), trabalhando no Morro do Ouro, região de Paracatu, propõe uma coluna estratigráfica composta pelas formações Vazante, basal, e Paracatu no topo. Na Formação Paracatu foram descritas as fácies Serra da Anta (topo) e Morro do Ouro (basal).

A partir da denominação do Grupo Canastra, Pereira (1992) trabalhando na região de Coromandel, o distinguiu em três subunidades, designadas informalmente de: (i) basal, de característica turbidítica, com camadas intercaladas com níveis arenosos e argilosos; (ii) medial, com composição arenosa relacionada a tempestades; (iii) superior, de constituição areno-argilosa com estruturas características de ambiente marinho raso à planície de maré.

Baseado no mapeamento realizado entre o oeste mineiro e o leste de Goiás, Freitas-Silva & Dardenne (1994) apresentaram uma coluna estratigráfica para o Grupo Canastra com sugestões de nomes. Neste Grupo foram identificadas quatro unidades: (i) Duas unidades basais, com predomínio de filitos: Membro Morro do Ouro e Membro Serra da Anta, constituem a Formação Paracatu. Enquanto o Membro Morro do Ouro é formada por quartzo-sericita filitos carbonosos intercalados por quartzitos e quartzo-clorita filito, o Membro Serra da Anta é composta por quartzo-sericita-clorita filitos com intercalações de filitos carbonosos, metassiltitos e quartzitos. (ii) Duas unidades superiores: Membro Serra da Urucânia e Membro Serra da Batalha, associadas ao Subgrupo Chapada dos Pilões. O Membro Serra da Urucânia é composta por quartzo-sericita-clorita filitos intercalados com quartzitos e metassiltitos. Já o Membro Serra da Batalha é constituída principalmente por ortoquartzitos com intercalações subordinadas de filitos.

Freitas-Silva & Dardenne (1996) subdividem o Grupo Canastra da base para o topo nas seguintes formações: (i) Serra do Landim, (ii) Paracatu (membros Morro do Ouro e Serra da Anta) e (iii) Chapada dos Pilões (membros Serra da Urucânia e Hidrelétrica da Batalha), mas sem delimitação do empilhamento estratigráfico.

Rodrigues (2008) sugere uma coluna estratigráfica para o Grupo Canastra (Figura 10) representando a porção noroeste de Minas Gerais, baseada em Freitas-Silva & Dardenne (1994, 1996). Nesta coluna o Grupo Canastra foi caracterizado da base para o topo da seguinte forma: (i) Formação Serra do Landim, formada por lentes de calcário e margas, variando para níveis de calciofilitos a calcioxistos; (ii) Formação Paracatu, dividida da base para o topo em (a) Membro Morro do Ouro, composto por filitos carbonosos com intercalações de quartzitos; (b) Membro Serra da Anta, formado por sericita filitos, com intercalações de filito carbonoso e quartzitos; (iii) Formação Chapada dos Pilões, composta por (a) Membro Serra da Urucânia, inferior, representado por metarritmitos arenosos com níveis de quartzito; (b) Membro Hidrelétrica da Batalha, formado predominantemente por quartzitos com níveis finos de filitos.

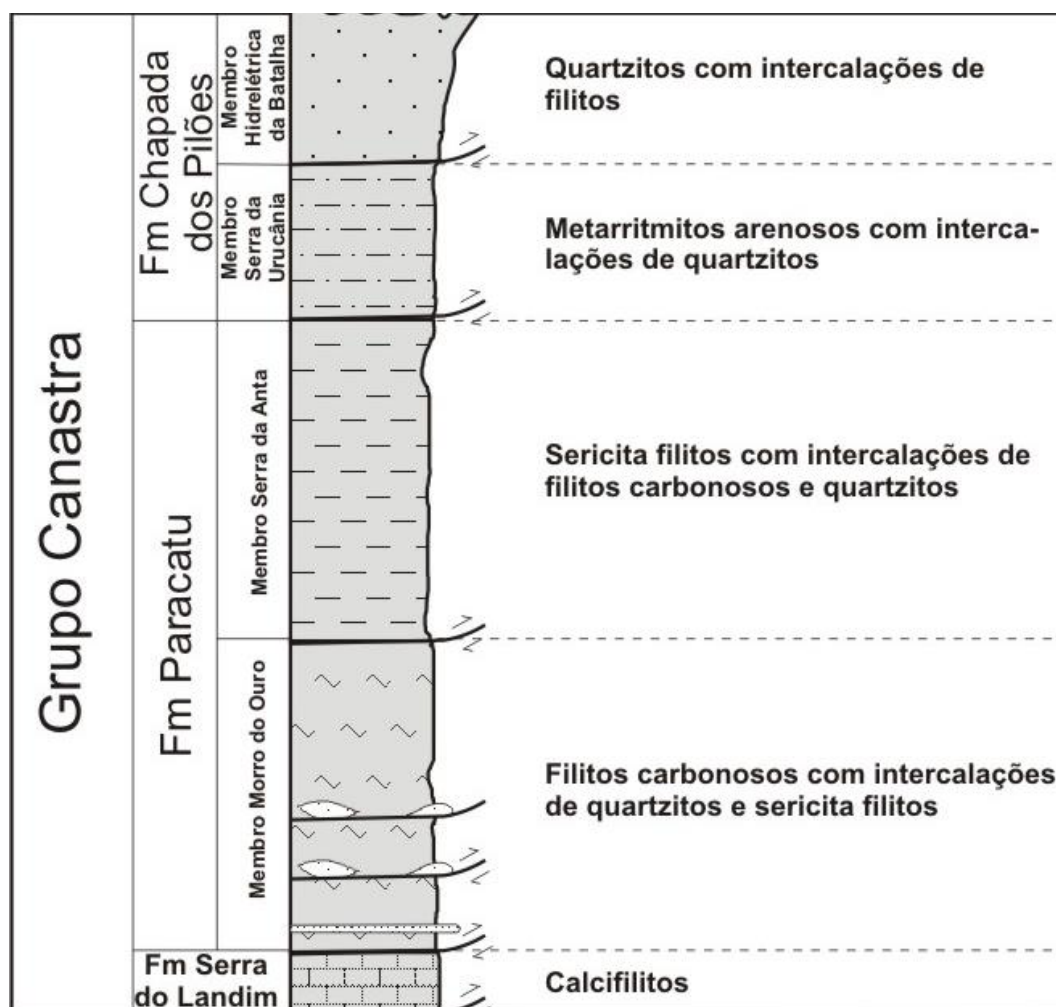


Figura 10 - Coluna estratigráfica do Grupo Canastra (modificado de Dardenne, 2000 e Pereira, 1992), segundo Rodrigues (2008).

- **Grupo Ibiá**

As rochas desta unidade foram primeiramente descritas por Barbosa *et al.* (1970), a partir de uma seção-tipo em uma pedreira localizada na cidade de Ibiá-MG. Os autores denominaram de Formação Ibiá os calcioxistos cavalgados por micaxistos do Grupo Araxá.

A origem da Formação Ibiá foi atribuída como glacial por Karfunkel & Hoppe (1988) e Tompkins & Gonzaga (1989), sendo relacionada à glaciação do Proterozoico Superior na porção centro-leste do Brasil. Este evento glacial regional foi responsável pela deposição dos paraconglomerados nas bordas leste e oeste do Cráton do São Francisco.

Pereira (1992) elevou a formação Ibiá a Grupo e a dividiu nas seguintes formações: Cubatão e Rio Verde. A Formação Cubatão posiciona-se na base da unidade e é composta essencialmente de diamictitos polimíticos, sendo recoberta pela Formação Rio Verde, composta por filitos rítmicos, eventualmente calcíferos.

Seer (1999), a partir de análises químicas de elementos maiores e traços, estudou a proveniência dos sedimentos do Grupo Ibiá e indicou o ambiente geotectônico de arco de ilha como fonte destes sedimentos.

Dados publicados de Rodrigues *et al.* (2010); Pimentel *et al.* (2011) e Dias (2011) possuem semelhança entre idades dos zircões desta mesma unidade, além de similaridade no formato dos grãos e na quantidade de clastos de quartzito provenientes do Grupo Canastra nos paraconglomerados da Formação Cubatão. Conforme este conjunto de informações, estes autores interpretam que as possíveis áreas fontes responsáveis pela deposição desta unidade são: Cráton do São Francisco-Congo e o arco magmático de Goiás.

3.3.3 Zona do Cráton São Francisco

• Grupo Vazante

As rochas que compõem o Grupo Vazante foram inicialmente relacionadas ao Grupo Bambuí por diversos autores (Barbosa (1965), Braun (1968), e Madalosso & Valle (1978). Dardenne (1979, 1981) identificou três megassequências sedimentares distintas, distribuídas de leste para oeste: (i) sequência argilosa da Serra do Garrote; (ii) sequência argilo – dolomítica de Vazante; e (iii) sequência arenosa Paracatu, cavalcando as duas anteriores.

Uma nova interpretação estratigráfica foi proposta por Rigobello *et al.* (1988) para a região entre Vazante e Paracatu, com os seguintes pontos:

- Elevação da categoria de sequência da Serra do Garrote para formação;
- Restrição da denominação de Formação Vazante aos membros Serra do Poço Verde e Morro do Calcário;
- Divisão da Formação Vazante em: Membro Morro do Pinheiro, inferior; e Membro Pamplona, superior;
- Definição da Formação Lapa, disposta acima da Formação Vazante, subdividida nas fácies Cercado, Serra do Velosinho, Serra da Lapa e Serra do Landim;
- Posicionaram no Grupo Paranoá as formações Serra do Garrote, Vazante e Lapa, recém-criadas, em conjunto com a Formação Paracatu.

Dardenne *et al.* (1998) e Dardenne (2000) redefiniram a Formação Vazante, sendo elevada ao patamar de Grupo, não mais correlacionado à sedimentação de antepaís do Grupo Bambuí, e sim a uma sequência marinha de margem passiva pelítico-carbonática, de aproximadamente 5 km de espessura, dividida em cinco formações, resumidas na Figura 11.

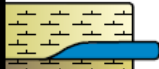
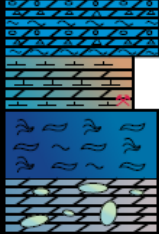
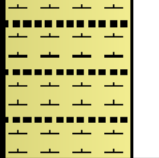
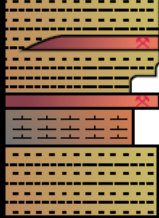
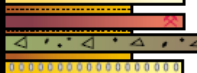
Grupo	Formação	Membro	Descrição e depósitos/ocor- rências minerais associadas	
VAZANTE	Lapa	Serra da Lapa	Ardósias carbonatadas cinzas Lentes de dolomitos	
		Serra do Velosinho	Ardósias carbonatadas pretas	
	Morro do Calcário	Pamplona Superior	Bioherma estromatolítico, fácies de brechas e dolarenitos Depósitos minerais: MORRO AGUDO, Fagundes e Ambrósia	
	Serra do Poço Verde	Pamplona Intermediário	Dolomitos rosados com esteiras estromatolíticas nódulos de barita e gretas de ressecamento	
		Pamplona Inferior	Ardósias cinza a verde com intercalações de dolomitos rosados Depósito mineral: Vazante	
		Morro do Pinheiro Superior	Dolomitos cinza-escuros com esteiras estromatolíticas e birds eyes	
		Morro do Pinheiro Inferior	Dolomitos cinza-claros a rosados com intercalações de brechas e dolareníticos	
	Serra do Garrote		Ardósias cinzas com lentes de quartzitos esporádicas	
	Lagamar	Sumidouro	Bioherma estromatolítico Calcários cinza-escuros Brechas dolomíticas	
		Arrependido	Conglomerados	
	Rocinha		Ritmitos Depósito mineral: Lagamar - fosforito	
			Ardósias cinza-escuras, piritosas e fosfatadas Depósito mineral: Rocinha - fosforito	
			Ritmitos	
	Santo Antônio do Bonito		Intercalações de quartzitos, fosforitos, diamictitos e ardósias Ocorrência mineral: Coromandel - fosforito	

Figura 11 - Coluna estratigráfica do Grupo Vazante segundo Dardenne (2000), extraída de Neves (2011).

Apesar de Dardenne (2000) posicionar as unidades basais no Grupo Vazante, Formações Rocinha e Santo Antônio do Bonito, trabalhos mais recentes indicam que houve inversão tectônica na região, posicionando essas unidades mais novas abaixo de outras mais antigas (e.g Formação Serra do Garrote). Deste modo, correlacionam essas duas formações ao Grupo Bambuí (Pinho *et al.*, 2017; Misi *et al.*, 2014; Marques *et al.*, 2015).

- **Grupo Bambuí**

O Grupo Bambuí (750-600 Ma) constituiu a cobertura neoproterozóica predominante em relação à distribuição no Cráton do São Francisco. É caracterizado pela associação de litofácies bioquímicas e siliciclásticas, depositados na forma de sedimentos plataformais a partir de mar epicontinental extenso (Iglesias & Uhlein, 2009).

O registro estratigráfico clássico do Grupo Bambuí começou a ser identificado a partir da proposta de Costa & Branco (1961). Foi elaborada uma seção estratigráfica entre Belo Horizonte e Brasília, repartindo a “Série Bambuí” nas seguintes Formações: Sete Lagoas, Carrancas e Rio Paraopeba. Sendo a última composta pelos membros Serra de Santa Helena (base), Lagoa do Jacaré, Três Marias e, no topo, Serra da Saudade. No trabalho original, a Formação Paraopeba é denominada como Formação Rio Piracicaba, o que é entendido como um erro de redação.

Buscando a uniformização da nomenclatura estratigráfica proposta por Costa & Branco (1961), Dardenne (1978, 1979), através de correlações litoestratigráficas na bacia, dividiu o Grupo Bambuí nas formações Jequitaí (basal), Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias.

A Formação Serra da Saudade merece destaque por cobrir grande parte da área estudada. Costa & Branco (1961) usaram a denominação Serra da Saudade para designar um conjunto de rochas predominantemente siliciclásticas constituído por siltitos, ardósias verdes e calcíferas que ocorrem na Serra da Saudade, próximo da cidade de Cedro do Abaeté-MG.

A Formação Serra da Saudade foi subdividida em cinco litofácies conforme Lima *et al.* (2007), de acordo com a seguinte filiação genética: ritmito pelito-arenoso; carbonatos retrabalhados; ritmito pelito-arenoso verde (verdete); arenito fino com estrutura *hummocky*; e ritmito fosfático.

O Projeto Sete Lagoas – Abaeté (Signorelli, in: Tuller *et al.*, 2010) descreveu a Formação Serra da Saudade como representada por um conjunto siliciclástico constituído por siltitos, siltitos/argilitos verdes (verdetes), arenitos e argilitos. Além desse conjunto siliciclástico bem característico, também descrito por outros pesquisadores, o Projeto também descreveu conglomerados e lentes de calcário associados à essa formação.

Vários pesquisadores procuraram identificar o tipo de bacia em que se depositaram as rochas do Grupo Bambuí. Dentre eles Simões & Valeriano (1990), Alkmim & Martins Neto (2001), Dardenne (2000), Martins-Neto *et al.* (2001) e Reis & Alkmim (2015) que interpretam a deposição dos sedimentos do Grupo Bambuí em ambiente de bacia de antepaís. Já Marshak & Alkmim (1989) e Zalán & Romeiro Silva (2007), interpretaram apenas a deposição das formações superiores Serra da Saudade e/ou Três Marias como de ambiente de antepaís, enquanto as formações inferiores foram depositadas em ambiente de bacia intracratônica.

• Complexo Serra Negra

A suíte intrusiva de Serra Negra ocorre na porção sudoeste da Folha Patos de Minas, imediatamente ao sul das cidades de Guimarães e de São João da Serra Negra e logo a leste da cidade de Patrocínio. Tem forma ligeiramente circular a ovalada no sentido leste-oeste, com diâmetro máximo de 17 quilômetros e topo a 1250 metros de altitude. A GEOSOL - Geologia e Sondagens Ltda mapeou em detalhe (escala 1:10.000) como parte Projeto Nióbio-Fosfato-Titânio, do Ministério das Minas e Energia (MME)/DNPM (1970), em estudo global sobre os complexos de Tapira, Barreiro, Salitre, Serra Negra e Catalão. A partir da realização de análises químicas de testemunhos de sondagem, Mariano & Marchetto (1991) estudaram em detalhe as rochas destas intrusões, sendo consideradas concomitantes ao vulcanismo Mata da Corda, tendo ocorrido entre 80 e 90 Ma.

A prospecção de urânio nas chaminés alcalinas do Triângulo Mineiro foi realizada, ao fim da década de 1960 e início de 1970, pelo Ministério das Minas e Energia, com interesse voltado ao programa nuclear. Em Serra Negra, o resultado foi abaixo das expectativas em virtude dos teores de urânio não excederem 40 ppm em aluviões de cinco áreas consideradas anômalas, com proeminência do tório como elemento radioativo mais proeminente, de teor também não econômico (Souza Filho, 1974). Torres (1977) executou prospecção aluvionar na borda norte do maciço de Serra Negra para detecção de minerais-minério. Uma grande variedade foi encontrada, porém sem volume econômico. Dentre eles: anatásio, andaluzita, anfibólios, apatita, calcopirita, cianita, coríndon, crandalita, epidoto, estauroлита, granada, hematita, ilmenita, leucóxênio, limonita, magnetita, malaquita, monazita, olivina, ouro, perovskita, pirita, piroxênios, rutilo, siderita, titanita, turmalina, vermiculita, xenotima e zircão.

Grasso (2010) estudou em detalhe a petrologia do maciço de Serra Negra, o descrevendo como uma intrusão dunítica formada por cumulos finos compostos predominantemente de olivina, Cr-magnetita, flogopita aluminosa e carbonato intercumulus. Duas intrusões de magnesiocarbonatito foram reconhecidas neste dunito: uma central e outra setentrional. A primeira composta por cumulos grossos de dolomita, com barita associada esporadicamente e a segunda por magnesiocarbonatitos finos a grossos com magnetita e flogopita subordinadas. Foram identificados também apatita calciocarbonatitos, cumulos fosforíticos, bebedouritos, diques de traquitos e de flogopita picritos. Estas intrusões carbonatíticas causaram brechação nas encaixantes.

• **Corpos kimberlíticos**

O principal estudo sobre rochas kimberlíticas desta região foi realizado pela SOPEMI, empresa subsidiária da sul africana De Beers, com a identificação de mais de 600 corpos apenas em Minas Gerais (Féboli et al., 2017). Os kimberlitos afloram em corpos não mapeáveis na escala 1:100.000. Ocorrem principalmente nas Folhas Folha Coromandel, região de Abadia dos Dourados, e na Folha Monte Carmelo, e dispersos nas folhas Patos de Minas e Lagamar.

Os kimberlitos, de modo geral, são rochas cinza-esverdeadas a amarronzadas compostas de uma matriz de granulação fina a média contendo macrocristais de olivina e flogopita, e xenólitos angulosos a arredondados, de tamanhos variáveis, da encaixante, com borda de reação com cerca de 1 a 2 milímetros de espessura. Os afloramentos de rochas frescas são raros, mas é possível perceber as características das rochas nos materiais intemperizados. O solo das rochas kimberlíticas geralmente é contrastante com o das encaixantes. É marrom escuro, argiloso, com capacidade para desenvolver vegetação arbórea.

4. Materiais e métodos

A metodologia do trabalho pode ser dividida nas seguintes etapas: **(1)** Amostragem; **(2)** Análises laboratoriais; e **(3)** Processamento de dados, dividido em (a) análises estatísticas (uni e multivariadas), (b) aplicação de métodos na determinação de *Background* geoquímico; (c) construção do ambiente virtual de sistema de informação geográfica (SIG). O item 1 foi executado pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM, o item 2 executado pelo laboratório SGS - GEOSOL® e, por fim, o item 3 realizado pelo autor.

4.1 Amostragem

As amostras analisadas neste trabalho foram coletadas pelo SGB - CPRM em campanha de amostragem executada pelo Projeto Vazante-Paracatu de 2017. A distribuição das estações de amostragem de sedimentos de corrente respeitou critérios determinados pela metodologia de mapeamento geoquímico de levantamentos geológicos regionais, e a densidade alcançou um padrão ideal de uma amostra a cada 10 quilômetros totalizando 3.640 amostras. A área de cobertura do Projeto Vazante-Paracatu é de cerca de 36.000 km², e a área definida para este estudo é um recorte da área original desse projeto, com aproximadamente 9.000 km². Este estudo abrange um total de 708 das 3.640 amostras de sedimentos de corrente coletadas pelo projeto. A Figura 12 mostra a distribuição espacial dos pontos de amostragem sob modelo digital de elevação (MDE).

As amostras de sedimentos ativos de corrente foram coletadas em canal ativo da drenagem, de forma composta, em trechos mais retilíneos, em um total de 5 a 10 porções e em um raio máximo de 50 metros do ponto definido por coordenadas. Estes pontos de coleta envolveram uma expressiva varredura nas drenagens com o objetivo de alcançar uma melhor representatividade da amostragem. Em 210 estações de sedimentos ativo de corrente foram coletadas duplicatas de campo para posterior teste de variabilidade amostral dos elementos estudados. Todas as informações acerca das amostras de sedimentos de corrente foram arquivadas na base de dados geoquímicos do SGB - CPRM e disponibilizadas publicamente no site da empresa.

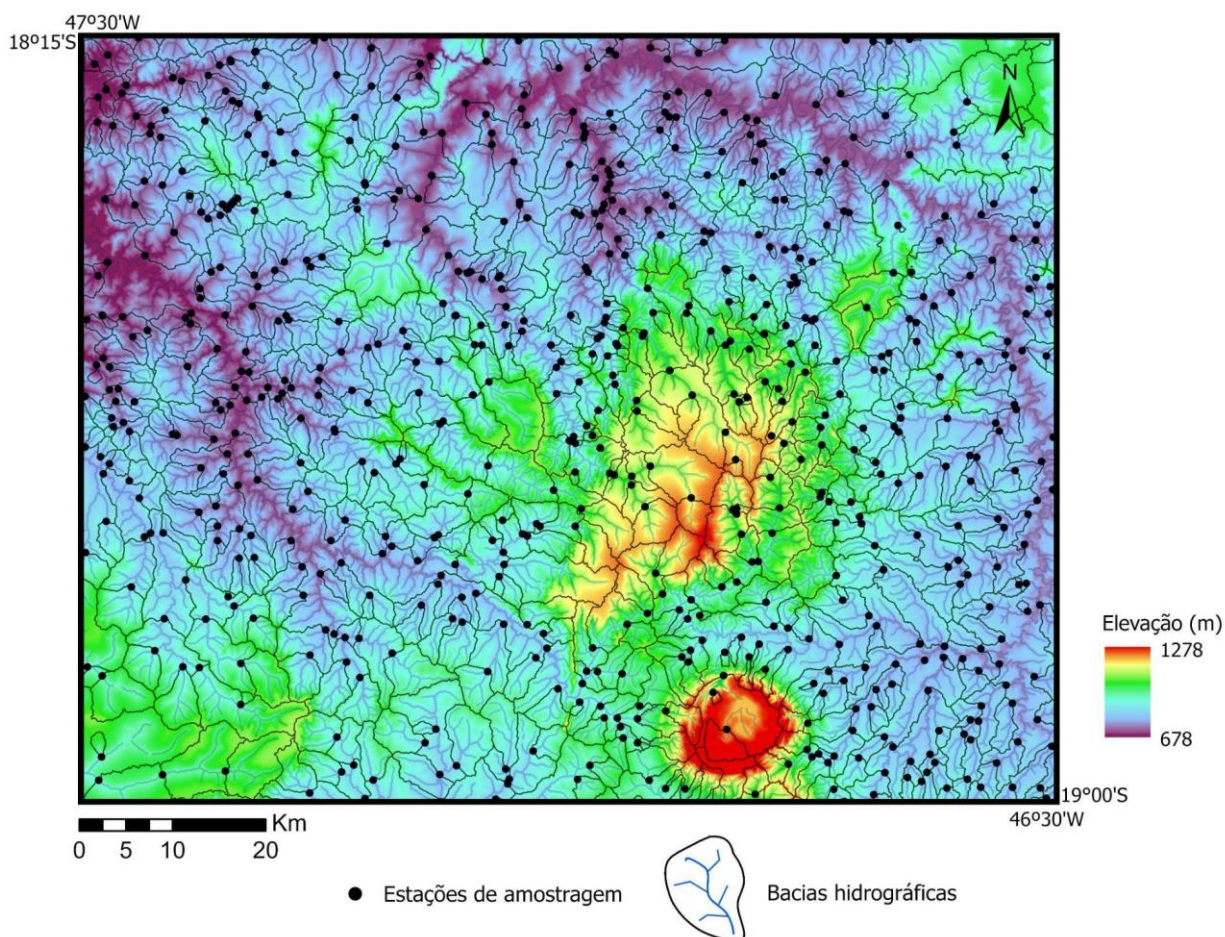


Figura 12 - Disposição das estações de amostragem para sedimentos de corrente ao longo da área de estudo sob modelo digital de elevação. Os pontos pretos indicam as estações de amostragem

4.2 Análises laboratoriais

O laboratório analítico responsável por todo tratamento das amostras de sedimentos de corrente foi a SGS - GEOSOL®, incluindo desde o tratamento físico como secagem e peneiramento até a etapa de análise química e emissão de laudos das amostras. É importante que esta etapa seja realizada por apenas um responsável, para evitar possíveis contaminações das amostras via terceiros. Em termos de preparação, as amostras de sedimentos de corrente foram secas a 60°C em estufa. Em seguida foram quarteadas e posteriormente, peneiradas em malhas com abertura < 80 mesh (< 0,175 mm). Ao término da secagem, os torrões (aglomerados acima de 8 mm), estes foram desagregados.

Posteriormente ao tratamento físico, as polpas peneiradas < 80 mesh de cada amostra foram submetidas à pulverização e digestão com água régia. Para este processo foi utilizado 0,5 grama de amostra misturada a 3 ml de água régia, que é composta por partes de ácido clorídrico (HCl), ácido nítrico (HNO₃) na proporção de 3:1. A abertura da polpa da amostra com a água régia foi feita

sobre chapa aquecedora a 95°C durante uma hora. Após a digestão com os ácidos, o extrato originado é diluído a 10 ml de água.

Os extratos foram, então, submetidos à análise em ICP-OES (emissão óptica com plasma indutivamente acoplado) para os elementos maiores e em ICP-MS (espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado) para os elementos traços resultando em um total de 50 elementos químicos analisados. Tais elementos e seus respectivos limites de detecção são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Elementos analisados e seus respectivos limites inferiores e superiores de detecção.

Elementos	Unidade	Limite inferior de detecção	Limite superior de detecção
Ag	ppm	0,01	10
Al	%	0,01	1
As	ppm	1	1%
Au	ppm	0,1	100
B	ppm	10	1%
Ba	ppm	5	1%
Be	ppm	0,1	1%
Bi	ppm	0,02	1%
Ca	%	0,01	15
Cd	ppm	0,01	1%
Ce	ppm	0,05	0,10%
Co	ppm	0,1	1%
Cr	ppm	1	1%
Cs	ppm	0,05	0.1%
Cu	ppm	0,5	1%
Fe	%	0,01	15%
Ga	ppm	0,1	1%
Ge	ppm	0,1	1%
Hf	ppm	0,05	0,05%
Hg	ppm	0,01	1%
In	ppm	0,02	0,05%
K	%	0,01	15
La	ppm	0,1	1%
Li	ppm	1	5%
Mg	%	0,01	15
Mn	ppm	5	1%
Mo	ppm	0,05	1%
Na	%	0,01	15
Nb	ppm	0,05	0,10%
Ni	ppm	0,5	1%
P	ppm	50	1%
Pb	ppm	0,2	1%
Rb	ppm	0,2	1%
Re	ppm	0,1	1%
S	%	0,01	5
Sb	ppm	0,05	1%
Sc	ppm	0,1	1%
Se	ppm	1	0,10%
Sn	ppm	0,3	0,10%
Sr	ppm	0,5	1%
Ta	ppm	0,05	1%
Te	ppm	0,05	0,10%
Th	ppm	0,1	1%
Ti	%	0,01	15
U	ppm	0,05	1%
V	ppm	1	1%
W	ppm	0,1	1%
Y	ppm	0,05	1%
Zn	ppm	1	1%
Zr	ppm	0,5	1%

4.3 Processamento de dados e análise estatística

O tratamento de dados e a análise estatística foi realizada através dos softwares: Statistica@ (StatSoft - versão 14), Microsoft Excel, CoDaPack (Version 2.02.21; Comas-Cufí and Thió-Henestrosa, 2011). Neste trabalho, a análise e o processamento de dados geoquímicos estão inseridos em um protocolo amplamente aceito e aplicado por diversos autores (Reimann *et al.*, 2008; Caritat *et al.*, 2001; Grunsky, 2010; Salomão, 2020; Marques *et al.*, 2023), utilizando métodos estatísticos usuais em três etapas principais: a) análise estatística univariada, b) bivariada e c) multivariada.

Na primeira etapa, as características da distribuição dos elementos analisados são mostradas por meio de gráficos, como Box-Plot, histogramas, gráficos de probabilidade normal, um sumário estatístico com as principais características dos elementos (p. ex., amplitude, médias, desvio padrão, desvio absoluto da mediana, mediana, e coeficiente de variação). O teste de Shapiro-Wilk é utilizado para avaliar a normalidade dos dados e, por fim, o uso de mapas geoquímicos classificados por percentil dos elementos. Para todos os elementos analisados, as concentrações encontradas nos limites de detecção inferior (LDI) e superior (LDS) do método analítico foram substituídas por $LDI/2$ e $1,5 \cdot LDS$, respectivamente, permitindo a análise dos dados geoquímicos censurados. A maioria desses procedimentos foi realizada com os dados brutos e, posteriormente, log-transformados para evidenciar as principais diferenças estatísticas entre distribuições normais e não normais (Grunsky, 2010; Reimann *et al.*, 2008; Marques *et al.*, 2023). De modo geral, dados geoquímicos mostram uma distribuição assimétrica positiva devido a presença dos *outliers* (Tukey, 1977). Desse modo, princípios estatísticos não paramétricos foram adotados para a *exploratory data analysis* (EDA).

Na segunda etapa, com o objetivo de estimar a relação entre dois elementos (variáveis), a análise estatística bivariada foi executada através dos seguintes métodos clássicos de correlação: Pearson e Spearman (Reimann *et al.*, 2008; Marques *et al.*, 2023). Como os dados geoquímicos não apresentam distribuição normal, foi escolhido o teste não paramétrico de Spearman, onde a matriz de correlação é disposta em tabela segundo as seguintes cores e seus respectivos intervalos de valores: (a) Vermelho – 0,99 a 0,80, para alta correlação; (b) Amarelo – 0,80 a 0,65, para boa correlação; e (c) Verde – 0,65 a 0,50, para correlação regular. Estes gráficos de correlação foram exibidos através do EZCorrGraph (Campos e Licht, 2021), um aplicativo online que gera o diagrama de correlação (correlograma) a partir de uma matriz de correlação ou uma lista de pares de variáveis, considerando apenas elementos com coeficiente de variação (r) > 0.70 . Por fim, gráficos de dispersão expressando as mais altas correlações entre elementos também foram gerados através dos dados transformados.

Na terceira etapa, a análise fatorial foi o método estatístico utilizado, em virtude de ser amplamente utilizado na interpretação de levantamentos geoquímicos para sedimentos de corrente e solo (Reimann *et al.*, 2002; Carranza, 2011). Foram adotadas ferramentas estatísticas multivariadas e técnicas de geoprocessamento, por meio de Análise de Dados Composicionais (Compositional Data Analysis - CoDA). Os dados geoquímicos foram transformados para escala CLR (*centred log-ratio*) pelo software CoDaPack, visando minimizar o efeito de fechamento dos dados e correlações espúrias (Grunsky & Caritat, 2019), tornando o tratamento estatístico mais favorável às interpretações. A transformação CLR (Aitchison, 1986) é vantajosa, pois possibilita que alguns fatores exibam informações sobre duas associações geoquímicas, uma com coeficientes (*loadings*) positivos significativos com o fator ($> 0,5$) e outra com coeficientes negativos significativos com o fator ($< -0,5$). Desta forma, potencializa a interpretação dos fatores extraídos (associações geoquímicas).

Em seguida, os dados foram submetidos a análise fatorial com objetivo de identificar as principais associações multielementares. A análise fatorial foi efetuada com rotação Varimax (ortogonal), o qual apresenta as melhores correlações das variáveis (neste caso, os elementos) em relação aos fatores (Reimann *et al.*, 2008). Para a extração dos fatores, o método utilizado foi o critério Kaiser, sendo considerado apenas autovalores maiores que 1 (*eigenvalues* > 1 , valores que representam a variância), juntamente com o gráfico *Scree Plot*, para assim, obter-se o número de fatores. Os elementos empregados para esta análise são aqueles que possuem no máximo 5% das amostras abaixo do limite de detecção do método analítico, além da triagem de elementos ocorrida na análise de correlação, explicada anteriormente. O número de variáveis a ser empregado nesta análise (dimensionalidade) foi determinado pelo algoritmo $p^2 < n$, uma variável plausível do algoritmo proposto por Le Maitre (1982), onde p é o número de variáveis e n é o número de amostras. Foi considerado o valor significante de correlação dos elementos com o fator, a partir de 0,50 (Marques *et al.*, 2023).

4.4 Quantificação do *background* geoquímico

Neste estudo, o *background* geoquímico será representado pelo intervalo de concentrações compreendidos entre os limiares superiores e inferiores, com o limiar superior sendo a referência para diferenciar concentrações anômalas da faixa de *background*.

Os cálculos de *background* foram feitos segundo os métodos mMAD e TIF para efeito de comparação, e foram realizados com os pontos de amostragem espacialmente dispostos sobre as litologias: (a) Complexo Monte Carmelo, (b) Complexo Abadia dos Dourados e Grupo Araxá, (c) Grupo Canastra, (d) Grupo Ibiá; (e) Grupo Vazante, e (f) Formação Serra da Saudade.

4.4.1 MAD

O desvio absoluto da mediana (median absolute deviation - MAD), calculado com uma constante de 1,48, leva a uma estimativa consistente do desvio padrão (Reimann *et al.*, 2018a). O cálculo do MAD é aplicado com a transformação logarítmica e, após analisado, o dado deve ser retrotransformado para a escala original. Deste modo os valores de *background* geoquímicos são definidos segundo a equação (1).

$$MAD(y) = 1.4826 \cdot median_i |y_i - median_j(y_j)| \therefore mMAD = 10(mediana(y) \pm 2 \cdot [MADy]) \quad (1)$$

O método mMAD tem como base o método clássico e muito utilizado na literatura, média $\pm \pm 2\sigma$ (desvio padrão), sendo necessário antes da sua aplicação que os dados sejam log-transformados a fim de evitar a superestimação das anomalias, o que impediria a determinação confiável dos valores de *background*, visto que raramente os dados de concentração geoquímica possuem distribuição normal em estudos ambientais. A utilização da mediana torna o método mais robusto quando se comparado a técnica média $\pm 2\sigma$, devido a mediana minimizar os efeitos de *outliers*. Reimann *et al.* (2005) destacam que esta metodologia é uma boa alternativa para a técnica média $\pm 2\sigma$, considerada como antiquada por Salomão (2020).

4.4.2 TIF

O método TIF (Tukey Inner Fence) também necessita, como requisito prévio, que os dados sejam previamente transformados na escala logarítmica (log10), a partir de então os limiares inferior (LI) e superior (LS) de *background* são calculados segundo as equações:

$$LI = Q1 - 1,5 \cdot AIQ \quad (2)$$

$$LS = Q3 + 1,5 \cdot AIQ \quad (3)$$

Onde: Q1: Quartil 25%; Q2: Quartil 75%; AIQ (Amplitude Interquartil) = Q3 - Q1

Após o cálculo, o valor final é retransformado à escala original do dado, assim o valor de *background* é estabelecido.

4.5 Construção do ambiente SIG e simbologias

Informações relacionadas ao espaço geográfico foram coletadas, organizadas e armazenadas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Todos os dados vetoriais (*shapefile*) e matriciais (*raster*) foram adequadamente apontados ou convertidos para o sistema de referência geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) com o objetivo de padronizar os sistemas de referência das diferentes fontes utilizadas.

Dois mapas unielementares para sedimentos de corrente foram confeccionados através do ArcGis 10.6 com plots das concentrações para cada elemento: um de pontos, nos locais amostrados sobre o mapa geológico da região em estudo; e outro, de bacias de proveniência. Diferentes métodos de definição de *background* foram aplicados nos gráficos para fim de comparação, dentre eles: dados brutos, mMAD e TIF.

A simbologia observada em mapas geoquímicos de pontos é a representação dos quartis expressos nos gráficos *Box-Plot* (Reimann *et al.*, 2008). A simbologia pode ser descrita a seguir (Figura 13), onde o círculo maior representa os *outliers* inferiores; o círculo médio representa as amostras com concentrações do limite do whisker inferior até 25% (Q1) do total de amostras; o círculo menor se refere aos valores entre 25% (Q1) e 75% (Q3), faixa que representa as amostras de tendência central de concentrações dentro de toda a população (esses valores expressam a amplitude interquartil – AIQ – e também a faixa estimativa que representa o *background* da população); a cruz representa valores entre 75% e o limite do whisker superior (valor representado pelo algoritmo $Q3 + 1,5 \cdot AIQ$, representando o limiar), e se refere a tais amostras que possuem certa elevação de concentração quando comparadas à faixa de *background*, ou seja, representam amostras intermediárias entre a faixa de tendência medial e *outliers* superiores, sendo estas últimas consideradas anomalias geoquímicas.

A faixa de anomalias ou *outliers* superiores, dependendo de sua amplitude, pode ser dividida em anomalias de primeira ordem (amostras que possuem concentrações maiores que o valor representado pelo algoritmo $Q3 + 4,5 \cdot AIQ$), segunda ordem (amostras que possuem concentrações até o valor representado pelo algoritmo $Q3 + 3 \cdot AIQ$) e terceira ordem (amostras que possuem concentrações até o valor representado pelo algoritmo $Q3 + 1,5 \cdot AIQ$). Nos mapas de bacias de proveniência, as faixas de concentração são expressas por diferentes cores (Figura 13).

Os quartis de *Box-Plot* também foram usados como base para a simbologia dos mapas de *scores* de pontos e bacias de proveniência para sedimentos de corrente. Nestes mapas, a associação geoquímica terá destaque em (+) quando esta representar *loadings* positivos significativos, sendo nos mapas de pontos esta associação terá quadrados como símbolos e cores

quentes no mapa de bacias. Enquanto o destaque para (-) será representado por coeficientes negativos significativos, desta forma nos mapas de pontos esta associação terá círculos como símbolos e cores frias no mapa de bacias. É importante ressaltar que mapas que possuam somente uma associação geoquímica, tanto sendo coeficientes positivos quanto negativos, terão apenas uma simbologia para facilitar o entendimento e visualização. Outra questão relevante, é que para esta análise as amostras consideradas anômalas (*outliers*) foram mantidas, com o intuito principal de destacar as importantes ocorrências minerais na área de estudo.

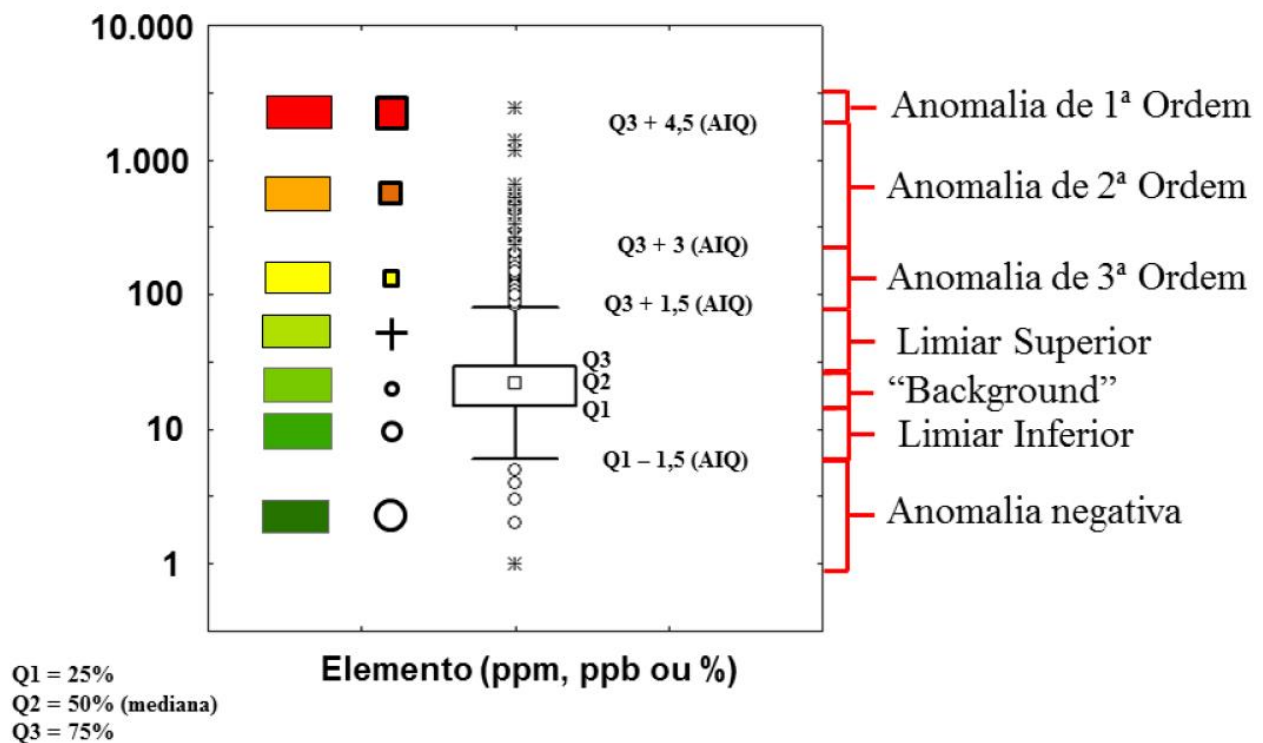


Figura 13 - Representação da simbologia cartográfica com base em gráficos Box-Plot, mapa de bacias e mapa de pontos. AIQ = Amplitude Interquartil; Q1: percentil 25%; Q2: percentil 50%; Q3 = percentil 75%.

5. Resultados e Discussão

Os resultados gerados para os sedimentos de corrente foram obtidos através de técnicas estatísticas descritivas (estatística univariada), incluindo sumário estatístico, mapas geoquímicos gerados através de percentis (baseados nos gráficos *Box-Plot*), análise de correlação de Spearman (correlação não-paramétrica – estatística bivariada). Técnicas estatísticas (multivariadas) mais sofisticadas também foram utilizadas, como a análise fatorial. A estrutura, as tendências e as associações dos elementos observados podem ser analisadas a partir dessas ferramentas estatísticas e permitem auxiliar na compreensão dos processos geológicos, físicos, químicos e antropogênicos que controlam a geoquímica da matriz analisada. (Manly, 1986; Davis, 1986; Tabachnick & Fidell, 2001; Reimann *et al.*, 2002; Reimann *et al.*, 2008; Carranza, 2009, 2011; Grunsky, 2010; Lapworth *et al.*, 2012).

5.1 Sumário Estatístico

Foram selecionados 42 elementos para o tratamento estatístico descritivo. A tabela 5.1 apresenta os estimadores estatísticos da matriz analisada. Os elementos com baixo grau de detecção, ou seja, com mais de 50% das amostras mostrando valores abaixo do limite de detecção, são representados na tabela 5.2. Estes elementos não foram considerados nos tratamentos estatísticos que envolveram correlações de valores, tampouco em análises estatísticas multivariadas. O elemento Ag não foi considerado no tratamento de dados devido a valores maiores do que o limite de detecção do método analítico em quase todos os lotes, também reconhecido como branco analítico superestimado. A estas tabelas foram adicionadas a concentração média da crosta superior (*Mean Upper Crust Concentration* – UCC – Green, 1959; Taylor, 1964; Wedepohl, 1978 e 1995) de todos os elementos analisados, para efeito de comparação e avaliação de possíveis indicativos de enriquecimento ou empobrecimento dos mesmos.

As variáveis analisadas neste estudo foram log-transformadas, com a finalidade da obtenção de melhor distribuição das mesmas, isto é, como forma de tentar normalizar a distribuição. Assim sendo, é importante enfatizar que os números que representam os quartis nas tabelas 3.1 e 3.2 estão dispostos conforme a log-normalização e não como distribuição dos dados brutos. Ainda sobre o tratamento dos dados, foi aplicado também o teste estatístico de normalidade Shapiro-Wilk para os dados brutos e log-transformados. Este teste estatístico foi feito através do software Statistica e aplicado somente para os elementos com menos de 70% dos resultados abaixo do limite de detecção. Nenhum dos elementos apresentou distribuição normal ou log-normal ($p > 0,05$). Este fato corrobora para que variáveis geoquímicas raramente são compostas por dados com distribuição normal, mesmo quando os dados são formados por múltiplas populações (Reimann *et al.*, 2008; Grunsky, 2010; Lapworth *et al.*, 2012).

Tabela 2 – Sumário estatístico dos elementos selecionados.

Elementos	N Válidos	N Válidos (%)	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação	Assimetria	Kurtosis	Min.	Q1 (25%)	Q2 (Mediana)	Q3 (75%)	Q3+1,5AIQ	Máx.	UCC
Ag (ppm)	500	70,52	0,03	3,53	-35,471	-0,431	-2,301	< 0,01	0,005	0,04	0,07	1	6,3	0,055
Al (%)	709	100,00	1,65	1,79	116,532	0,302	-0,569	0,27	1,10	1,54	2,37	7,37	11,09	8,15
As (ppm)	678	95,63	4,37	2,23	54,291	0,800	-0,301	< 1	3,00	5,00	8	27	41	4,48
Ba (ppm)	708	99,86	98,33	1,95	14,560	3,020	0,398	< 5	68,00	92	137	364	1750,01	624
Be (ppm)	705	99,44	1,03	2,08	2400,705	2,359	-1,301	< 0,1	0,70	1,10	1,5	4,5	30,5	2,1
Bi (ppm)	709	100,00	0,22	1,77	-37,522	0,407	-1,398	0,04	0,15	0,22	0,32	0,92	2,85	0,16
Ca (%)	679	95,77	0,05	2,43	-29,866	1,485	-2,301	< 0,01	0,03	0,06	0,08	0,32	1,89	2,56
Cd (ppm)	682	96,19	0,05	2,33	-27,427	1,174	-2,301	< 0,01	0,03	0,05	0,08	0,33	1,9	0,09
Ce (ppm)	709	100,00	70,43	1,88	14,865	1,697	0,787	6,13	48,62	68,15	92,31	238,56	839,05	65,7
Co (ppm)	709	100,00	12,13	2,43	35,504	1,445	-0,398	0,4	7,80	13,50	21,1	81	262,2	17,3
Cr (ppm)	709	100,00	44,61	2,25	21,385	3,828	0,301	2,0	28,00	41	67	233,99	4180,04	92
Cs (ppm)	709	100,00	1,33	2,03	251,754	0,168	-0,921	0,12	0,79	1,28	2,08	8,71	11,8	4,9
Cu (ppm)	709	100,00	22,68	1,74	17,783	0,651	0,477	3,0	16,10	23,1	32,4	89	177,8	28
Fe (%)	693	97,74	3,71	1,65	38,122	0,351	-0,155	0,7	2,68	3,77	5,25	12,9	15	3,52
Ga (ppm)	709	100,00	7,41	1,69	26,182	0,108	0,176	1,5	5,20	7,1	10,60	29,9	36,9	17,5
Hf (ppm)	536	75,60	0,12	3,09	-53,732	-0,891	-1,602	< 0,05	0,05	0,14	0,27	2,44	2,44	5,3
Hg (ppm)	511	72,07	0,02	2,43	-21,592	-1,206	-2,301	< 0,01	0,005	0,02	0,03	0,2	0,2	0,05
In (ppm)	543	76,59	0,03	2,08	-20,754	-0,768	-2,000	< 0,02	0,02	0,03	0,05	0,18	0,21	0,056
K (%)	707	99,72	0,14	1,95	-34,149	3,135	-2,301	< 0,01	0,11	0,15	0,21	0,53	0,73	2,32
La (ppm)	709	100,00	30,30	1,94	19,485	1,004	0,519	3,3	19,90	30,3	40,3	116,09	262,40	32,3
Li (ppm)	667	94,08	4,71	2,36	55,316	0,906	-0,301	< 1	3,00	5	8	27	47	21
LREE (ppm)	709	100,00	101,18	1,89	13,780	1,495	0,975	9,43	69,16	98,24	133,61	357,03	1101,44	94
Mg (%)	682	96,19	0,07	2,57	-35,753	1,667	-2,301	< 0,01	0,04	0,08	0,12	0,62	3,7	1,49
Mn (%)	709	100,00	443,01	2,52	15,157	0,202	1,342	22	249,00	484	853	4545,69	4546,01	774
Mo (ppm)	709	100,00	0,72	2,04	-214,930	2,693	-0,824	0,15	0,45	0,65	0,97	2,88	16,42	1,1
Nb (ppm)	709	100,00	0,80	2,52	-403,913	0,212	-0,886	0,130	0,41	0,7	1,48	9,80	21,70	12
Ni (ppm)	709	100,00	18,78	2,27	27,950	2,649	0,322	2,1	11,70	18,3	28,60	107,99	1564,98	47
P (%)	704	99,29	368,79	2,13	12,783	2,096	1,398	< 50	234,00	360	534,00	1820,96	10000	665
Pb (ppm)	709	100,00	16,73	1,67	18,179	0,279	0,477	3	11,60	17,3	23,60	64,3	126,6	17
Rb (ppm)	709	100,00	13,24	2,07	28,253	1,396	-0,155	0,7	9,10	13	19,00	57,31	112,9	84
Sb (ppm)	709	100,00	0,40	1,76	-62,361	-0,403	-1,222	0,06	0,27	0,41	0,62	1,64	1,64	0,4
Sc (ppm)	709	100,00	5,87	1,97	38,460	1,174	-0,699	0,2	3,80	5,5	9,10	33,1	59,5	14
Sn (ppm)	707	99,72	1,55	1,78	132,793	1,652	-0,824	< 0,3	1,00	1,5	2,20	7,1	35,2	2,1
Sr (ppm)	704	99,29	7,74	2,80	50,246	2,017	-0,602	< 0,5	4,10	6,6	12,70	64,8	509,69	320
Th (ppm)	709	100,00	8,51	1,96	31,318	2,597	-0,046	0,9	5,70	7,6	10,7	27,2	120,7	10,5
Ti (%)	520	73,34	0,02	3,43	-32,414	-0,746	-2,301	< 0,01	0,005	0,02	0,06	0,97	0,97	0,38
U (ppm)	709	100,00	1,14	1,86	484,987	1,303	-0,678	0,21	0,77	1,04	1,53	4,25	12,02	2,7
V (ppm)	709	100,00	55,75	1,79	14,420	0,286	0,954	9	38,00	53	81	249	559	97
W (ppm)	560	78,98	0,20	2,77	-63,925	0,034	-1,301	< 0,1	0,10	0,2	0,40	2,9	12,8	1,4
Y (ppm)	709	100,00	8,10	1,90	30,569	0,635	-0,056	0,880	5,64	8,81	12,09	36,47	57,90	21
Zn (ppm)	709	100,00	32,38	1,79	16,731	1,623	0,477	3,0	25,00	34	47,00	101	194	67
Zr (ppm)	701	98,87	7,79	2,52	45,090	1,511	-0,602	< 0,5	4,60	7,8	13,10	58,6	111	193

Tabela 3 – Sumário estatístico dos elementos não selecionados.

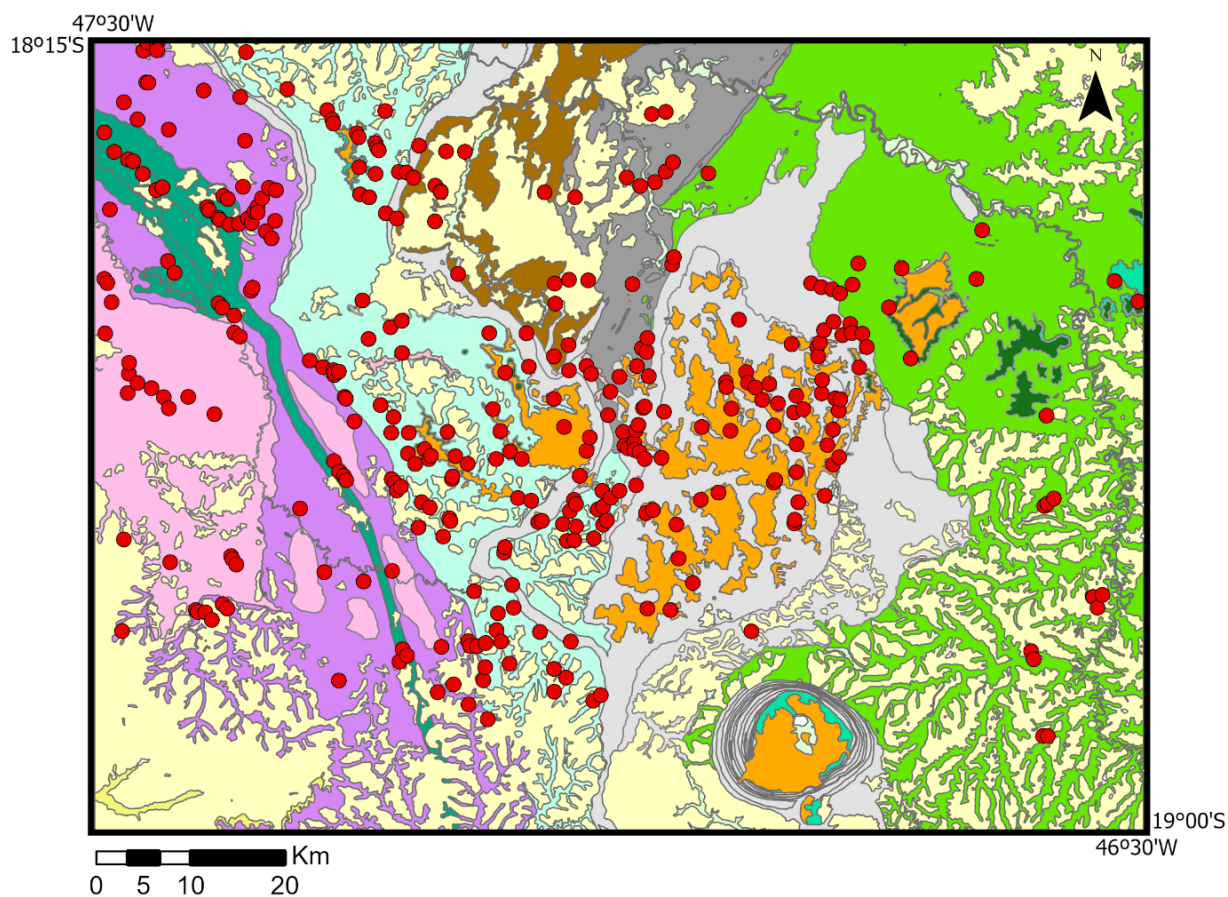
Elementos	N Válidos	N Válidos (%)	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação	Assimetria	Kurtosis	Min.	Q1 (25%)	Q2 (Mediana)	Q3 (75%)	Q3+1,5AIQ	Máx.	UCC
Au (ppm)	10	1,41	0,05	1,41	-11,497	209,369	-1,301	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	26,9	0,0018 *
B (ppm)	12	1,69	5,30	1,55	26,390	55,027	0,699	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	188	17
Ge (ppm)	217	30,61	0,08	2,24	-31,989	2,223	-1,301	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	2,4	1,4
Na (%)	44	6,21	0,01	1,28	-4,773	29,332	-2,301	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,06	0,05
Re (ppm)	0	0,00	0,05	1,00	0,000		-1,301	< 0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,0001
S (%)	214	30,18	0,01	1,84	-12,366	2,673	-2,301	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,02	0,12	0,06
Se (ppm)	59	8,32	0,54	1,33	-46,967	16,995	-0,301	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	4	0,09
Ta (ppm)	69	9,73	0,03	1,90	-18,278	21,818	-1,602	< 0,05	0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	5,68	1,5
Te (ppm)	275	38,79	0,04	2,08	-23,131	2,097	-1,602	< 0,05	0,02	< 0,05	0,07	0,29	1,33	0,001

5.2 Distribuição dos elementos

As principais litologias que ocorrem na área de estudo estão relacionadas às seguintes zonas geotectônicas principais: a) Zona Interna da Faixa Brasília: Grupo Araxá, composto por micaxistos acrescionais, com corpos ofiolíticos associadas; litologias do Complexo Monte Carmelo,

formado por granitoides sem diferenciação e intrudidos em xistos, e Abadia dos Dourados, caracterizado por anfibolitos, vulcânicas ácidas e filitos. b) Zona Externa da Faixa Brasília: Grupo Canastra, sequência plataformar psamo-pelítica; Grupo Ibiá, formado por calciofilitos e diamictitos associados de forma parcial a ambiente plataformar com sedimentação associada a arcos. c) Zona do Cráton São Francisco: Grupo Vazante, sequência com predominância clástica e contribuições carbonáticas associadas a margem passiva; Grupo Bambuí, sedimentos bioquímicos e siliciclásticos plataformais de bacia intracratônica das Formações Serra de Santa Helena e Serra da Saudade. O comportamento geoquímico dos elementos analisados são influenciados diretamente pelas características de cada unidade geológica. A figura 14 representa um mapa simplificado da geologia local de acordo com as unidades descritas em a, b e c. O Grupo Mata da Corda e as coberturas detrito-lateríticas também são representados no mapa.

A distribuição dos elementos maiores, menores e traços para sedimentos de corrente de cada unidade geológica, é mostrada nos gráficos *Box-Plot* das Figuras 15, 16 e 17. A distribuição em área dos principais elementos analisados para sedimentos de corrente, em mapas de pontos e mapas de bacias de proveniência será abordada nos seguintes tópicos subsequentes. É importante salientar que as amostras coletadas no Grupo Araxá e no Complexo Abadia dos Dourados foram contabilizadas juntas, devido à baixa densidade amostral sobre seus domínios, além de serem unidades contíguas. Pelo mesmo motivo, as amostras que pertencem ao Grupo Mata da Corda (metatufos de composição alcalina) e ao Maciço Alcalino de Serra Negra integram a Formação Serra da Saudade (representante do Grupo Bambuí).



Legenda

a) Zona Interna da Faixa Brasília

- Grupo Araxá
- Complexo Abadia dos Dourados
- Complexo Monte Carmelo

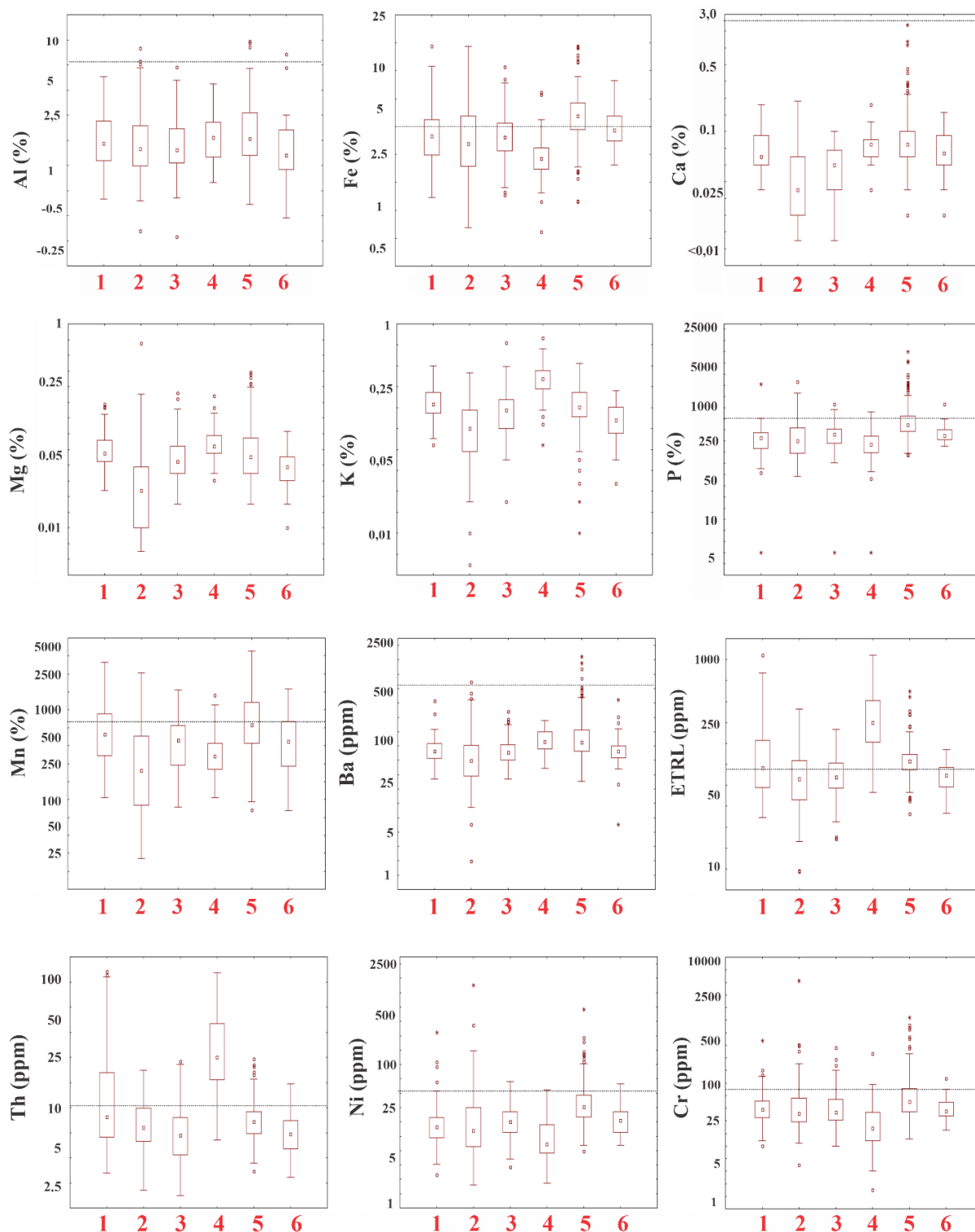
b) Zona Externa da Faixa Brasília

- Grupo Canastra
- Grupo Ibiá

c) Zona do Cráton do São Francisco

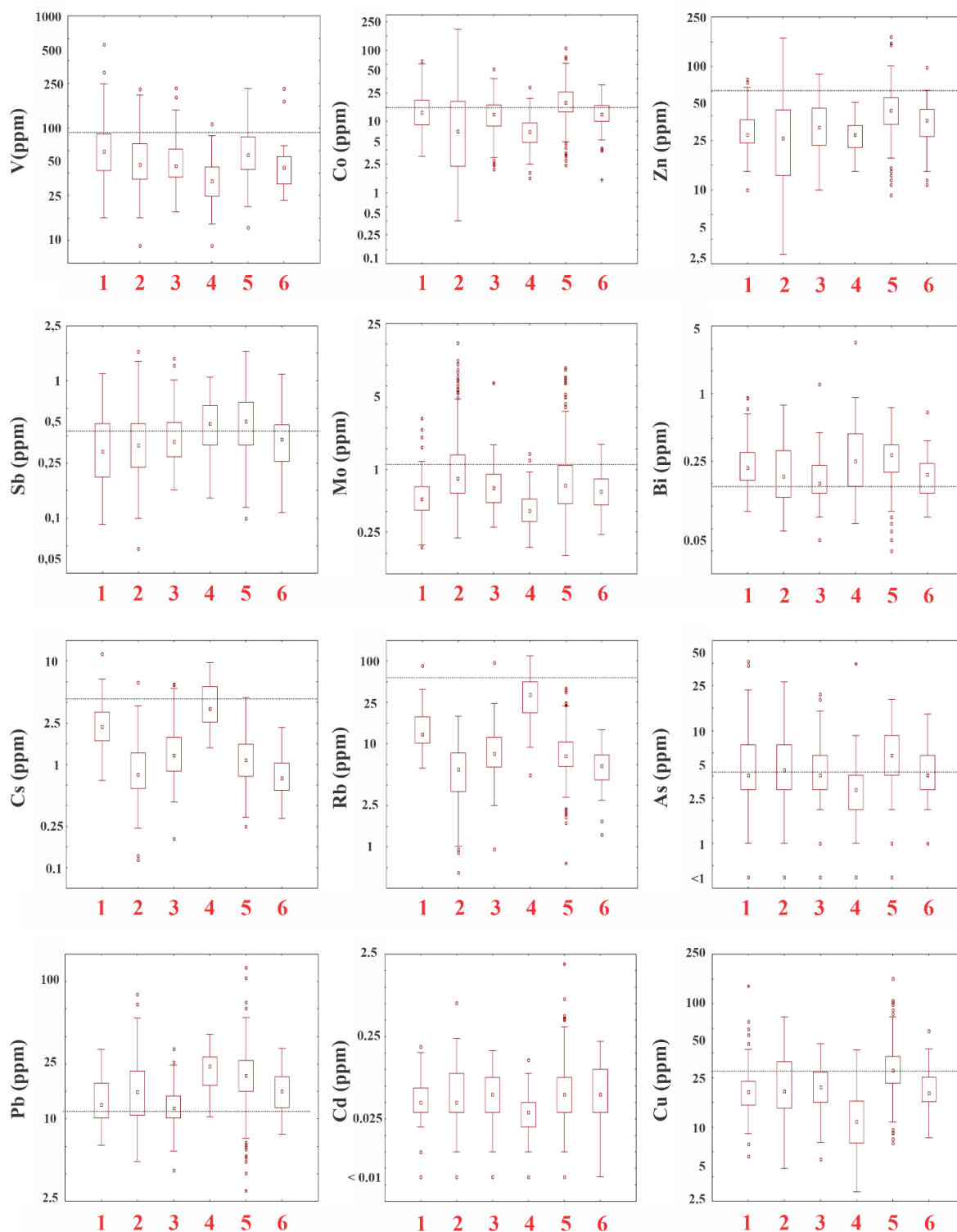
- Grupo Vazante
- Grupo Bambuí
- Fm. Serra de Sta. Helena
- Fm. Serra da Saudade
- Grupo Mata da Corda
- Coberturas detríticas
- Complexo Serra Negra
- Kimberlitos

Figura 14 - Mapa geológico simplificado da área de estudo em escala aproximada 1:250.000



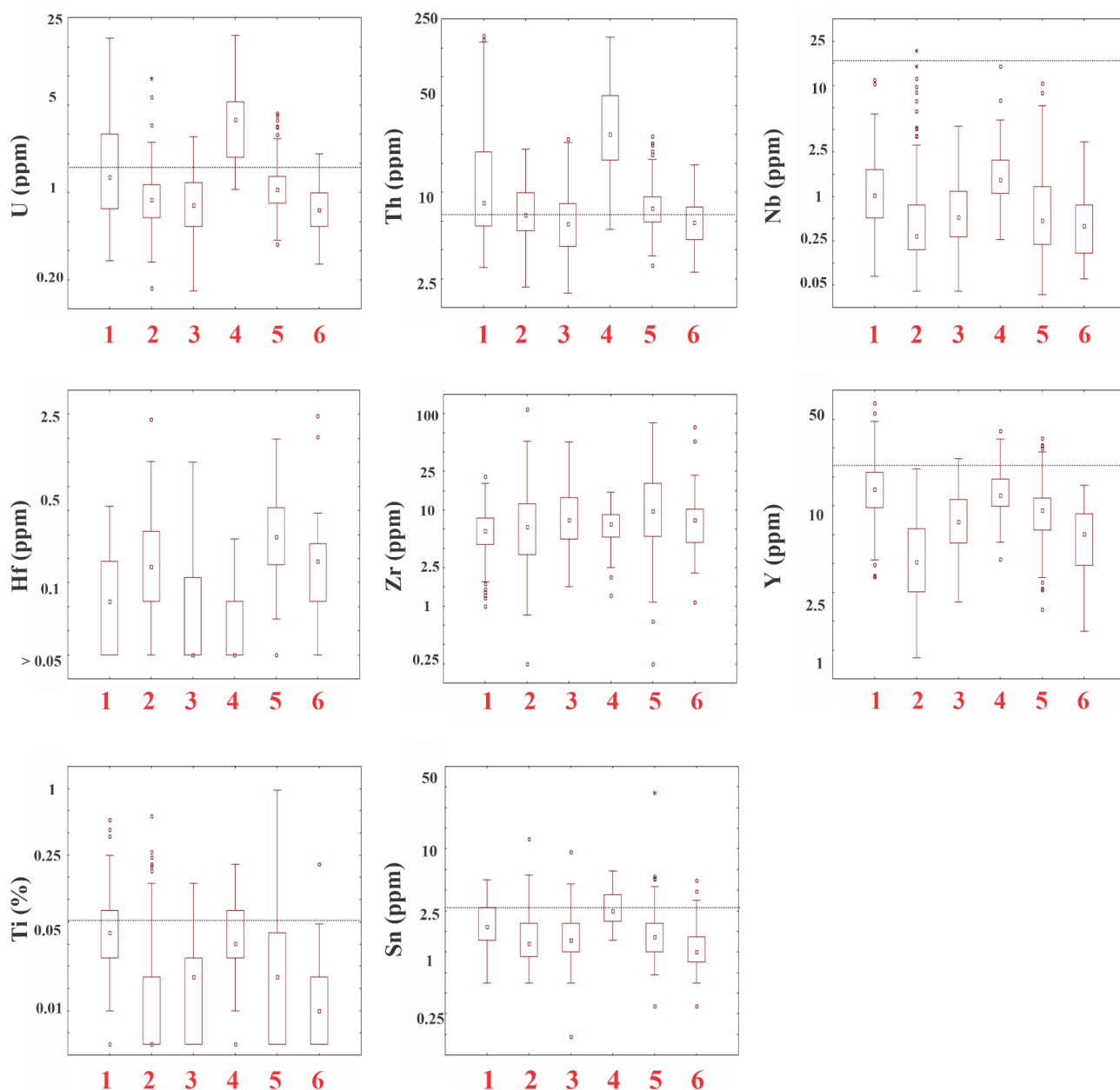
1 Complexo Abadia dos Dourados **2** Grupo Canastra **3** Grupo Ibiá
4 Complexo Monte Carmelo **5** Formação Serra da Saudade **6** Grupo Vazante

Figura 15 - Box-Plot da distribuição de elementos maiores, menores e traços em amostras de sedimentos de corrente nas sete principais unidades geológicas da área estudada: Complexo Abadia dos Dourados e Grupo Araxá (**1**); Grupo Canastra (**2**); Grupo Ibiá (**3**); Complexo Monte Carmelo (**4**); Formação Serra da Saudade – Grupo Bambuí (**5**); e Grupo Vazante (**6**). A linha contínua que se encontra em cada gráfico representa a concentração média da crosta (UCC).



1 Complexo Abadia dos Dourados **2** Grupo Canastra **3** Grupo Ibiá
4 Complexo Monte Carmelo **5** Formação Serra da Saudade **6** Grupo Vazante

Figura 16 - Box-Plot da distribuição de elementos maiores, menores e traços em amostras de sedimentos de corrente nas sete principais unidades geológicas da área estudada: Complexo Abadia dos Dourados e Grupo Araxá (**1**); Grupo Canastra (**2**); Grupo Ibiá (**3**); Complexo Monte Carmelo (**4**); Formação Serra da Saudade – Grupo Bambuí (**5**); e Grupo Vazante (**6**). A linha contínua que se encontra em cada gráfico representa a concentração média da crosta (UCC).



1 Complexo Abadia dos Dourados

2 Grupo Canastra

3 Grupo Ibiá

4 Complexo Monte Carmelo

5 Formação Serra da Saudade

6 Grupo Vazante

Figura 17 - Box-Plot da distribuição de elementos maiores, menores e traços em amostras de sedimentos de corrente nas sete principais unidades geológicas da área estudada: Complexo Abadia dos Dourados e Grupo Araxá (**1**); Grupo Canastra (**2**); Grupo Ibiá (**3**); Complexo Monte Carmelo (**4**); Formação Serra da Saudade – Grupo Bambuí (**5**); e Grupo Vazante (**6**). A linha contínua que se encontra em cada gráfico representa a concentração média da crosta (UCC).

5.2.1 Distribuição dos elementos maiores

As amostras de sedimentos de corrente oriundas de rochas cristalinas e de grau metamórfico mais elevado, como, a dos Complexos Monte Carmelo e Abadia dos Dourados e o Grupo Araxá, possuem as maiores faixas de *background* (representadas pelo valor mediano dos

Box-Plots, considerando entre os quartis 25% e 75%) para elementos K, Mg e Ti. De forma distinta, os elementos Al, Fe, Ca, P e Mn possuem suas maiores faixas de *background* nas unidades metassedimentares, dentre elas os Grupos Canastra, Ibiá, Vazante e Bambuí.

É possível observar um controle geológico na distribuição dos elementos maiores. A exemplo disso são os elementos Al e Fe, que apresentam maiores concentrações e maiores faixas de *background* para o Grupo Canastra e Formação Serra da Saudade, aspecto corroborado pela presença de extensas coberturas lateríticas e calcários calcíticos com lentes ferruginosas. As maiores faixas de *background* de Ca estão relacionadas aos Grupos Vazante e Bambuí (representada pela Formação Serra da Saudade), devido às ocorrências de rochas carbonáticas. As maiores faixas de *background* para K e Ti correspondem aos Complexos Abadia dos Dourados e Monte Carmelo, sendo corroborado pela presença de rochas granitoides. Além disso, o Mg aliado a K e Ti, pode indicar também as numerosas ocorrências de kimberlitos que abrangem a região dos complexos. As maiores faixas de *background* de P estão relacionadas aos jazimentos de fosfato constituintes das formações Serra da Saudade e Serra de Santa Helena. E por fim, as maiores faixas de *background* para Mn podem estar relacionadas aos processos hidrotermais observados principalmente nos limites do Grupo Vazante e Formação Serra da Saudade.

Dentre as faixas anômalas, essas podem sinalizar que alguns elementos possuam fontes diferentes das principais rochas que constituem tais unidades geológicas, indicando processos hidrotermais, depósitos minerais ou possíveis contaminações por fontes antropogênicas. Tal aspecto se evidencia na configuração dos gráficos *Box-plot* como na figura 5.2, onde apresentam reduzidas faixas de *background* com grandes números de anomalias ou *outliers*. Como exemplo, as concentrações anômalas de P, corroborando a mineralização de fosfato do Grupo Bambuí em Lagamar, além dos altos teores desse elemento nas ocorrências do Grupo Mata da Corda e Maciço Alcalino Serra Negra. Entretanto, é importante ressaltar que em unidades quaternárias, concentrações maiores de P podem estar associadas a atividades agrícolas.

Ao comparar os elementos químicos maiores nas unidades geológicas com as concentrações médias da crosta superior (UCC), nota-se que não há um padrão regular de faixas de *background* acima do UCC, mostrando que não há um enriquecimento natural. Contudo, ao analisar concentrações de Al, Ca, Mg e K com o UCC para todas as unidades, se presume uma maturidade dos processos de intemperismo químico. As figuras 18 a 23 mostram a distribuição dos elementos maiores analisados, com base em *Box-plot*, para sedimentos de corrente em mapas de pontos e mapas de bacias de proveniência (simbologia conforme figura 13).

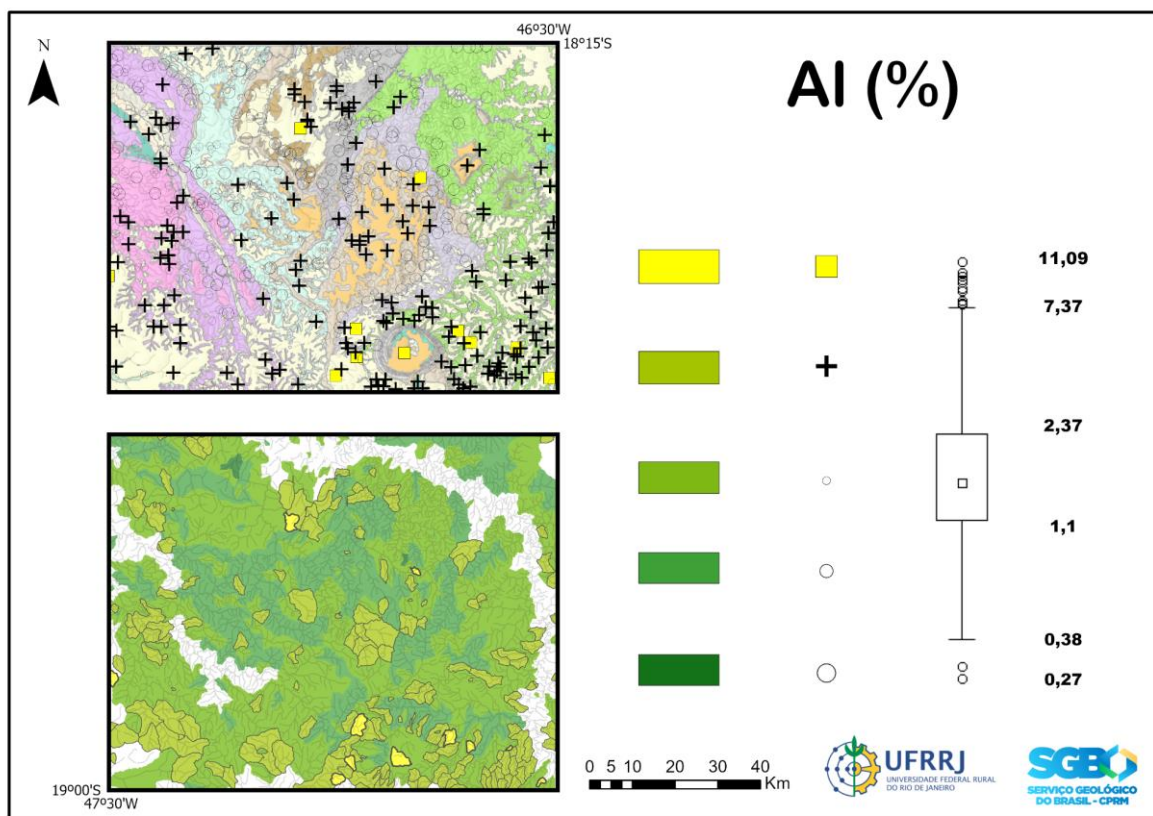


Figura 18 – Distribuição espacial do Al em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

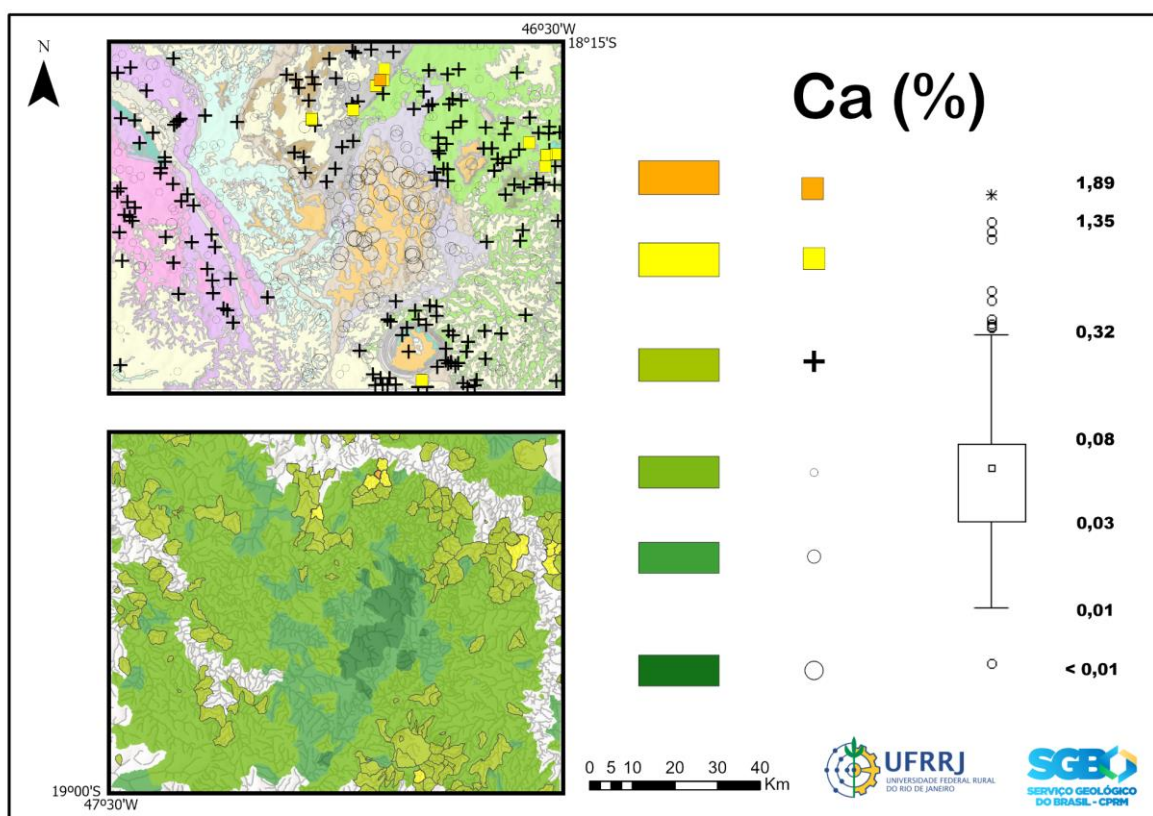


Figura 19 – Distribuição espacial do Ca em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

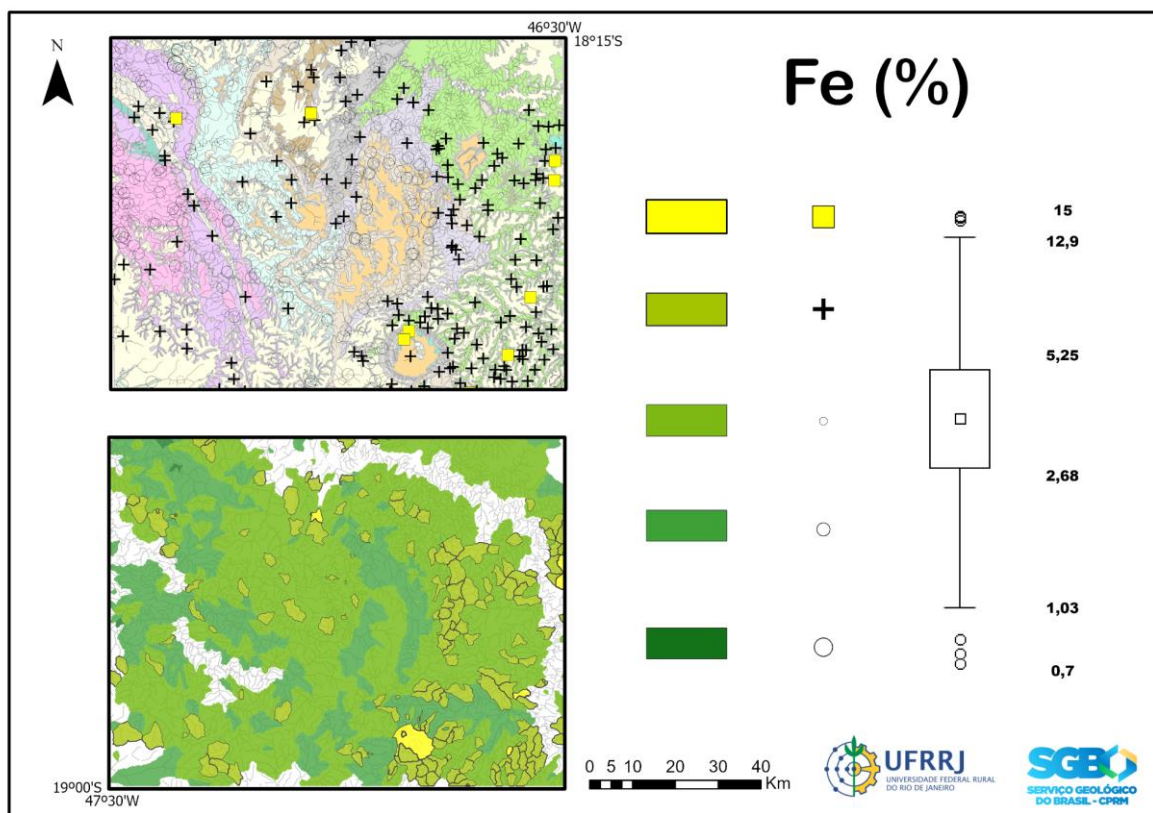


Figura 20 – Distribuição espacial do Fe em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

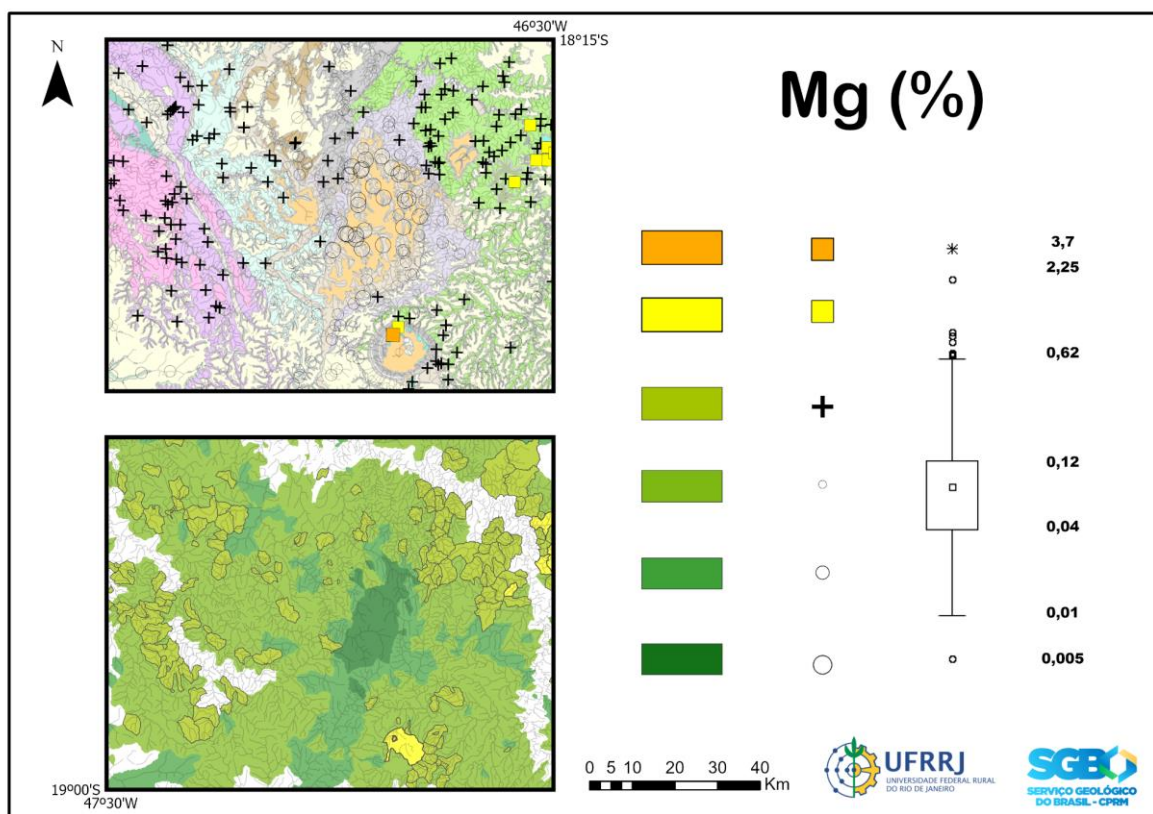


Figura 21 – Distribuição espacial do Mg em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

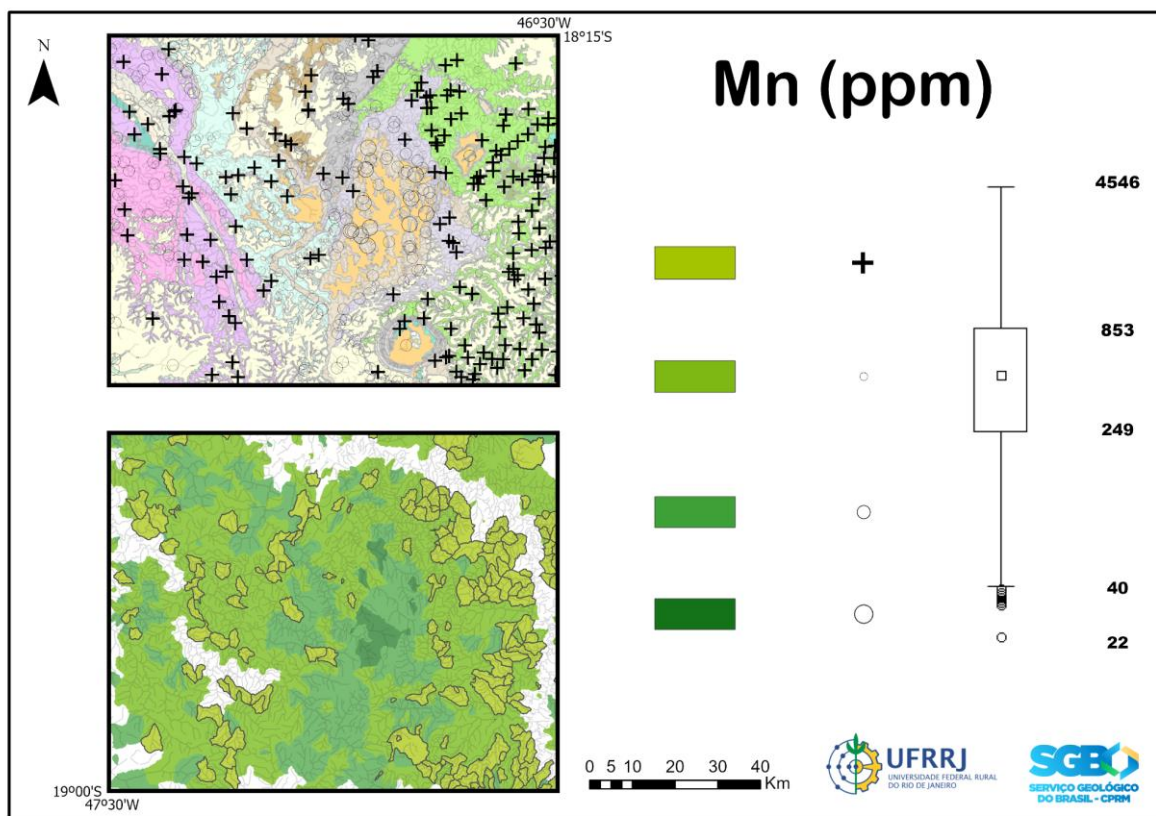


Figura 22 – Distribuição espacial do Mn em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

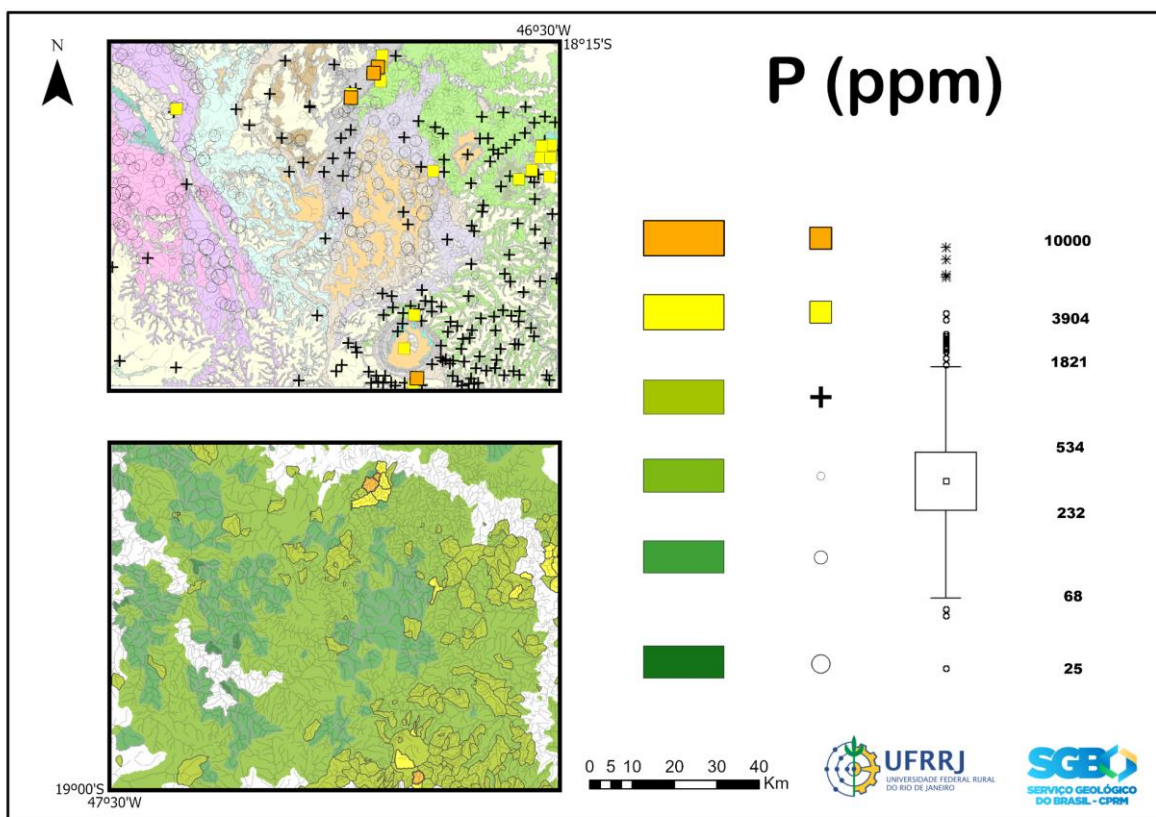


Figura 23 – Distribuição espacial do P em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

5.2.2 Distribuição dos elementos menores e traços

Os elementos serão divididos neste tópico em: elementos com grandes valências iônicas (*High Field Strength Elements* – HFSE), elementos com grandes raios iônicos (*Large-Ion Lithophile Elements* - LILE) e calcófilos (metais com pouca afinidade com oxigênio de acordo com classificação de Goldschmidt).

Dentre os elementos com grandes valências iônicas (HFSE), Nb, Th, U, Y e elementos Terras-Raras Leves (ETRL; La-Ce), as maiores faixas de *background* correspondem aos Complexos Monte Carmelo e Abadia dos Dourados e Grupo Araxá. Nessas unidades, as faixas de ETRL, Th e U quando comparadas ao UCC, se mostram enriquecidas, e Y se aproxima da média crustal. Tais valores apontam para a hipótese desses elementos advirem de minerais resistatos associados aos granitoides dessas unidades. Para os elementos Hf e Zr, as maiores faixas de *background* estão representadas na Formação Serra da Saudade, associados ao zircão, outro mineral resistato. Porém, esses elementos estão empobrecidos em comparação com UCC, sugerindo que os zircões das rochas metassedimentares foram herdados (rocha-fonte dos sedimentos).

Os elementos com grandes raios iônicos (LILE) Ba, Cs e Rb também possuem faixas de *background* mais elevadas para os Complexos Monte Carmelo e Abadia dos Dourados, e Grupo Araxá. Tal assinatura pode estar ligada aos minerais primários formadores de rocha como os feldspatos. Algumas concentrações anômalas para tais elementos estão presentes em unidades metassedimentares, como a Formação Serra da Saudade, e podem estar associadas à alteração das rochas devido ao hidrotermalismo. No que concerne o Sr, as maiores faixas de *background* estão relacionadas à Formação Serra da Saudade e ao Complexo Monte Carmelo. Tal padrão está provavelmente relacionado às rochas carbonáticas e minerais primários constituintes dessas unidades, respectivamente. Quando comparados ao UCC, os elementos de grandes raios iônicos se mostram empobrecidos, sugerindo ou a maturidade dos processos de intemperismo com a mobilidade desses metais em ambiente superficial, ou mesmo uma característica da dispersão clástica.

Os elementos calcófilos As, Cd, Cu, Pb e Zn são destaques pois estão relacionados como farejadores dos principais recursos minerais que ocorrem na região de estudo e próximo desta, tais como: as ocorrências de ouro na Formação Paracatu (Grupo Canastra) e as ocorrências de Zn e Pb, respectivamente de Vazante e Morro Agudo. Ao analisar os gráficos *Box-plot*, Cd, Pb e Zn apresentam suas maiores faixas de *background* para jazimentos ao norte da área de estudo pertencentes ao Grupo Vazante e para Formação Serra da Saudade (Grupo Bambuí) que faz

contato com o Grupo Vazante. Tanto Pb quanto Cd estão enriquecidos quando comparados ao UCC. Já o Zn possui faixas de *background* próximas à média crustal para todas as unidades.

Ao analisar as faixas de *background* para Cu, é possível notar faixas de *background* elevadas para a Formação Serra da Saudade e Grupo Canastra, devido aos metatufos alcalinos do Grupo Mata da Corda, ocorrência de rochas ultramáficas, tais como kimberlitos, e a intrusão alcalina de Serra Negra. O As possui faixas de *background* enriquecidas para todas as unidades quando comparado com a média crustal, sendo também destaque a Formação Serra da Saudade e o Grupo Canastra, onde estão as principais ocorrências de ouro na região. A distribuição de elevadas concentrações para As na Formação Serra da Saudade pode ser atribuída ao contato transicional dessa formação com o Membro Morro do Ouro, da Formação Paracatu, do Grupo Canastra por quase toda a região, a qual possui filitos negros com arsenopirita. Assim como, para os outros elementos calcófilos apresentados, As e Cu podem ter origem em fases sulfetadas associadas a processos hidrotermais.

Cr e Ni possuem faixas de *background* semelhantes e próximas à UCC, provavelmente por estarem associados à mesma origem. As maiores faixas de *background* para tais elementos se encontram na Formação Serra da Saudade, Grupo Bambuí. Outra explicação pode estar relacionada com as intrusões alcalinas ultramáficas associadas aos kimberlitos, ao Complexo alcalino Serra Negra e aos metatufos de composição alcalina do Membro Mata da Corda. Nos gráficos *Box-Plot*, os *outliers* estão presentes principalmente no Grupo Canastra, Complexo Monte Carmelo e Formação Serra da Saudade, estando relacionados às numerosas ocorrências kimberlíticas da área em questão.

Nos mapas de distribuição de alguns elementos, principalmente os calcófilos, é possível observar um trend NW-SE de amostras com concentrações que representam o *whisker* superior (símbolo de cruz) nos gráficos *Box-plot*. Este *trend* é visto sobretudo no Grupo Araxá e nos Complexos Abadia dos Dourados e Monte Carmelo, e pode estar relacionado à atividade hidrotermal e a dinâmica de formação das nappes de cavalgamento do fim do Brasileiro.

As figuras 24 a 31 mostram a distribuição dos elementos menores e traços analisados para sedimentos de corrente em mapas de pontos e mapas de bacias de proveniência (simbologia conforme figura 17).

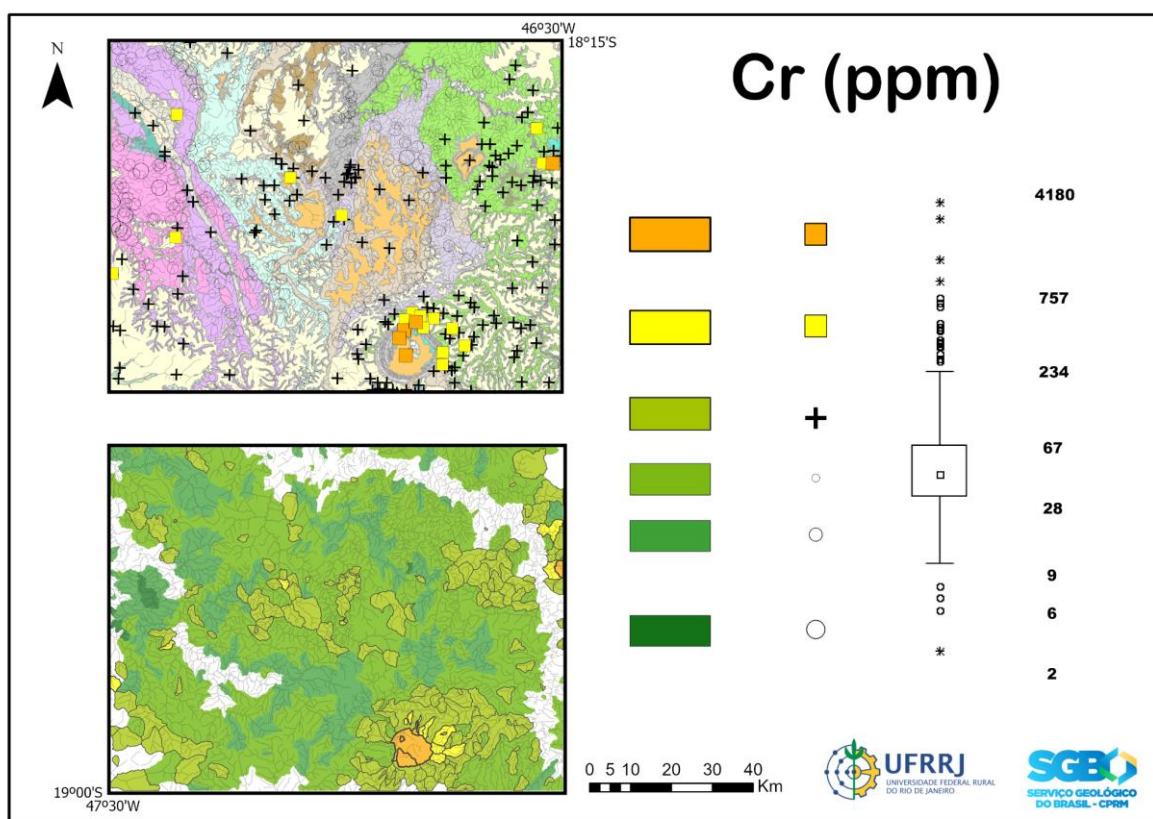


Figura 24 – Distribuição espacial do Cr em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

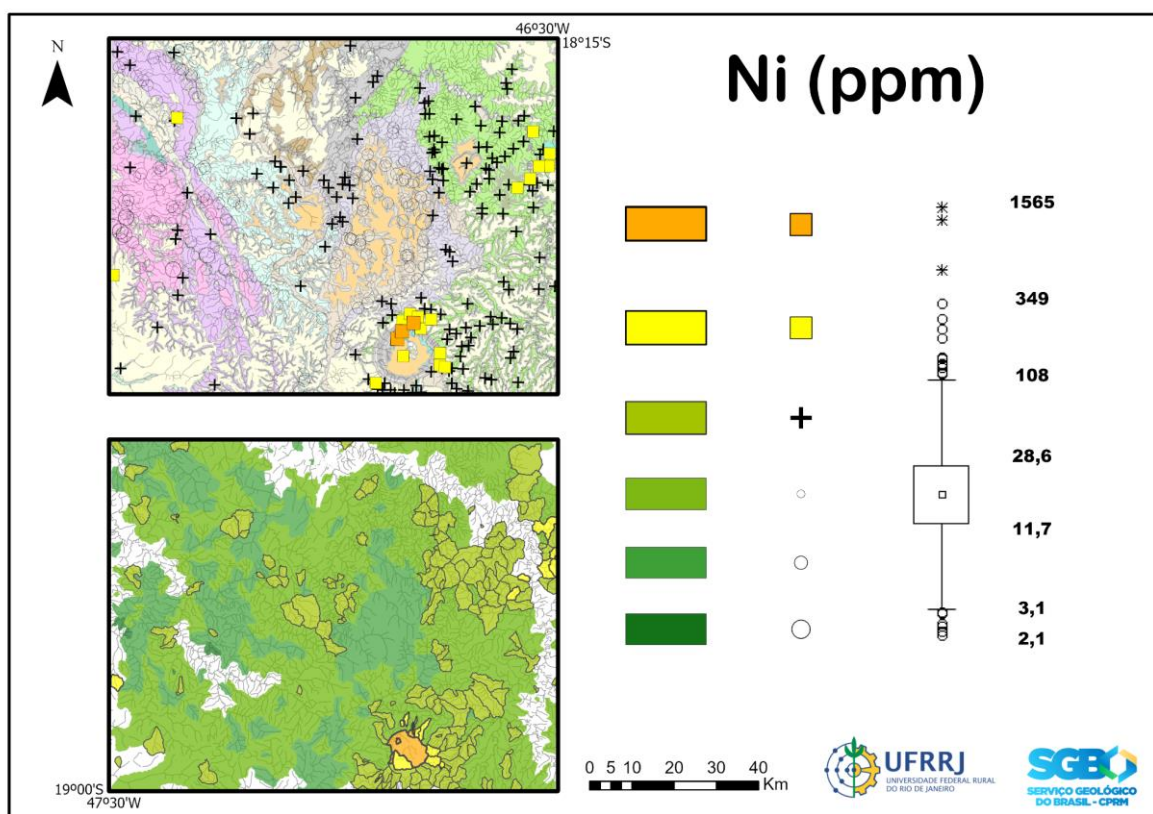


Figura 25 – Distribuição espacial do Ni em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

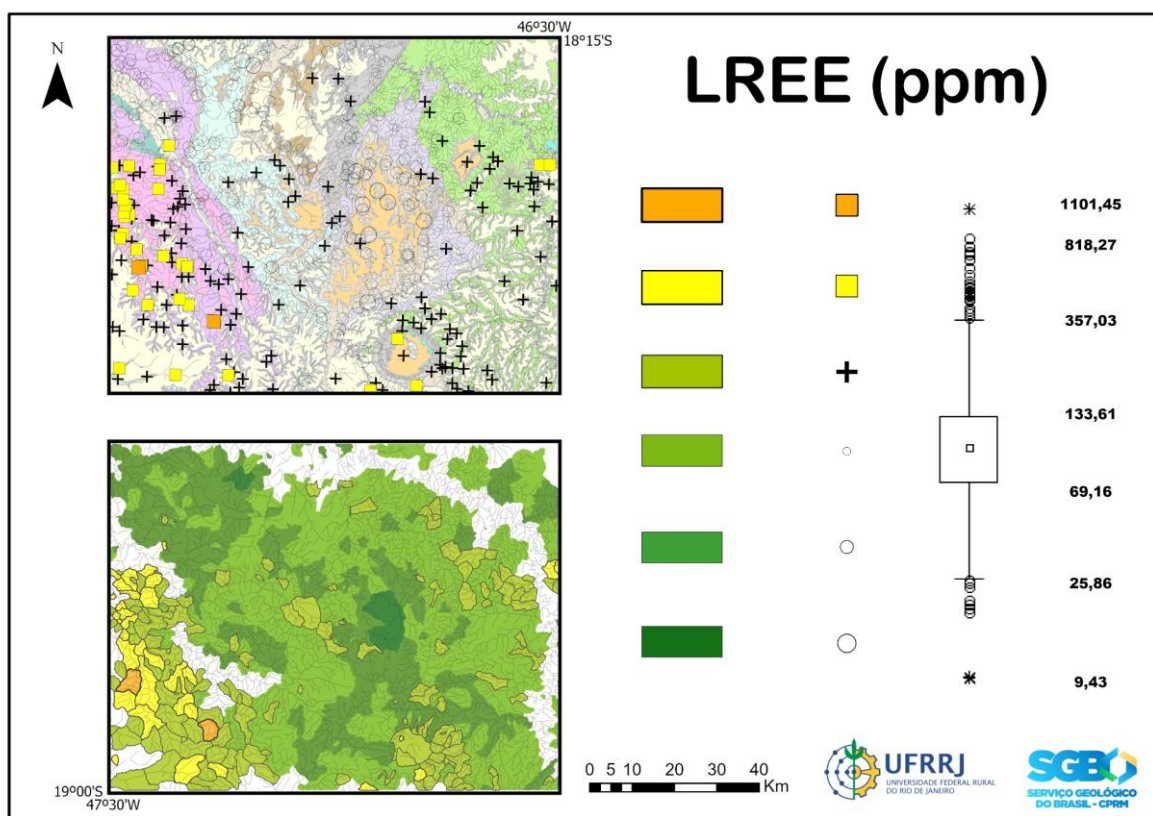


Figura 26 – Distribuição espacial dos ETRL em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

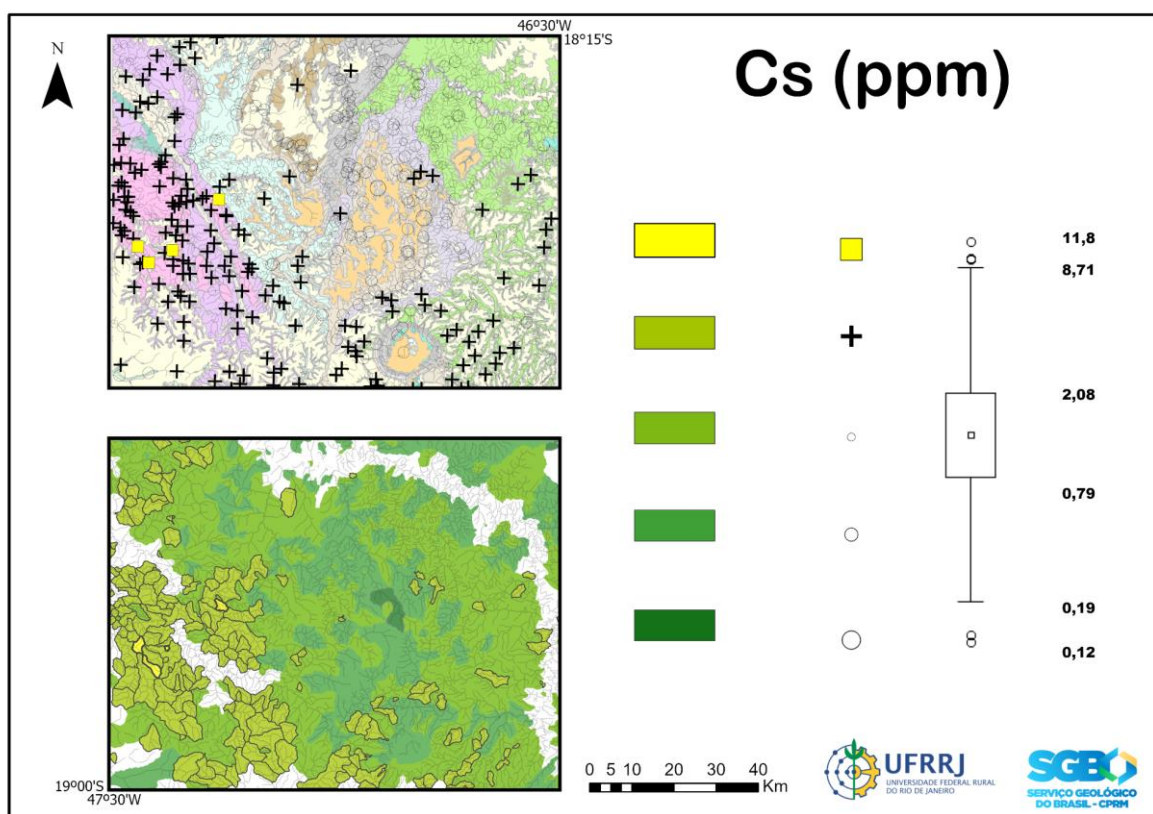


Figura 27 – Distribuição espacial do Cs em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

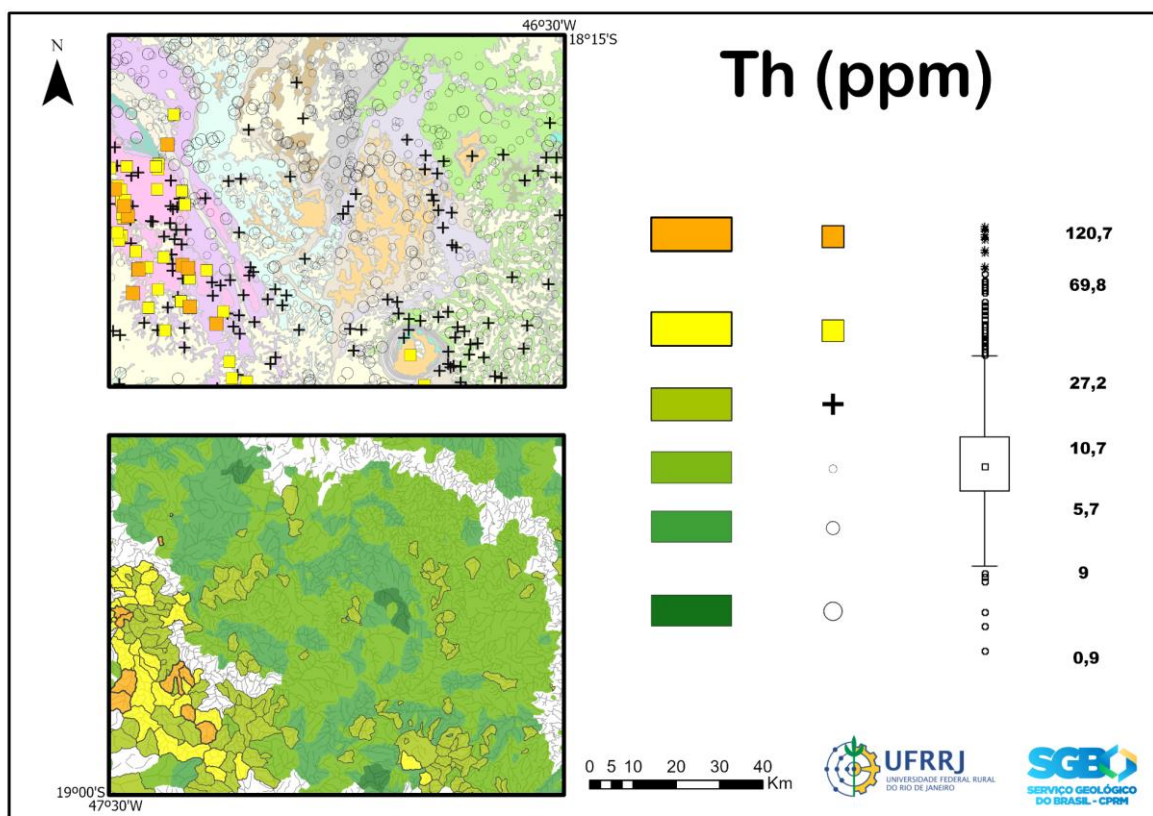


Figura 28 – Distribuição espacial do Th em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

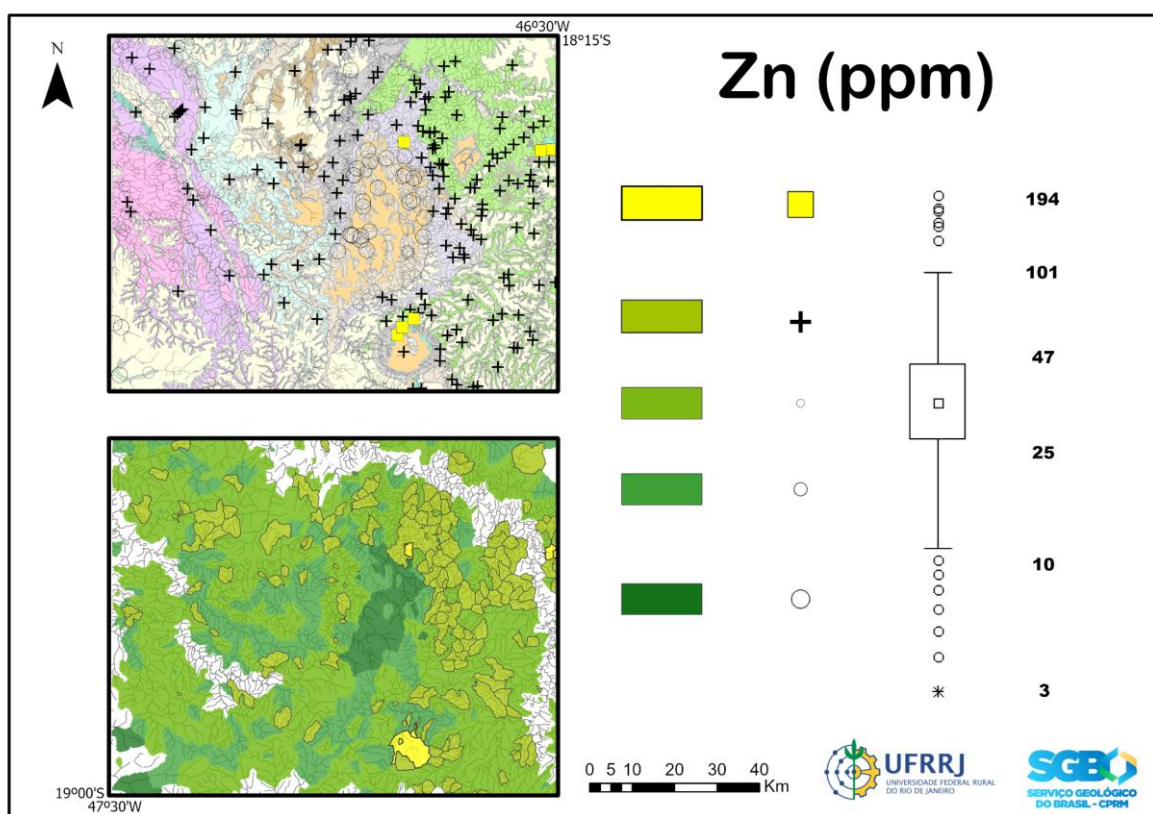


Figura 29 – Distribuição espacial do Zn em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

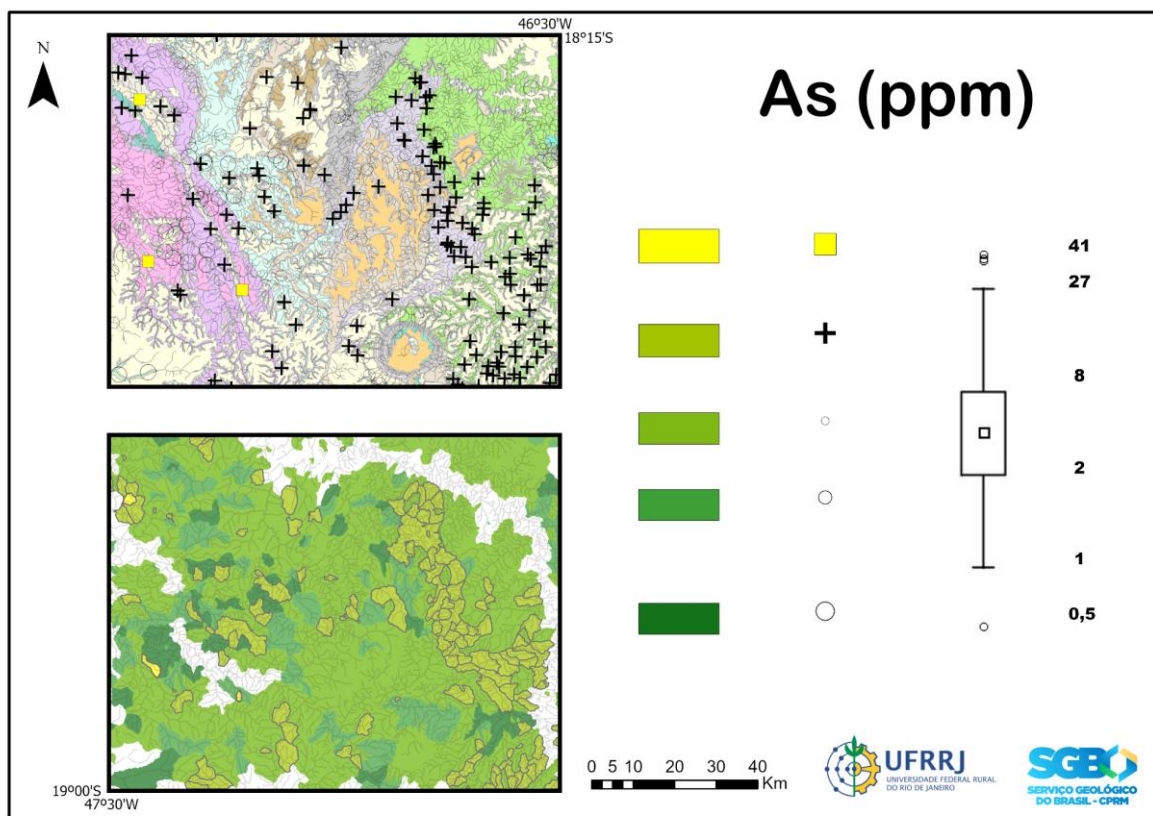


Figura 30 – Distribuição espacial do As em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

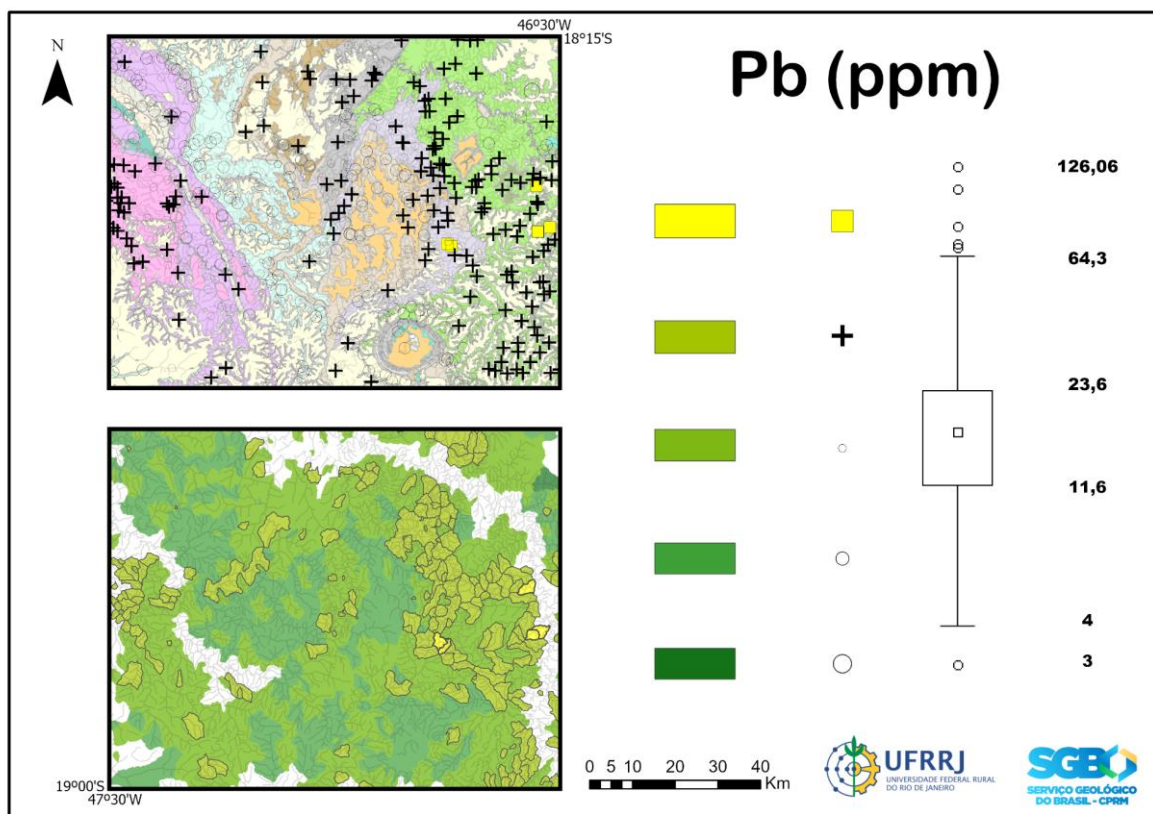


Figura 31 – Distribuição espacial do Pb em sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

5.3 Definição de background geoquímico e comparativo entre métodos

Com objetivo de definir as faixas de concentração naturais disponíveis na área de estudo, o cálculo de *background* geoquímico foi realizado para 25 elementos (Tabela 4), sendo eles Al, As, Ba, Ca, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, Li, Elementos Terras Raras (ELTR), Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Sn, Th, U, Zn e Zr. Nesta etapa, não houve diferenciação entre litologias e foram considerados valores anômalos dentre todos os elementos. Pela inexistência de um consenso quanto aos diferentes métodos existentes para a determinação do *background* geoquímico, a proposta aplicada foi a utilização das metodologias mMAD e TIF.

Mapas de pontos e bacias (Figura 32) foram gerados, para os elementos fósforo (P), arsênio (As) e elementos terras-raras leves (ELTR), com objetivo de comparação entre modelos de definição de *background* geoquímico. O P e ELTR foram utilizados devido às ocorrências e depósitos com altas concentrações, e permitirem uma comparação mais abrangente entre os métodos de análise. Por outro lado, o As foi escolhido por ser comumente encontrado associado ao ouro (Au-As) e a prata (Ag-As). Dentre os métodos comparados estão dados brutos (não log-transformados), mMAD e TIF.

Tabela 4 - Valores de *background* geoquímico para os elementos segundo os métodos de TIF e mMAD. (LS = Limiar Superior; LI = Limiar Inferior)

Elementos	TIF LS	TIF LI	mMAD LS	mMAD LI	UCC
Al (ppm)	7,37	0,38	4,80	0,49	8,15
As (ppm)	27	1	22,7	1,10	4,48
Ba (ppm)	364	24	246,3	34,4	624
Ca (%)	0,32	0,01	0,20	0,02	2,56
Co (ppm)	81	1,8	55,91	3,26	17,3
Cr (ppm)	234	9	153,55	10,95	92
Cs (%)	8,71	0,19	5,35	0,31	4,9
Cu (ppm)	89	5,8	64,96	8,22	28
Fe (%)	12,9	1,03	10,18	1,40	3,52
K (%)	0,53	0,05	0,41	0,06	2,32
Li (ppm)	27	1	22,74	1,10	21
LREE (ppm)	357,03	25,86	257,87	37,43	94
Mg (%)	0,62	0,01	0,32	0,02	1,49
Mn (%)	4546	40	3045,52	76,92	774
Mo (ppm)	2,88	0,15	2,07	0,20	1,1
Nb (ppm)	9,8	0,13	4,28	0,11	12
Ni (ppm)	108	3,1	68,94	4,86	47
P (%)	1821	68	1228,07	105,53	665
Pb (ppm)	64,3	4	49,94	5,99	17
Rb (ppm)	57,3	3,1	38,68	4,37	84
Sn (ppm)	7,1	0,05	4,67	0,48	2,1
Th (ppm)	27,2	2,5	18,19	3,18	10,5
U (ppm)	4,25	0,3	2,74	0,39	2,7
Zn (ppm)	101	10	88,81	13,02	67
Zr (ppm)	58,6	1	37,12	1,64	193

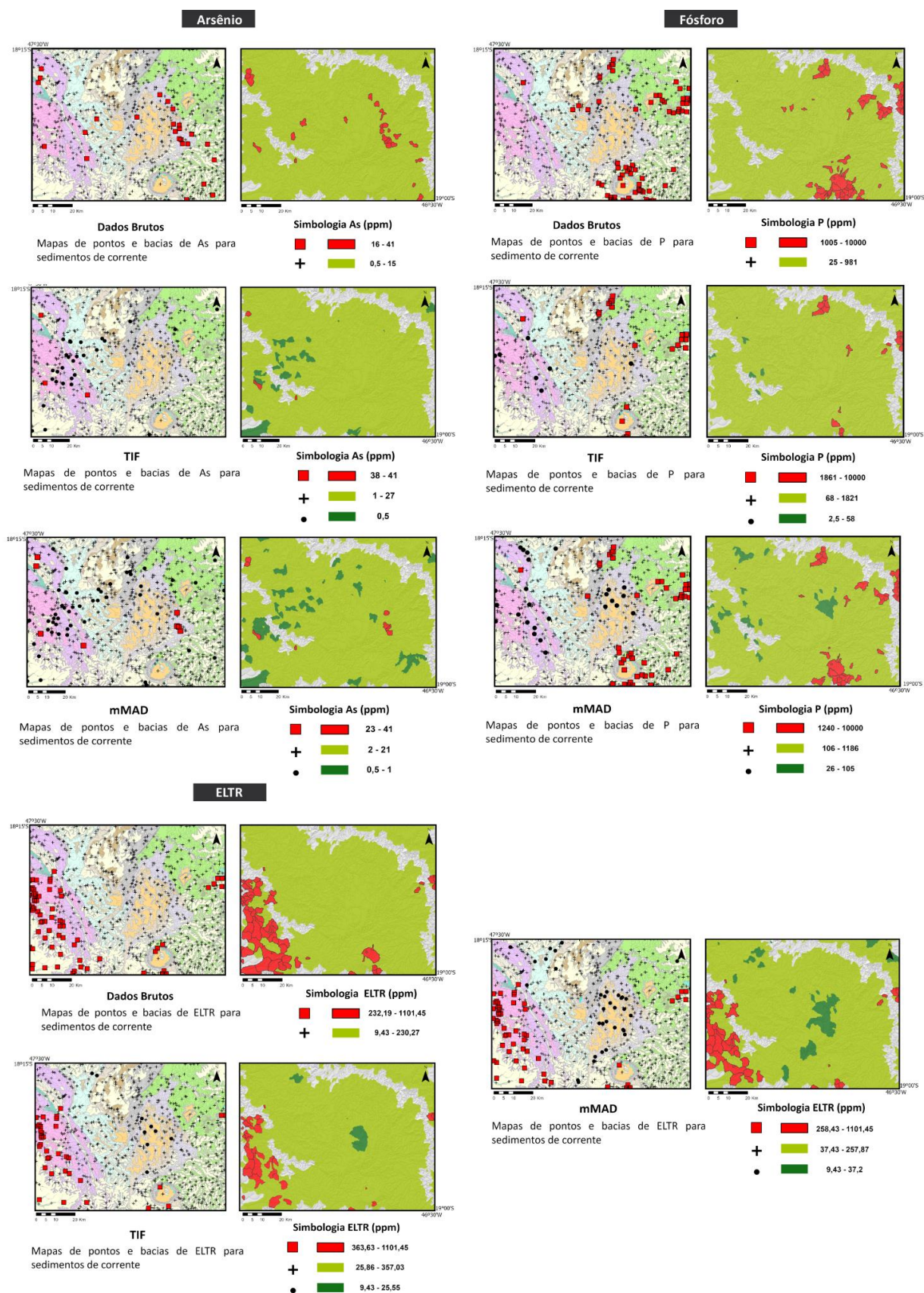


Figura 32 - Mapa de pontos e bacias para As, ELTR e P conforme dados brutos, TIF (*Tukey's Inner Fence*, Limiar Superior = $Q3 + 1,5 \cdot AIQ$ e Limiar Inferior = $Q1 - 1,5 \cdot AIQ$) e mMAD (mediana $\pm 2 \cdot [MAD]$). Anomalias positivas são representadas em vermelho nos mapas de pontos e bacias. Valores de *background* são representados pela cruz nos mapas de pontos e em verde claro nos mapas de bacias. Anomalias negativas são representadas em pontos pretos no mapa de pontos e verde escuro nos mapas de bacias.

É possível observar, após utilização da técnica estatística, que os dados brutos resultam na superestimação de anomalias, visto que os dados não possuem distribuição normal, não sendo, portanto, recomendado. A técnica TIF permite a observação de anomalias em quantidade bem inferior quando comparado aos dados brutos, além de permitir a definição de valores anômalos positivos e negativos. A técnica mMAD apresenta maior capacidade de detectar *outliers* em comparação ao TIF, sem superestimá-los como nos dados brutos. Reimann *et al.* (2005) sugerem que a técnica TIF é mais informativa, se o número real de *outliers* for inferior a 10%. Enquanto, se a proporção de *outliers* for superior a 15%, apenas o método mMAD terá um desempenho adequado.

5.4 Análise dos dados geoquímicos conforme estatística bivariada e multivariada

Técnicas como análise de correlação e análise fatorial foram utilizadas para a interpretação dos dados geoquímicos. A análise bivariada empregada foi a de Spearman, pois esta não assume que os dados tenham uma distribuição normal e que possuam uma relação linear entre as variáveis (Spearman, 1904). O grau de afinidade de um elemento pode ser inferido através desta análise, assim como, agrupamentos com afinidades geoquímicas próximas. Desta forma, foram considerados valores maiores ou iguais a 0,70, entre duas variáveis, a correlação é alta; para valores entre 0,69 e 0,50, a correlação é média; e para valores abaixo de 0,50, não possuem correlação expressiva (Marques *et al.*, 2017).

Contudo, o grande número de variáveis dificulta a determinação e a visualização de tais grupos, sobretudo quando associadas à interpretação das associações geoquímicas, devido a estas possuírem diferentes formas de ocorrência. Sendo assim, é utilizada a estatística multivariada por meio da análise. Essa técnica é útil pois permite identificar importantes componentes ou fatores que explicam a variância de um sistema. Além do mais, através desta análise é possível reduzir o número de variáveis em pequenos números de índices, preservando as relações presentes nos dados originais. Isto corrobora para uma compreensão mais assertiva dos dados geoquímicos (Manly, 1986; Tabachnick & Fidell, 2001; Marques *et al.*, 2017).

5.4.1 Estatística Bivariada - Análise de correlação

Neste estudo, o uso da análise de correlação consiste em um filtro para os elementos químicos que serão utilizados na estatística multivariada, permitindo que a variância do sistema seja mais explícita. Assim, somente os elementos que apresentam correlação superior a 0,60 serão utilizados na análise estatística multivariada. Os valores anômalos obtidos através dos gráficos *Box-plot*, não foram utilizados buscando não influenciarem nos valores de correlação. Os dados para esta análise foram log-transformados visando diminuir a influência dos *outliers*.

A Tabela 5 exibe a matriz resumida com os valores de correlação mais relevantes entre os 39 elementos para sedimentos de corrente selecionados e a Figura 33 expõe em gráficos de dispersão as correlações mais significativas entre os elementos de sedimento de corrente. É possível observar altas correlações ($\geq 0,80$; $p < 0,001$) entre Al e Ga; Cu e Ni; Co e Mn; Ga e Sc; Cr e V; ETRL - Th e U; Th e U; destaques para as boas correlações (entre 0,65 e 0,79) entre Al, Sc, Sn e V; Ba, Ca, Ni; Ca e Mg; Co, Fe, Ni e Zn; Cr, Ni e P; Cu, P e V; Hf e Zr; Li e Rb; Nb e Ti; e destaques para as correlações regulares (entre 0,50 e 0,64) As e Fe; Cu e Zn; Cr e Cu; Fe e Mn; Li e Mg; P e Zn. Os valores de correlação propostos foram seguidos conforme classificação de Marques *et al.* (2017).

Tabela 5 – Matriz de correlação resumida dos elementos analisados para sedimentos de corrente. As células em vermelho significam que a correlação entre elementos é significativa a $p < 0,001$; em amarelo, significativa a $p < 0,01$; em verde, significativa a $p < 0,05$; e em branco, significativa a $p < 0,1$

	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Hf	Hg	In	K	Li	LREE	Mg	Mn	Mo	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Sb	Sc	Sn	Sr	Th	Ti	U	V	W	Y	Zn			
Al	0,20																																									
As	0,19	0,13																																								
Ba	0,15	0,29	0,06																																							
Be	-0,19	0,39	0,04	0,58																																						
Bi	0,00	0,29	0,51	0,09	0,31																																					
Ca	0,15	0,21	0,05	0,68	0,50	0,12																																				
Cd	0,23	0,11	0,16	0,27	0,11	0,02	0,30																																			
Co	0,19	0,13	0,38	0,62	0,41	0,27	0,55	0,37																																		
Cr	0,30	0,49	0,06	0,41	0,27	0,05	0,28	0,23	0,43																																	
Cs	-0,24	0,51	0,07	0,27	0,67	0,37	0,22	-0,01	0,06	0,13																																
Cu	0,36	0,44	0,40	0,47	0,36	0,36	0,34	0,38	0,65	0,63	0,15																															
Fe	0,30	0,44	0,54	0,51	0,32	0,40	0,41	0,32	0,74	0,59	0,13	0,76																														
Ga	0,01	0,86	0,17	0,39	0,58	0,39	0,26	0,14	0,26	0,52	0,59	0,52	0,52																													
Hf	0,59	0,23	0,16	0,35	-0,04	0,12	0,26	0,21	0,35	0,52	-0,16	0,51	0,51	0,20																												
Hg	0,18	0,30	0,08	0,16	0,16	0,14	0,20	0,22	0,16	0,23	0,06	0,28	0,26	0,29	0,15																											
In	0,06	0,56	0,16	0,19	0,32	0,29	0,11	0,12	0,21	0,49	0,32	0,44	0,44	0,67	0,18	0,26																										
K	-0,11	0,05	0,15	0,44	0,41	0,33	0,39	-0,01	0,27	-0,16	0,35	0,10	0,15	0,10	0,03	-0,07	-0,07																									
Li	-0,18	0,21	0,14	0,46	0,56	0,45	0,42	0,06	0,37	0,04	0,51	0,29	0,22	0,33	0,00	-0,01	0,12	0,65																								
LREE	-0,19	0,39	0,10	0,54	0,71	0,35	0,39	0,08	0,35	0,26	0,52	0,39	0,37	0,64	0,07	0,16	0,37	0,37	0,46																							
Mg	-0,05	0,05	-0,03	0,66	0,52	0,10	0,65	0,17	0,53	0,23	0,30	0,30	0,30	0,17	0,25	0,03	0,03	0,67	0,63	0,40																						
Mn	0,12	0,09	0,36	0,58	0,35	0,31	0,57	0,28	0,84	0,29	0,13	0,48	0,64	0,21	0,27	0,14	0,13	0,35	0,36	0,31	0,51																					
Mo	0,25	0,35	0,45	0,06	0,04	0,25	-0,04	0,17	0,21	0,45	0,04	0,45	0,51	0,33	0,18	0,14	0,37	-0,21	-0,08	0,12	-0,19	0,17																				
Nb	-0,15	0,31	-0,14	0,42	0,52	-0,07	0,26	0,06	0,12	0,48	0,45	0,16	0,18	0,42	0,07	0,06	0,27	0,01	0,11	0,45	0,29	0,08	0,15																			
Ni	0,35	0,31	0,28	0,65	0,39	0,19	0,50	0,40	0,77	0,69	0,05	0,82	0,74	0,39	0,54	0,26	0,30	0,14	0,29	0,38	0,49	0,58	0,35	0,27																		
P	0,42	0,44	0,30	0,56	0,36	0,19	0,52	0,39	0,58	0,57	0,08	0,69	0,69	0,44	0,46	0,35	0,30	0,06	0,18	0,35	0,29	0,45	0,35	0,27	0,75																	
Pb	0,10	0,18	0,48	0,28	0,31	0,63	0,21	0,27	0,36	0,01	0,23	0,37	0,35	0,32	0,14	0,06	0,16	0,41	0,46	0,48	0,19	0,32	0,16	-0,10	0,28	0,26																
Rb	-0,25	0,22	0,04	0,44	0,58	0,29	0,39	-0,01	0,19	-0,08	0,69	0,06	0,12	0,36	-0,08	-0,04	0,12	0,76	0,65	0,51	0,59	0,28	-0,22	0,29	0,04	0,02	0,26															
Sb	0,05	0,38	0,57	0,27	0,35	0,53	0,16	0,18	0,37	0,29	0,29	0,52	0,57	0,51	0,12	0,10	0,36	0,21	0,32	0,49	0,09	0,32	0,53	0,11	0,42	0,40	0,61	0,16														
Sc	-0,10	0,69	0,08	0,44	0,65	0,26	0,35	0,13	0,35	0,55	0,62	0,47	0,50	0,82	0,15	0,27	0,61	0,12	0,27	0,56	0,30	0,29	0,18	0,56	0,41	0,40	0,08	0,44	0,30													
Sn	-0,04	0,70	-0,06	0,39	0,63	0,19	0,27	0,06	0,09	0,43	0,67	0,26	0,26	0,77	0,09	0,13	0,52	0,13	0,28	0,60	0,22	0,09	0,21	0,59	0,21	0,25	0,14	0,44	0,33	0,74												
Sr	0,16	0,17	-0,02	0,79	0,49	-0,03	0,65	0,24	0,45	0,40	0,18	0,39	0,34	0,24	0,34	0,11	0,10	0,32	0,39	0,44	0,61	0,40	0,07	0,46	0,59	0,52	0,17	0,30	0,20	0,28	0,34											
Th	-0,22	0,40	0,20	0,36	0,57	0,45	0,21	-0,07	0,19	0,17	0,58	0,26	0,33	0,61	0,08	0,03	0,38	0,38	0,41	0,82	0,31	0,20	0,16	0,41	0,19	0,13	0,44	0,55	0,48	0,53	0,59	0,29										
Ti	-0,09	0,27	-0,22	0,50	0,54	-0,08	0,38	0,05	0,25	0,53	0,45	0,23	0,22	0,39	0,24	0,05	0,27	0,14	0,20	0,42	0,52	0,23	-0,03	0,77	0,35	0,26	-0,15	0,38	0,00	0,62	0,57	0,54	0,40									
U	-0,18	0,46	0,10	0,47	0,72	0,35	0,33	0,02	0,23	0,28	0,65	0,33	0,32	0,67	0,02	0,10	0,42	0,27	0,39	0,83	0,29	0,22	0,18	0,54	0,27	0,29	0,36	0,53	0,44	0,65	0,71	0,44	0,83	0,52								
V	0,28	0,71	0,17	0,42	0,37	0,18	0,29	0,26	0,41	0,81	0,33	0,66	0,66	0,72	0,48	0,30	0,61	-0,07	0,10	0,34	0,22	0,29	0,41	0,46	0,59	0,56	0,08	0,11	0,35	0,77	0,59	0,31	0,31	0,51	0,41							
W	0,35	0,14	0,32	-0,09	-0,08	0,24	-0,06	0,12	0,11	0,19	-0,05	0,26	0,24	0,08	0,20	0,08	0,14	-0,09	-0,08	-0,05	-0,13	0,05	0,39	0,01	0,15	0,15	0,20	-0,14	0,21	-0,04	0,00	-0,09	0,01	-0,11	-0,05	0,22						
Y	-0,09	0,39	0,11	0,47	0,67	0,28	0,47	0,17	0,41	0,20	0,53	0,36	0,31	0,55	0,05	0,12	0,35	0,47	0,52	0,67	0,51	0,38	-0,07	0,30	0,32	0,30	0,32	0,60	0,31	0,60	0,54	0,33	0,50	0,42	0,58	0,36	-0,07					
Zn	0,26	0,20	0,38	0,55	0,34	0,33	0,54	0,39	0,72	0,31	0,08	0,64	0,65	0,23	0,40	0,16	0,12	0,43	0,50	0,29	0,58	0,61	0,20	0,01	0,70	0,63	0,42	0,24	0,40	0,19	0,03	0,44	0,17	0,12	0,15	0,31	0,15	0,34				
Zr	0,13	0,29	-0,05	0,43	0,23	0,01	0,20	0,04	0,24	0,58	0,08	0,37	0,42	0,35	0,66	0,05	0,25	0,10	0,12	0,26	0,34	0,16	0,16	0,42	0,47	0,32	-0,01	0,10	0,19	0,40	0,32	0,43	0,31	0,51	0,25	0,52	-0,02	0,11	0,23			

p< 0,001

p< 0,01

p< 0,05

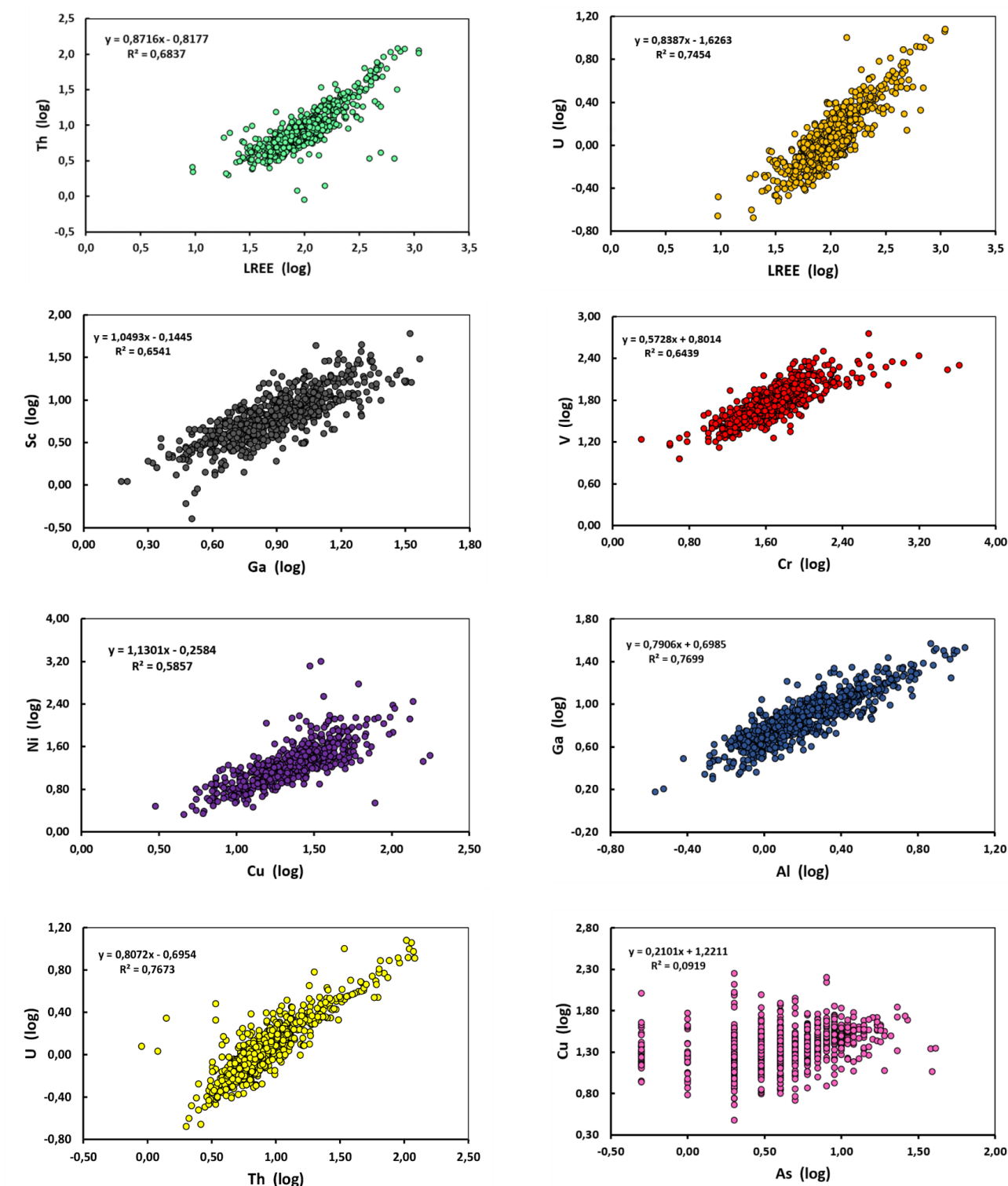


Figura 33 - Gráficos de dispersão expressando as melhores correlações entre elementos para as amostras de sedimentos de corrente.

A partir dessas correlações é possível inferir algumas características da geologia da área de estudo, sobretudo em relação a processos geológicos que refletem a formação de rochas, mineralogia, paragêneses minerais ou processos superficiais. As boas correlações entre Ni e Co, Cu e Ni, Sc e V podem estar relacionadas à presença de rochas máficas/ultramáficas; as

correlações entre Ga e Sc são observadas devido à semelhança dos raios iônicos desses elementos; as correlações entre Al, Cs, Sc e Sn podem estar associadas à formação de solos lateríticos; as correlações entre Ca e Mg estão associadas às rochas carbonáticas, da mesma forma que as correlações entre Cr e V e ETRL e Th sugerem a presença de minerais pesados nos sedimentos; fases sulfetadas podem estar relacionadas às boas correlações entre As e Fe, Cu e Zn. O correlograma da Figura 34 exibe as correlações mais relevantes entre elementos, assim como a matriz da Tabela 4, porém de forma mais didática.

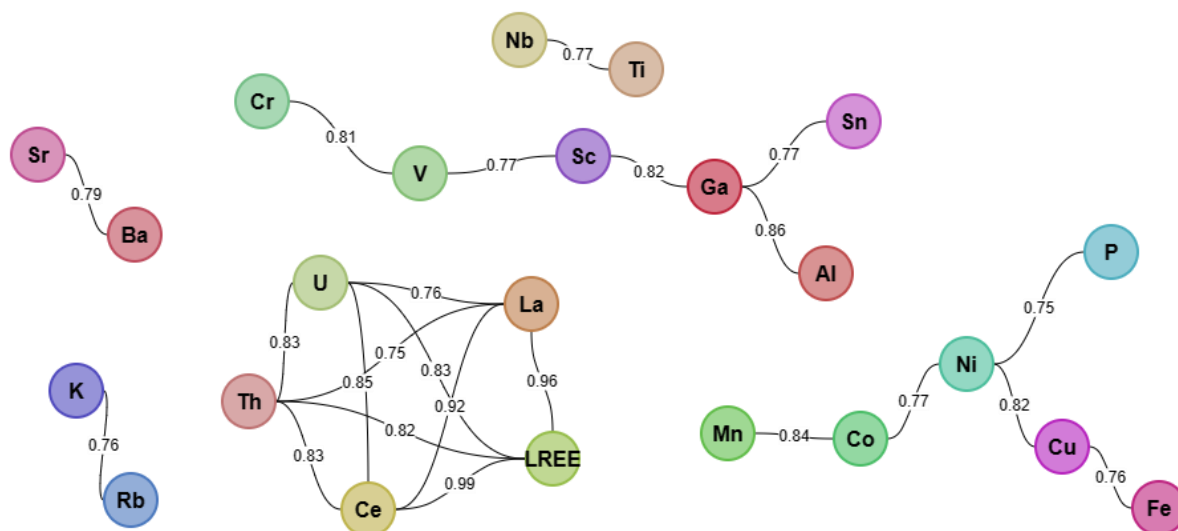


Figura 34 - Correlograma com os melhores parâmetros de correlação entre os elementos analisados. Gerado pelo aplicativo EZCorrGraph (Campos & Licht, 2021).

5.4.2 Estatística Multivariada - Análise de Principais Fatores

Nesta análise estatística, a transformação dos dados é fundamental em razão das múltiplas populações e dos dados enclausurados (*data closure*), além da geração de fatores que agregam informações com maior robustez sobre os processos que regem a distribuição geoquímica em sedimentos de corrente. Para tanto, utilizou-se a transformação centred log-ratio (CLR), considerando a abordagem por dados composicionais (Aitchison, 1986). O teste Scree, gráfico com os autovalores (eigenvalues - valor representativo da variância, Figura 35) de cada fator gerado. A partir deste gráfico, foi utilizado o critério de Kaiser, onde este considera autovalores relevantes maiores que 1. As Tabelas 6 e 7 mostram, respectivamente, os carregamentos dos elementos (*loadings*) e suas associações por fatores os quais são responsáveis pela variância dos sistema de dados para de sedimentos de corrente.

As amostras de sedimentos de corrente apresentaram sete fatores, responsáveis por 76,33% da variância do sistema, valor que, aponta que os 7 fatores extraídos representam

significativamente as interrelações entre os elementos e as hipóteses sobre suas fontes (Reimann *et al.*, 2002; Petrik *et al.*, 2018). Foi considerado valor significativo de correlação dos elementos com o fator a partir de 0,50.

Tabela 6 – Segregação de fatores pela análise de principais fatores para amostras de sedimentos de corrente, sendo em amarelo coeficientes positivos (>0,5) e em verde coeficientes negativos (< -0,5).

Elementos	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Al (clr)	0,86	0,06	-0,10	-0,27	-0,15	0,00	-0,06
As (clr)	0,02	0,16	-0,57	0,37	-0,08	-0,20	-0,38
Ba (clr)	-0,42	-0,03	0,27	0,13	-0,01	0,57	0,24
Be (clr)	0,10	0,16	0,16	0,08	0,35	0,24	0,60
Ca (clr)	-0,26	0,16	0,13	0,26	-0,09	0,67	0,31
Co (clr)	-0,39	-0,29	0,01	0,75	-0,08	0,17	0,23
Cr (clr)	0,19	-0,70	0,47	0,02	-0,22	-0,05	-0,24
Cs (clr)	0,35	0,57	0,11	-0,16	0,21	-0,20	0,45
Cu (clr)	0,11	-0,72	-0,27	0,09	-0,31	-0,09	0,04
Fe (clr)	0,13	-0,23	-0,20	0,70	-0,26	-0,03	-0,38
Ga (clr)	0,88	-0,02	-0,05	-0,15	0,18	-0,13	0,05
In (clr)	0,60	-0,24	0,01	-0,06	0,08	-0,24	-0,07
K (clr)	-0,41	0,60	-0,28	0,05	-0,06	-0,10	0,43
Li (clr)	-0,14	0,25	-0,24	-0,02	0,00	-0,05	0,75
LREE (clr)	0,00	0,08	0,00	-0,11	0,90	0,02	0,25
Mg (clr)	-0,54	0,05	0,32	0,25	-0,08	0,18	0,56
Mn (clr)	-0,37	0,02	-0,02	0,75	-0,09	0,13	0,17
Nb (clr)	0,08	0,09	0,75	-0,15	0,25	0,05	-0,21
Ni (clr)	-0,22	-0,75	0,21	0,28	-0,19	0,25	0,01
P (clr)	0,06	-0,36	-0,10	0,11	-0,16	0,73	-0,24
Pb (clr)	-0,13	0,11	-0,77	-0,09	0,18	-0,21	0,04
Rb (clr)	-0,16	0,71	0,00	-0,04	0,17	-0,10	0,52
Sc (clr)	0,73	-0,03	0,42	0,23	0,11	-0,05	0,28
Sn (clr)	0,58	0,19	0,31	-0,35	0,27	-0,06	0,01
Sr (clr)	-0,37	-0,11	0,35	-0,19	0,00	0,67	0,04
Th (clr)	0,04	0,35	0,06	-0,11	0,79	-0,29	0,03
Ti (clr)	-0,04	-0,04	0,90	-0,04	0,13	0,02	0,08
U (clr)	0,17	0,24	0,14	-0,18	0,84	-0,07	0,10
V (clr)	0,64	-0,38	0,34	0,03	-0,31	-0,13	-0,20
Y (clr)	0,12	0,06	-0,03	0,09	0,40	0,07	0,62
Zn (clr)	-0,46	-0,14	-0,33	0,38	-0,26	0,15	0,29

Tabela 7 – Autovalores e suas respectivas porcentagens de variância para cada fator segregado da análise de principais fatores em amostras de sedimentos de corrente.

Fatores	Associação Geoquímica	Eigenvalue	Variância (%)
1	Ga-Al-Sc-V-In-Sn (+) / Mg - Zn (-)	6,92	22,32
2	Rb-K-Cs (+) / Ni-Cu-Cr (-)	6,38	20,57
3	Ti-Nb-Cr (+) / Pb-As (-)	4,31	13,90
4	Co-Mn-Fe (+)	2,15	6,93
5	LREE-U-Th (+)	1,54	4,96
6	P-Ca-Sr-Ba (+)	1,35	4,35
7	Li-Y-Be-Mg-Rb-Cs (+)	1,02	3,29
Total		23,66	76,33

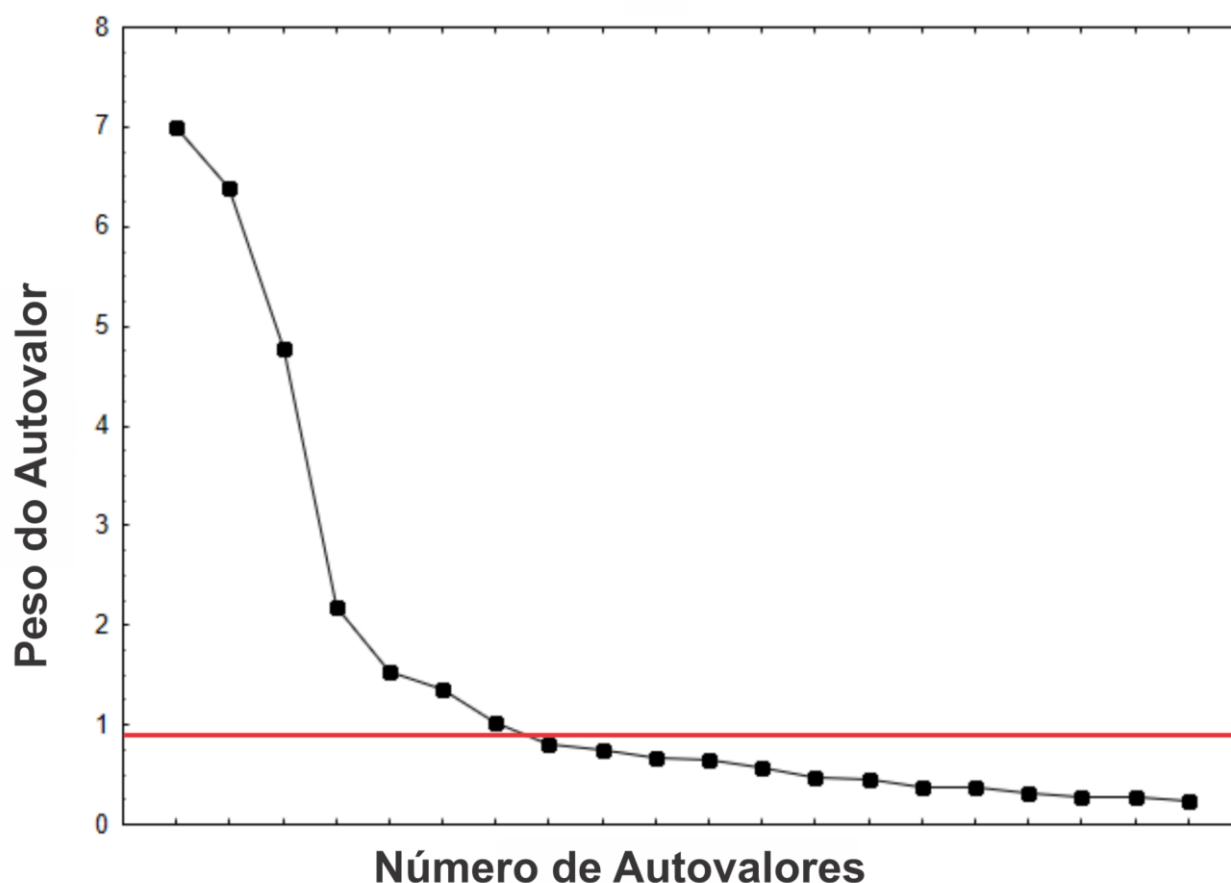


Figura 35 - Gráfico do tipo Scree para determinação da quantidade de fatores relevantes para a análise (critério de Kaiser, peso do autovalor > 1; representado pela linha vermelha no gráfico) para as amostras de sedimentos de corrente.

5.4.2.1 Fator 1

O Fator 1 (Figura 36) é responsável por 22,32% da variância do sistema, exibe correlações positivas para Ga, Al, Sc, In, Sn, V, cuja interpretação indica scores significativos para as coberturas quaternárias e lateríticas, principalmente no Grupo Canastra. Esta associação pode estar relacionada à uma peculiaridade química do processo de laterização, visto que usualmente estes elementos são co-precipitados ou adsorvidos nas fases minerais de argilas e óxidos/hidróxidos de

alumínio (Yariv & Cross, 1979). As correlações negativas para Mg e Zn exibem *scores* significativos sobre a intrusão alcalina ultramáfica de Serra Negra, Formação Serra da Saudade (Grupo Bambuí), que inclui o Grupo Mata da Corda e, subordinadamente, ao Grupo Canastra. Tal associação provém da bacia sedimentar carbonática, dos corpos kimberlíticos e ultramáficos comuns à área, e podem representar a atividade de líquidos hidrotermais em áreas com carbonatos e rochas máficas/ultramáficas, que são reativas ao hidrotermalismo.

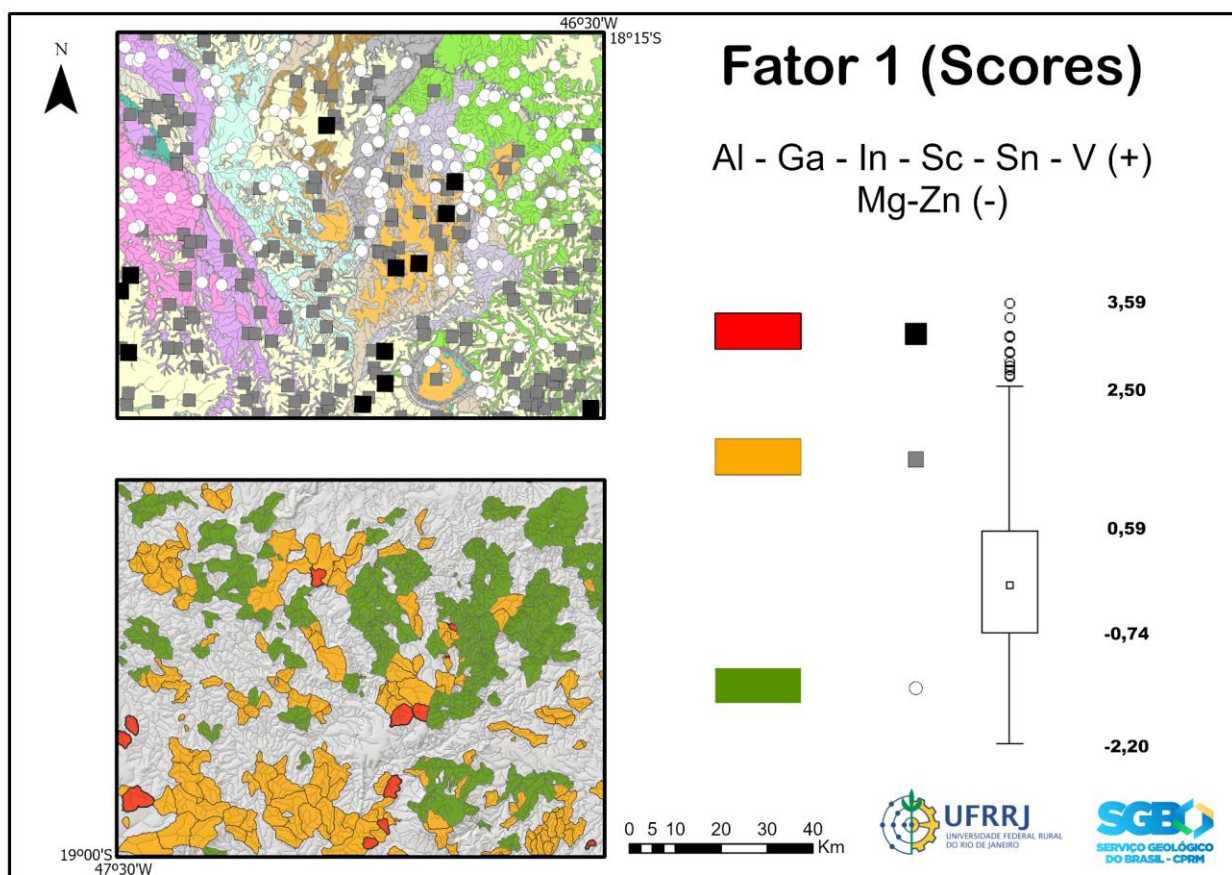


Figura 36 – Distribuição espacial do Fator 1 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) na área de estudo.

5.4.2.2 Fator 2

O Fator 2 (Figura 37), responsável por 20,57% da variância do sistema, exibe correlações positivas para Rb, K e Cs, e apresentam *scores* significativos principalmente para os complexos Monte Carmelo e Abadia dos Dourados, Grupos Ibiá e Araxá e, mais pontualmente, nos Grupos Canastra e Vazante, e Formação Serra da Saudade. Esta associação representa tanto granitoides félsicos mais evoluídos com ocorrência de minerais como K-feldspato e micas, quanto aos processos hidrotermais. As correlações negativas para Cr, Cu, Ni, apresentam *scores* significativos em porções da Formação Serra da Saudade, incluindo as intrusões ultramáficas alcalinas de Serra Negra e Grupo Mata da Corda, e dos membros Hidrelétrica da Batalha e Serra da Anta, constituintes

do Grupo Canastra, e, por fim, pequenas porções da Formação Serra do Garrote, do Grupo Vazante. Os *scores* relevantes dessas últimas três unidades podem ser explicados pela presença de filitos carbonosos que podem possuir esses metais em sua composição.

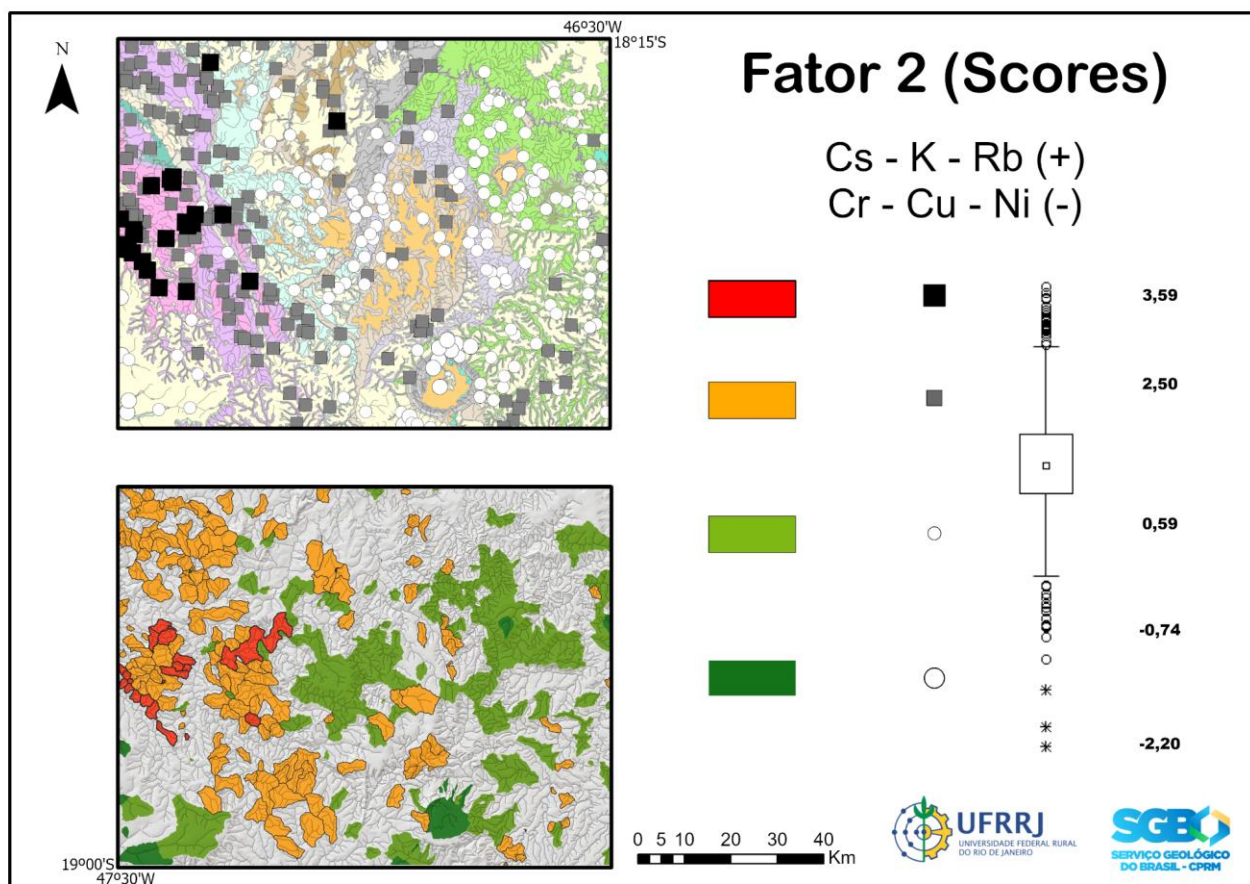


Figura 37 – Distribuição espacial do Fator 2 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) na área de estudo.

5.4.2.3 Fator 3

O Fator 3 (Figura 38), responsável por 13,90% da variância do sistema, exibe correlações positivas para Cr, Nb e Ti, e apresentam *scores* significativos para Formação Serra da Saudade, que incluem as rochas ultramáficas alcalinas de Serra Negra e Mata da Corda, com presença de minerais em sua composição com altos teores de Ti, como leucóxênio, ilmenita e anatásio, rutilo e titanita (Torres, 1977). Além dos diversos corpos kimberlíticos de pequeno porte, onde Cr e Nb estão geoquimicamente associados, e que ocorrem principalmente nos complexos Abadia dos Dourados e Monte Carmelo, e Grupos Ibiá e Mata da Corda.

As correlações negativas são para As e Pb e apresentam *scores* relevantes para Membro Serra da Anta, do Grupo Canastra, onde são caracterizados por sericita filitos com ocorrência de pirita e associação aos veios de quartzo. Scores significativos também ocorrem para os carbonatos

dolomíticos do Grupo Vazante, onde mais ao norte, fora da área de estudo está o Distrito Zincífero de Vazante (DZV) com Pb associado. A maior dispersão dessa associação ao norte da área pode ter influência da atividade minerária na região, principalmente em se tratando das minas ativas e inativas do DZV, que ocasionam uma maior dispersão de rejeitos dessa associação via aérea (ventos).

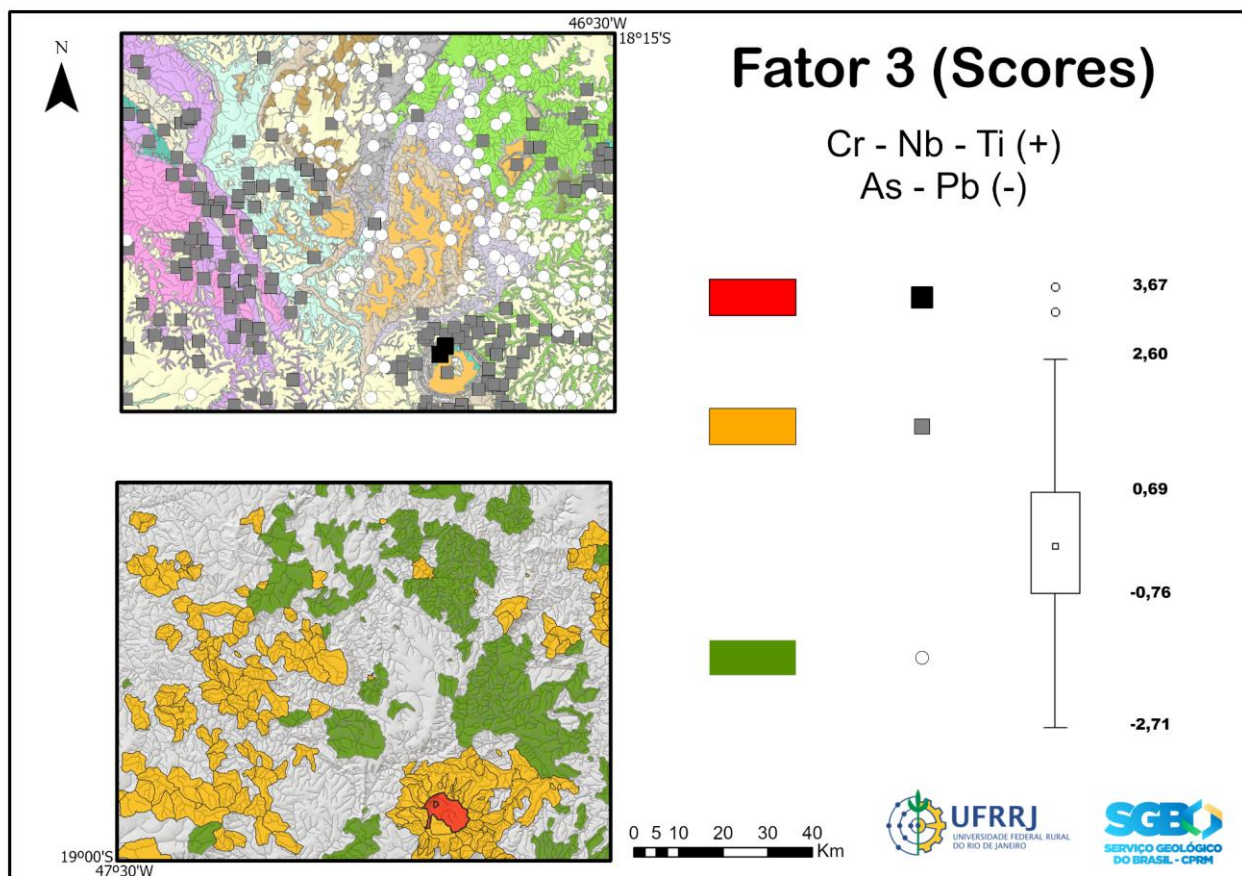


Figura 38 – Distribuição espacial do Fator 3 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) na área de estudo.

5.4.2.4 Fator 4

O Fator 4 (Figura 39), é responsável por 6,93% da variância do sistema, apresenta correlações positivas para Co, Fe e Mn, e exibem scores significativos para a Formação Serra da Saudade (Grupo Bambuí). Esta engloba a intrusão alcalina ultramáfica de Serra Negra e Grupo Mata da Corda. Esta associação provavelmente tem origem a partir de rochas vulcânicas. Scores significativos também ocorrem para o complexo Abadia dos Dourados, que é composto por anfibolitos compatíveis com basaltos de cadeia meso-oceânica (Brod *et al.*, 1992) e Grupos Ibiá e Vazante, compostos por filitos carbonáticos e carbonatos. Esta associação geoquímica pode representar a atividade hidrotermal, visto que os carbonatos e as rochas máficas/ultramáficas são suscetíveis a alteração pelos processos hidrotermais.

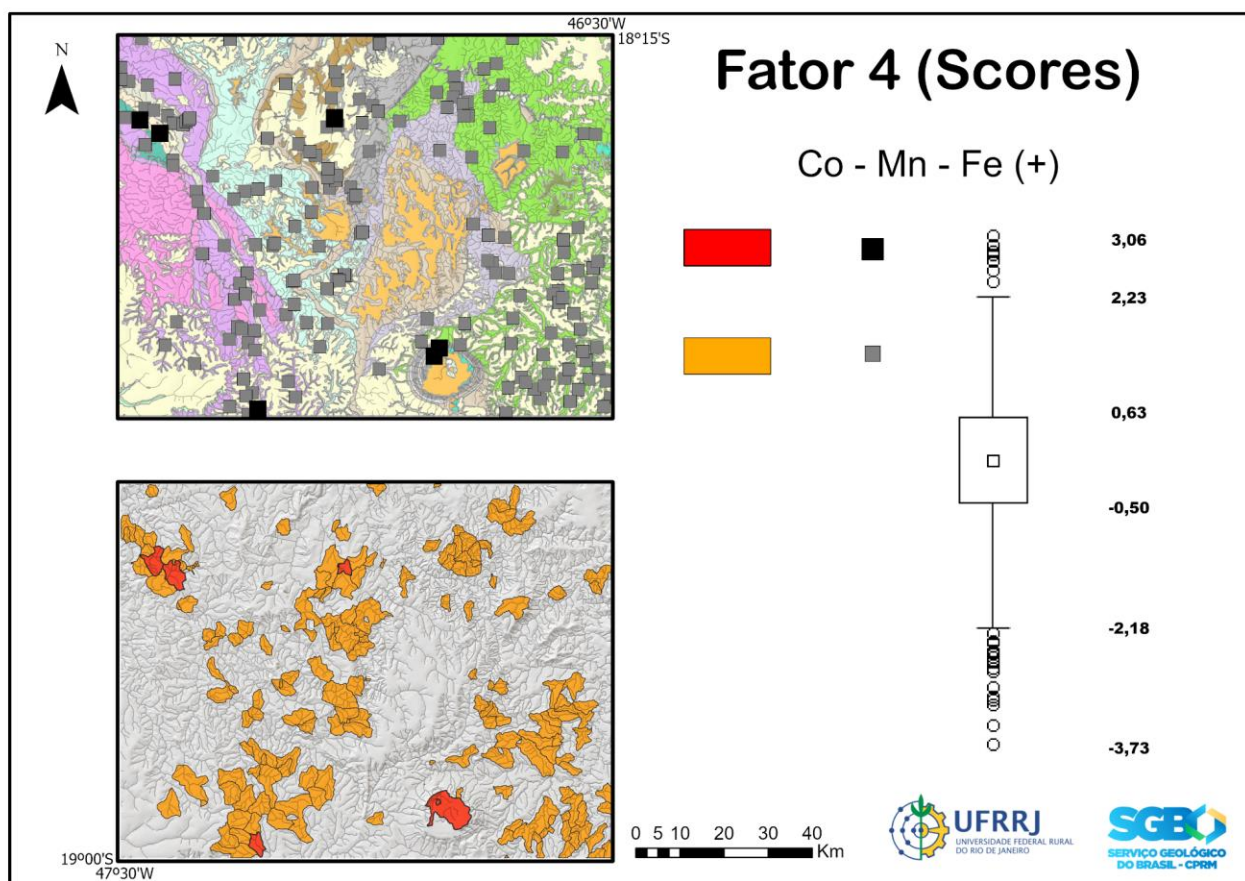


Figura 39 – Distribuição espacial do Fator 4 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

5.4.2.5 Fator 5

O fator 5 (Figura 40), responsável por 4,96% da variância do sistema, apresenta correlações positivas para ETRL, Th e U, e exibe scores significativos para esta associação nos complexos Monte Carmelo e Abadia dos Dourados, Grupos Araxá e Canastra. Esta associação de elementos pode estar relacionada com a presença de minerais resistatos, tais como monazita, xenotímio e zircão, que podem estar como minerais acessórios tanto nas rochas do embasamento, principalmente no caso dos complexos Abadia dos Dourados e Monte Carmelo e Grupo Araxá, quanto representar hidrotermalismo ao longo de zonas de cisalhamento, neste caso, no Grupo Canastra.

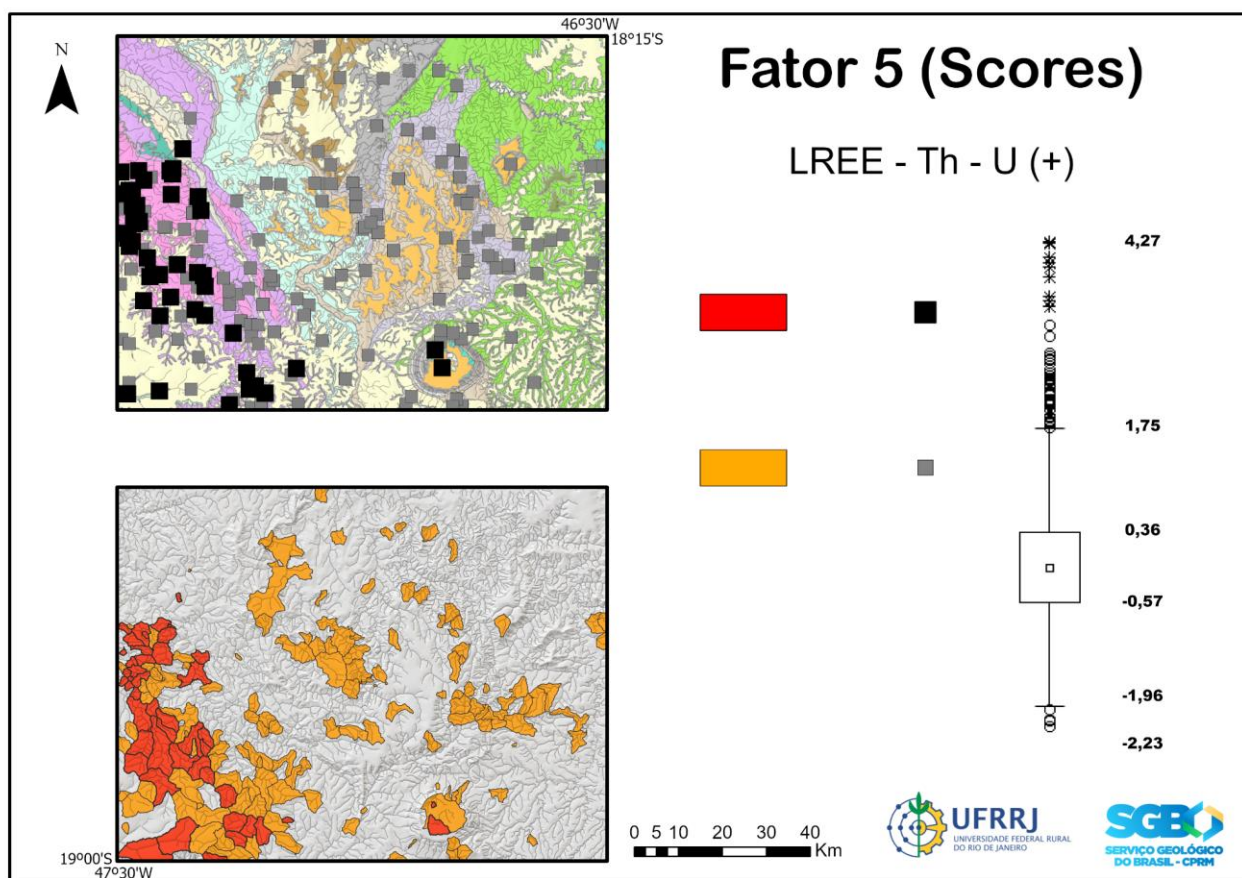


Figura 40 – Distribuição espacial do Fator 5 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) ao longo da área de estudo.

5.4.2.6 Fator 6

O fator 6 (Figura 41), responsável por 4,35% da variância do sistema, apresenta correlações positivas para Ba, Ca, P e Sr e exibe scores significativos para a intrusão ultramáfica de Serra Negra e Grupo Mata da Corda, além da faixa limítrofe entre as Formações Serra da Saudade e Serra de Santa Helena. Em relação à intrusão de Serra Negra e ao Grupo Mata da Corda, os scores significativos representam ocorrências de fosfato não econômicas ou atividade agrícola abundante na região devido aos solos ricos. Este fator pode também ser influenciado pela faixa estreita entre as Formações Serra da Saudade e Serra de Santa Helena, oeste do município de Lagamar, devido às minas fosfáticas de Rocinha e Lagamar, exploradas pela Vale Fértil e Galvani, respectivamente. Entretanto, outros scores significativos são exibidos para o grupo Canastra, complexo Monte Carmelo e faixas com coberturas quaternárias. No entanto, estes podem estar relacionados a utilização de insumos agrícolas nos variados tipos de cultivos presentes na área estudada, sobretudo plantações de soja que são abundantes na região estudada.

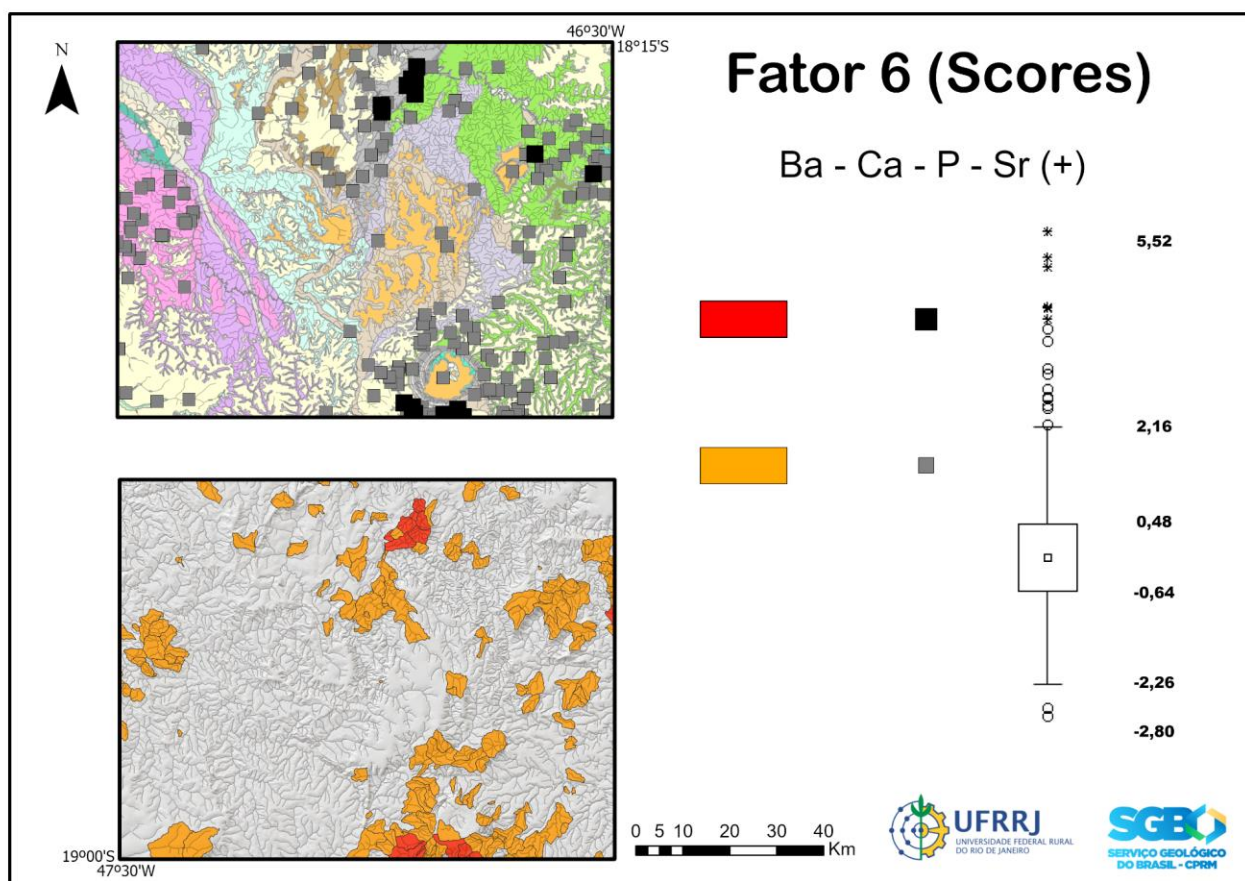


Figura 41 – Distribuição espacial do Fator 6 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) na área de estudo.

5.4.2.7 Fator 7

O fator 7 (Figura 42), responsável por 3,29% da variância do sistema, apresenta correlações positivas para Be, Cs, Li, Mg, Rb, Y, e apresenta scores relevantes para as unidades que compreendem o embasamento, como complexos Abadia dos Dourados e Monte Carmelo, e Grupo Araxá, estando associados aos granitoides mais evoluídos e ortognaisses. Além dos Grupos Ibiá e Canastra e a Formação Serra da Saudade. Neste caso, esta associação geoquímica pode estar relacionada a processos hidrotermais ao longo dos litotipos metassedimentares.

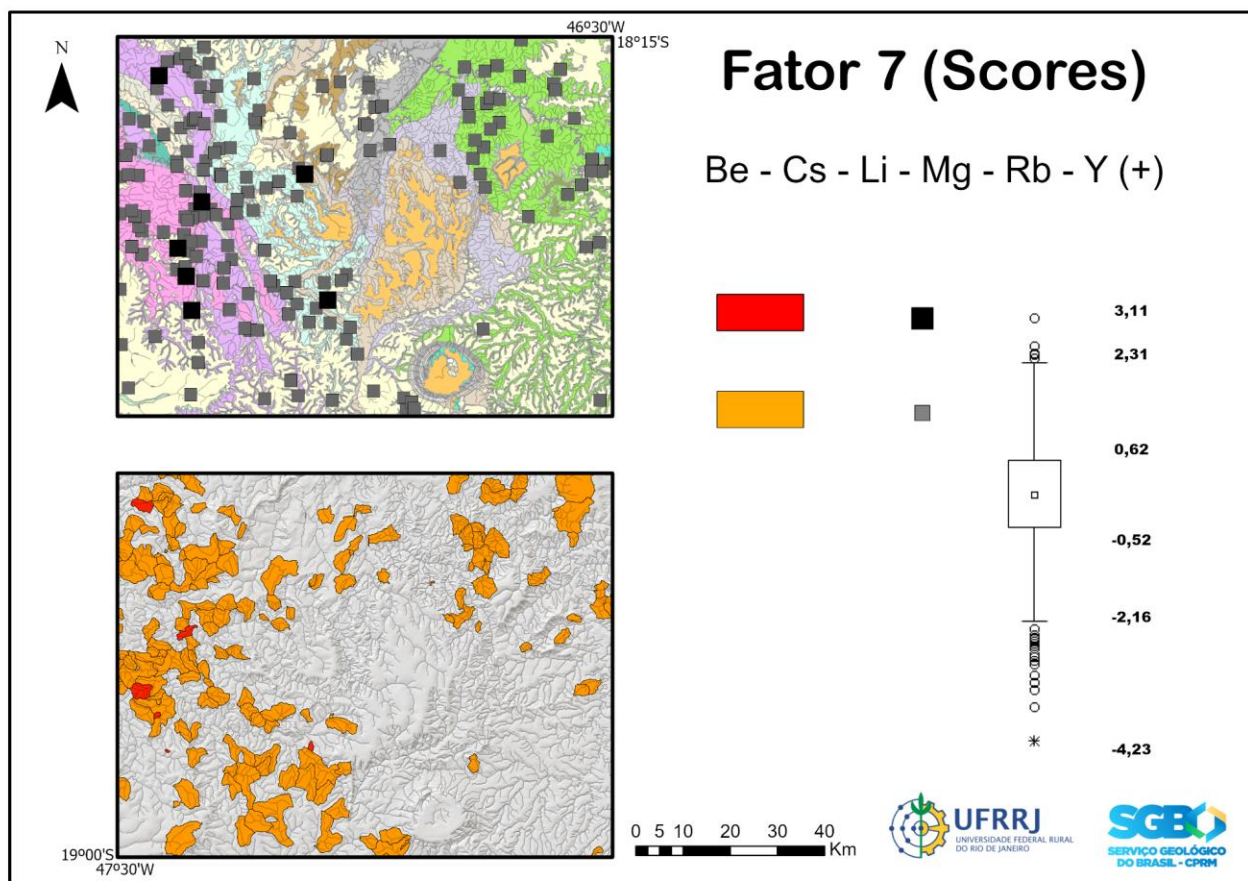


Figura 42 – Distribuição espacial do Fator 7 para sedimentos de corrente (mapa de bacias e pontos) na área de estudo.

6. Conclusão e Recomendações

O mapeamento geoquímico representa uma ferramenta colaborativa para o conhecimento geológico de uma região, pois fornece informações de forma prática e eficiente. A área mapeada por geoquímica serve tanto de auxílio para o mapeamento geológico quanto para a prospecção mineral, pois ressalta múltiplos processos geológicos e de mineralização. A análise da dispersão geoquímica dos elementos é importante também no planejamento urbano, atividades agropecuárias, bem como para o fortalecimento de políticas públicas relacionadas à saúde e preservação do meio ambiente.

O tratamento estatístico dos dados geoquímicos segundo as etapas: estatística univariada, bivariada e multivariada, auxiliam no levantamento e compreensão dos processos fundamentais que regem a variabilidade geoquímica dos elementos. É possível observar que, os processos e as variações geoquímicas dos elementos têm forte controle exercido pela geologia regional, como os processos hidrotermais (nos Fatores 1, 2, 4 e 7), tais como processos supergênicos no Fator 1.

Este levantamento foi capaz de mostrar o comportamento geoquímico dos elementos, através das suas dispersões em mapa (estatística univariada) e suas respectivas associações geoquímicas (estatística multivariada). Sugere-se que para futuras pesquisas na região, especialmente as de exploração mineral, que a densidade de amostragem seja maior, e que haja a adição de informações geofísicas e estruturais aos dados geoquímicos, os quais permitam gerar descobertas e a exploração de novas áreas alvo. Outra sugestão é discutir e comparar os limites legais definidos na resolução ambiental brasileira com os valores de *background* propostos neste trabalho por diferentes métodos, visando principalmente os elementos potencialmente tóxicos (EPT).

7. Referências Bibliográficas

AITCHISON, J. (1986) - The Statistical Analysis of Compositional Data. London: Chapman and Hall, London, 416 p.

ALBANESE S.; DE VIVO B.; LIMA A. e CICCHELLA D. (2007) - Geochemical *background* and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy). Journal of Geochemical Exploration, 93(1): 21–34.

ALKMIM, F.F. e MARTINS-NETO M.A. (2001) - A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: C.P. Pinto & M.A. Martins-Neto (eds.). A Bacia do São Francisco geologia e recursos naturais. SBG, Belo Horizonte, p. 9-30.

ALKMIN, F.F. (2004) - O que faz de um cráton um cráton? O cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: Mantesso-Neto, V. *et al.* (ed.) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, p. 17-34, São Paulo, Beca, 647p.

ALMEIDA, F. F. M. (1967b) - Nota sobre o Pré-Cambriano na Região Central de Goiás. Boletim Paranaense de Geociências. 26, p.19-22.

ALMEIDA F. F. M. (1977) - O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, 7(4):349-364.

ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., e FUCK, R, A. (1981) - Brazilian structural provinces. Earth Science, 17: 1-29.

ALMEIDA, G. S. (2017) - Caracterização hidrogeoquímica da microbacia de drenagem do Córrego do Bule, Ouro Branco, MG. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geoquímica Ambiental - Instituto de Química. Universidade Federal Fluminense. Niterói. 210p.

ANAND, R. R. e PAINE, M. (2002) - Regolith geology of the Yilgarn Craton, Western Australia: implications for exploration. Australian Journal of Earth Sciences, v. 49, n. 1, p. 3-162.

BARBOSA, O. (1955) - Guia das Excursões. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 9, Belo Horizonte. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, V.3, p.3-5.

BARBOSA, O. (1965) - Série Bambuí, trecho do trabalho intitulado “Geologia, Econômica e Aplicada a uma parte do Planalto Central Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 19, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, Simpósio das Formações Eo-paleozóicas do Brasil. 11p.

BARBOSA, O. ; BRAUN, O.P.G. e DYER, R.C. (1970) - Geologia da Região do Triângulo Mineiro. Boletim DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, n.136, 140p. 1970.

BDMG. Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais. Minas Gerais do Século XXI. Belo Horizonte: Roma Editora, 2002. v.2.

BEUS, A. A. e GRIGORIAN, S. V. (1977) - Geochemical exploration methods for mineral deposits. Wilmette: Applied Publish.

BIZZI, L.A.; WIT, M.J. de; SMITH, C.B.; ARMSTRONG, R.A. (1993) - Características isotópicas e origem dos kimberlitos e vulcânicas alcalinas relacionadas em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO GEOLOGIA DO DIAMANTE, 1, Cuiabá. Anais. Cuiabá: UFMT, Publicação Especial, V.2, N.93, p.141-151.

BRANDALISE, L.A.; CARVALHAES, J.B. e LEMOS, L.B.G. (1980) - Projeto Sondagem do Bambuí em Minas Gerais: relatório final. Texto e anexos. Belo Horizonte: CPRM/DNPM. 277p.

BRAUN, O.P.G. (1968) - Contribuição à Estratigrafia do Grupo Bambuí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, Belo Horizonte, Anais. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, p.155-166.

BRITO B.B.; NETO, M C. C. e FUCK R. A. (1999) - From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. Episodes 22: 155-166.

BROD, J.A.; LEONARDOS, O.H.; MENESES, P.R.; ALBURQUERQUE, M.A.C.; ALMEIDA, R.; ARAÚJO, R.N.G.; BLANCO, S. B.; CARDOSO, F.B.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; JUNQUEIRA, F.F.; RIEHL JUNIOR, W.; SOUZA, J.C.F.; TALLARICO, F.H.T.; THOMSEM, F.P.R.; BERBET, M.L.C.; CERQUEIRA, M.R.S.; CHAGAS, M.A.; DIAS, R.R.; LIMA, C.V.; NAKAMURA, E.T.; PORTO, S.G.; ROMÃO, P.A. e SANTOS, P.C.V. (1991) - Tectonoestratigrafia da Faixa Brasília na região do Alto Paranaíba. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 3., Cuiabá. Anais... p. 155-168.

BROD, J.A.; LEONARDOS, O.H.; MESESES, P.R.; ALBUQUERQUE, M.A.C.; ALMEIDA, R.; BLANCO, S.B.; CARDOSO, F.B.F.; ROMÃO, P.A.; TALLARICO, F.H.B. e THOMSEN F.P.R. (1992) - Geoquímica da Sequência Vulcano--Sedimentar de Abadia dos Dourados e Complexo Chapada dos Perdizes, Triângulo Mineiro – MG. Revista Escola de Minas, v. 45, n. 1/2, p. 164 – 166.

CAMPOS, F.F. e LICHT, O.A.B., (2021) - Correlation diagrams: Graphical visualization of geochemical associations using the EzCorrGraph app. J. Geochem. Explor. 220, 106657

CARITAT P. (2011) - The national geochemical survey of Australia. Lefkosia, Geochemical Atlas of Cyprus Symposium, 55 p.

CARRANZA, E.J.M. (2009) - Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS: Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry. Amsterdam: Elsevier. [n.p.].

COSTA, L.A.M. e ANGEIRAS, A.G. (1971) - Geosynclinal evolution of the epi-Baykalian platform of Central Brazil. Geol. Runds. 60 (3): 1024-1050.

COMAS-CUFÍ, M. e THÍO-HENESTROSA, S. (2011) - CoDaPack 2.0: a stand-alone, multi-platform compositional software. In: Egozcue, J.J., Tolosana-Delgado, R., Ortego, M.I. (Eds.), CoDaWork'11: 4th International Workshop on Compositional Data Analysis. Sant Feliu de Guíxols.

COSTA, M.T. e BRANCO J.J.R. (1961) - Introdução. In: Branco J.J.R. (ed.) Roteiro para a excursão Belo Horizonte – Brasília. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 14, Belo Horizonte, Anais, 15:1-119.

DARDENNE, M.A. (1978) - Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 30, Recife, Anais, v. 2, p. 507-610.

DARDENNE, M.A. (1979) - Mineralizações de Chumbo, Zinco e Flúor do Proterozóico Superior no Brasil Central. Com foco na cronologia do pré-cambriano brasileiro. 251f. Tese de Doutorado. Universidade de Paris VI, França.

DARDENNE, M.A. (1981) - Os grupos Paranoá e Bambuí na faixa dobrada Brasília. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRATON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 1, Salvador. Anais. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Bahia, Coordenação da Produção Mineral, p.140-157.

DARDENNE, M.A. e FREITAS-SILVA F.H. (1998) - Depósitos Pb-Zn-F-Ba do Supergrupo São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1998, Belo Horizonte. Resumos Expandidos. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Minas Gerais, 1998, p. 133.

DARDENNE, M.A. (2000) - The Brasília fold belt. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.) Tectonic Evolution of South América, 231-264.

DIAS, P.H.A. (2011) - Estratigrafia dos grupos Canastra e Ibiá (Faixa Brasília Meridional) na região de Ibiá, Minas Gerais: Caracterização e estudo de proveniência sedimentar com base em estudos isotópicos U-Pb e Sm-Nd. Dissertação de Mestrado. IG/UFMG, Belo Horizonte, 2011a.

FÉBOLI, W. L.; PINHO, J. M. M. e SIGNORELLI, N. (2017) - Projeto Vazante – Paracatu, Estado de Minas Gerais e Goiás: texto explicativo. Belo Horizonte: CPRM-BH, 2017.

FORTESCUE, J.A.C. (1992) - Landscape geochemistry: retrospect and prospect - 1990. Applied Geochemistry, l. v. 7, p. 1-53.

FREITAS-SILVA, F.H. Enquadramento litoestratigráfico e estrutural do depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu (MG). 151f., 1991. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1991.

FREITAS-SILVA, F.H.; DARDENNE, M.A. (1994) - Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o Grupo Canastra no Oeste de Minas Gerais e Leste de Goiás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 4, 1994, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Centro Oeste, 1994, p.161-163.

FREITAS-SILVA, F.H. e DARDENNE, M.A. (1996) - O Grupo Canastra no Oeste Mineiro e Sudeste de Goiás: Estratigrafia, Geocronologia e Correlações Regionais. In: FREITAS-SILVA, F.H. 1996.

- Metalogênese do Depósito do Morro do Ouro, Paracatu-MG. 1996. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – UnB, Brasília. Anexo 2. 16p. 1996b.
- FUCK R.A.; JARDIM DE SÁ E.F.; PIMENTEL, M.M.; DARDENNE, M.A. e PEDROSA-SOARES A.C. (1993)** - As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco. In: J.M.L. Dominguez & A. Misi (eds). Simpósio o Cráton do São Francisco, 1993. Salvador. Anais. Salvador: SBG/SGM/CNPQ, 1993, p. 161-186.
- FUCK R. A. (1994)** - A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: SBG, 4º Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Brasília, Anais, 4: 184-187.
- GAŁUSZKA A. (2007)** - Different approaches in using and understanding the term “Geochemical background” - Practical implications for environmental studies. Polish Journal of Environmental Studies, 16: 389–395.
- GAŁUSZKA A. e MIGASZEWSKI Z. M. (2012)** - Geochemical background - an environmental perspective. *Mineralogia*, 42: 7–17.
- GOLDSCHMIDT, V.M. (1937)** - The principles of chemicals in minerals and rocks. Journal of the Chemical Society, London 1937, 655-673.
- GOSAR M.; ŠAJN R.; BAVEC Š.; GABERŠEK M.; PEZDIR V. e MILER M. (2019)** - Geochemical background and threshold for 47 chemical elements in Slovenian topsoil. *Geologija*, 62: 5–57.
- GRASSO, C.B. (2010)** - Petrologia do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, MG. 2010. 157f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- GREEN, J. (1959)** - Geochemical table of the elements for 1959. Geological Society of America Bulletin, [s.l.], V.70, [s.n.], p.1127-1184, [s.m.].
- GRUNSKY, E.C. (2010)** - The interpretation of geochemical survey data. Geochemistry Exploration and Environmental Analysis. V.10, N. 1, p.27-74. , [s.m.].
- GRUNSKY, E.C. e CARITAT, P. (2019)** - State-of-the-art analysis of geochemical data for mineral exploration. *Geochem. Explor. Environ. Anal.* 20 (2), 217–23
- HAWKES H. E. e WEBB J. S. (1962)** - Geochemistry in mineral exploration. New York, Harper & Row, 415 p.
- IGA – Instituto de Geociências Aplicadas (1979)** - Secretaria de Estado de Ciências, Tecnologia e Ensino Superior de Minas Gerais. Atlas Geográfico Escolar do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 158 p.
- IGLESIAS, M. e UHLEIN, A. (2009)** - Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do Rio São Francisco, norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 39(2): 256-266.

JOHNSON C. C. e DEMETRIADES A. (2011) - Urban Geochemical Mapping: A Review of Case Studies in this Volume. In: Johnson C. C., Demetriades A., Locutura J., Ottesen R. T. (eds.). Mapping the Chemical Environment of Urban Areas, [S.l.], John Wiley & Sons, Ltd, p. 7–27.

KARFUNKEL, J. e HOPPE, A. (1988) - Late Proterozoic Glaciation in Central-Eastern Brazil: Synthesis and Model. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, Amsterdam, [s.v.], N.65, p.1-21. [s.m.].

KRAUSKOPF, K. B. (1972) - Introdução à geoquímica. São Paulo: Ed. da USP.

LAPWORTH, D.J.; KNIGHTS, K.V. e KEY, R.M. (2012) - Geochemical mapping using stream sediments in westcentral Nigeria: implications for environmental studies and mineral exploration in West Africa. Applied Geochemistry, [s.l.], v.27, [s.n.], p.1035-1052, [s.m.].

LE MAITRE, R.W. (1982) - Numerical Petrology. Amsterdam: Elsevier, 281 p.

LEVINSON, A.A. (1974) - Introduction to exploration geochemistry. Maywood: Applied Publ. 605p.

LICHT, O.A.B. (1998) - Prospecção Geoquímica: Princípios, Técnicas e Métodos. Rio de Janeiro: CPRM. 216 p.

LICHT, O.A.B. (2001) - A Geoquímica multielementar na gestão ambiental. Identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná - UFPR. 238p.

LIMA, O.N.B; UHLEIN, A. e BRITTO, W. (2007) - Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.37, n.4 - suplemento, p.204-215, [s.m.].

MADALOSSO, A. e VALLE, C.R.O. (1978) - Considerações Sobre a Estratigrafia e Sedimentologia do Grupo Bambuí Na Região de Paracatu – Morro Agudo (MG). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, 1978, Recife. Anais. Recife: Sociedade Brasileira de Geologia/ Núcleo Nordeste. V.2, p.622-634.

MANLY, B.F.J. (1986) - Multivariate Statistical Methods: A Primer. London: Chapman Hall, 110 p.

MANN A. W. (2010) - Strong versus weak digestions: Ligand-based soil extraction geochemistry. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 10: 17–26.

MARIANO, A.N. e MARCHETTO, M. (1991) - Serra Negra and Salitre – Carbonatite Alkaline Igneous Complex. In: INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 5, 1991, Araxá. Field Guide Book. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, p.75-79. (CPRM - Special Publication, 3/91).

MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C. e DARDENNE M.A. (1981) - A evolução geotectônica da Faixa Brasília e de seu embasamento. In: CPM/SBG, Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, Salvador, Anais, 100-115.

MARQUES, C. S. S.; UHLEIN, A.; OLIVEIRA, G. D.; UHLEIN, G. J.; SIAL, A. N. e ALVARENGA, C. J. S. (2015) - Geologia e Químioestratigrafia Isotópica do Grupo Vazante em Lagamar, MG. Geonomos, 23 (1), 26-41.

MARQUES, E. D.; TULLER, M. P.; BRITO, D.C.; FREITAS, F.M.; RIBEIRO, J. H.; PINHO, J.M.M.; BAPTISTA, M.C.; SIGNORELLI, N.; SILVA, R.N. e FEBOLI, W.L. (2017) - Projeto Vazante – Paracatu, Estado de Minas Gerais e Goiás. Belo Horizonte: CPRM-BH, 2017. 356p., 12 mapas geológicos escala 1:100.000.

MARQUES, E. D.; CASTRO, C.C.; BARROS, R.A.; LOMBELLO, J.C.; MARINHO, M.S.; ARAÚJO, J.C. e SANTOS, E.A.M. (2023) - Geochemical mapping by stream sediments of the NW portion of Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Application of the exploratory data analysis (EDA) and a proposal for generation of new gold targets in Pitangui gold district. Geological Survey of Brazil (SGB/CPRM), Belo Horizonte.

MARTINS-NETO, M.A; TULLER, M.P. e RIBEIRO, J.H. (2001) - Bambui Group, Sete Lagoas area, southeastern Bambui basin. In: MISI, A.; TEIXEIRA, J.B. (org.). Proterozoic base metal deposits of Africa and South América. Contribution presented at the 1st Field Workshop, International Geological Correlation Programme 450 IGCP, p.105-114, Belo Horizonte and Paracatu, Brazil.

MASON, B. (1960) - Princípios de geoquímica. Barcelona : Ed. Omega.

MATSCHULLAT J.; OTTENSTEIN R. e REIMANN C. (2000) - Geochemical *background* – can we calculate it? Environmental Geology, 39: 990–1000.

MISI, A.; AZMY, K.; KAUFMAN, A. J.; OLIVEIRA, T. F.; SANCHES, A. L. e OLIVEIRA, G. D. (2014) - Review of the geological and geochronological framework of the Vazante sequence, Minas Gerais, Brazil: implications to metallogenic and phosphogenic models. Ore Geology Reviews, 63, 76-90.

MONTES, M.L.; GATTO, C.M.P.; ARAUJO, H.J.T. e KAUL, P.F.T. (1984) - MONTE CARMELO, Complexo. In: BAPTISTA, M.B.; BRAUN, O.P.G.; CAMPOS, D.A. (org., coord.). Léxico Estratigráfico do Brasil. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, p.261.1984.

PAULSEN, S.; BOSUM, W.; HAGEN, D.; LACERDA, G.M.; LIMA, J.E.S.; RIBEIRO, C.I.; GODOY, A.; SOUZA, A.A.; BICALHO, F.D.; FERRARI, P.G.; HEINECK, A.A.; STEINER, H.P.; PAULINO, J.; RICHTER, P.; LAHNER, L.; MOLLAT, H.; RESCH, M. OSTWALD, J. e JOCHMANN, D. (1974) - Relatório de reconhecimento geológico-geoquímico Pratinha-Argenita-Tapira-Serra da Canastra, Minas Gerais. Convênio Geofísica Brasil – Alemanha. CPRM/DNPM/SERVIÇO GEOLÓGICO DA REPÚBLICA FEDERAL DA ALEMANHA. 1974. 57p. (Coleção CGBA).

PEREIRA, L.F. (1992) - Relações tectono-estratigráficas entre as unidades Canastra e Ibiá na região de Coromandel, MG. p.73. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1992a.

PEREIRA, L.F. e SOUZA, J.C.F. (1992) - A Formação Ibiá entre Coromandel e Guarda-Mor, MG. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, V.45, N.1,2, p.83.84. 1992b.

PETRIK, A.; THIOMBANEA, M., ALBANESE, S., LIMA, A. E DE VIVO, B. (2018) - Source patterns of Zn, Pb, Cr and Ni potentially toxic elements (PTEs) through a compositional discrimination analysis: a case study on the Campanian topsoil data. *Geoderma* 331, 87–99.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R.A.; FISCHER, D.P. (1999) - Estudo isotópico Sm-Nd regional da porção central da Faixa Brasília, Goiás: implicações para idade e origem dos granulitos do Complexo Anápolis-Itaçu e rochas metassedimentares do Grupo Araxá. *Revista Brasileira Geociências*, São Paulo, V.29, N.2, p.271-279, jun. 1999.

PIMENTEL, M. M.; DARDENNE, M.A. e FUCK, R.A.; VIANA, M.G.; JUNGES, S.L; FISCHER, D.P.; SEER, H.J. e DANTAS, E.L. (2001) - Nd isotopes and the provenance of detrital sediments of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Canadá, V.14, N.6, p.571-585, [s.m.]. 2001.

PIMENTEL, M. M.; RODRIGUES, J. B.; DELLAGIUSTINA, M. E. S; JUNGES, S; MATTEINI M. e ARMSTRONG R. (2011) - The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS UePb sedimentary provenance data: A review. *Journal of South American Earth Sciences* 31: 345-357. 2011.

PINHO, J. M. M.; FÉBOLI, W. L.; SIGNORELLI, N.; TULLER, M. P.; BRITO, D. C.; RIBEIRO, J. H.; BAPTISTA, M. C. e SILVA, R. N. (2017) - Geologia e recursos minerais das folhas: Cabeceira Grande, Unaí, Ribeirão Arrojado, Serra da Aldeia, Serra da Tiririca, Paracatu, Guarda-Mor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo e Patos de Minas. Escala 1:100.000. 344 p. Belo Horizonte: CPRM.

REIMANN, C. e CARITAT, P. (2005) - Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: Regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment*, 337: 91–107.

REIMANN C. e GARRETT R.G. (2005) - Geochemical *background* - Concept and reality. *Science of the Total Environment*, 350: 12–27.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P. e GARRETT, R.G. (2008) - Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. 343 p.

REIMANN, C.; FABIAN, K.; BIRKE, M.; FILZMOSER, P.; DEMETRIADES, A.; NÉGREL, P.; OORTS, K.; MATSCHULLAT, J.; DE CARITAT, P.; ALBANESE, S.; ANDERSON, M.; BARITZ, R.; BATISTA, M. J.; BEL-IAN, A.; CICHHELLA, 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.; HOOGWERFF, 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.; POŇAVIČ, 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.; TENDAVILOV, V.; VALERA, P.; VEROUGSTRAETE, V.; VIDOJEVIĆ, D.;

ZISSIMOS, A.; ZOMENI, Z. e SADEGHI, M. 2018a. GEMAS: Establishing geochemical *background* and threshold for 53 chemical elements in European agricultural soil. *Applied Geochemistry*, 88: 302–318.

REIS, H.L.S. e ALKMIM, F.F. (2015) - Anatomy of a basin-controlled foreland fold-thrust belt curve: The Três Marias salient, São Francisco basin, Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, [s.l.], V.66, N.4, p.711 - 731. set, 2015.

RIGOBELLO, A.E.; BRANQUINHO, J.A.; DANTAS, M.G.S.; OLIVEIRA, T.F.; NIEVES FILHO, W. (1988) - Mina de Zinco de Vazante, Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C.E.S. (Coord.). *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. Brasília: DNPM/CVRD, 1988. v.3, Cap. 10, p.101-110.

RIZZINI, C.T. (1997) - Tratado de Fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos, ecológicos e florísticos 2 ed. São Paulo: Âmbito Cultural Edições, 1997. [n.p.].

RODRIGUES, J.B. (2008) - Proveniência de Sedimentos dos Grupo Canastra, Ibiá, Vazante e Bambuí – Um estudo de zircões detríticos e Idades-Modelo Sm-Nd. 128p., 2008. Tese de Doutorado - Instituto Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

RODRIGUES, J.B.; PIMENTEL, M.M.; DARDENNE, M.A. e ARMSTRONG, R.A. (2010) - Age, provenance and tectonic setting of the Canastra and Ibiá Groups (Brasilia Belt, Brazil): Implications for the age of a Neoproterozoic glacial event in central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, México, V.29, N.2, p.512-521. [s.m.]. 2010.

ROSE, A. W.; HAWKES, H. E. e WEBB, J. S. (1979) - Geochemistry in mineral exploration. 2ed. New York: Academic Press.

SALOMÃO, G.N. (2020) - Mapeamento Geoquímico da Bacia do rio Itacaiúnas, Província Mineral de Carajás: Assinatura geoquímica dos blocos crustais e implicações para recursos minerais e meio ambiente. 233p, 2020. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, Pará.

SANCHES, A.L. (2012) - Fosforitos Neoproterozoicos dos Grupos Vazante (MG) e Una (BA): Origem, Idades e Correlações. Programa de Pós-graduação em Geologia. Universidade Federal da Bahia - UFBA. Tese de Doutorado, 158 p.

SCHOBENHAUS FILHO, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R. e ASMUS, H.E. (1984) -Geologia do Brasil: texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Escala 1:2.500.000. Brasília: DNPM. 1984. 501p.

SEER, H.J.; MORAES, L.C. e JUNGES, S. (2010) - Novos dados U-Pb e Sm-Nd de rochas granitóides do Grupo Araxá, Faixa Brasília Meridional, entre Araxá e Monte Carmelo, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45, 2010, Belém. Anais... Belém: Sociedade Brasileira de Geologia/ Núcleo Norte, 2010.

SEER, H.J. (1999) - Evolução Tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na Sinforma de Araxá – MG. 1999. 267f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

SGARBI G.N.C.; SGARBI P.B.A.; CAMPOS J.E.G.; DARDENNE M.A.; PENHA U.C. (2001) - Bacia Sanfranciscana: o registro fanerozóico da bacia do São Francisco. In: C.P. Pinto, & M.A. Martins-Neto (eds.) Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. Belo Horizonte, SBG-MG, p.: 93-138.

SIMOES L.S.A. e VALERIANO C.M. (1990) - Porção meridional da Faixa de Dobramentos Brasília: estágio atual do conhecimento e problemas de correlação tectono-estratigráfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal. Anais... Natal: Sociedade Brasileira de Geologia/ Núcleo Nordeste, 1990b. V.6, p.2564- 2575.

SINCLAIR, A.J. (1986) - Statistical interpretation of soil geochemical data. In: FLETCHER, W. K. *et al.* Exploration geochemistry: design and interpretation of soil surveys Chelsea: Soc. of Econ. Geol. 1986. 180 p., p. 97-115.

SMITH, D.B.; SMIT, S.M.; D.HORTON, J.D. (2013) - History and evaluation of national-scale geochemical data sets for the United States. Geoscience Frontiers, Denver, v. 4, n. 2, p.167-183, U.S. Geological Survey.

SOUZA FILHO, J.G. (1974) - Prospecção de urânio nas chaminés alcalinas de Serra Negra e Salitre - MG. Boletim Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, N.9, 1974. 41p.

SPEARMAN, C.E. (1904) - "General intelligence" objectively determined and measured. The American Journal of Psychology, [s.l.], V.15, [s.n.], p.201-293.

STRIEDER, A.J. e NILSON, A.A. (1992) - Melange ofiolítica nos metassedimentos Araxá de Abadiânia (GO) e implicações tectônicas regionais. São Paulo: Revista Brasileira Geociências, São Paulo, V.22, N.2, p.204-215.

TABACHNICK, B. G. e FIDELL, L. S. (2001) - Using multivariate statistics. London: Allyn and Bacon, 2001. 305 p.

TAYLOR, S.R. (1964) - Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. Geochimica et Cosmochimica Acta, London, V.28, [s.n.], p.1273-1286. [s.m.].

TEIXEIRA W.; SABATE P.; BARBOSA J.; NOCE C.M. e CARNEIRO M.A. (2000) - Archean and Paleoproterozoic Tectonic Evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: U.G Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (eds) Tectonic Evolution of South America, 31st IGC, Rio de Janeiro, p.:101-137.

TOMPKINS, L.A. e GONZAGA, G. (1989) - Mn. Diamonds in Brazil and a proposed model for the origin and distribution in the Coromandel region, Minas Gerais, Brazil. Economic Geology, Lancaster, [s.v.], N.84, p.591-602, [s.m.]. 1989.

TONIETTO, S. N. (2010) - Diagênese e hidrotermalismo em rochas carbonáticas proterozóicas: Grupos Bambuí e Vazante, Bacia do São Francisco. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 167 p. 2010.

TORRES, E.G. (1977) - Prospecção aluvionar no complexo ultramáfico-alcálico de Serra Negra, Patrocínio, Minas Gerais. Rio de Janeiro, 1977. 86f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1977.

TUKEY, J.W., (1977) - Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 688 p.

TULLER, M.P.; RIBEIRO, J.H.; SIGNORELLI, N; FÉBOLI, W.L. e PINHO, J.M.M. (2010) - Projeto Sete Lagoas-Abaeté. Geologia das Folhas Abaeté, Baldim, Belo Horizonte, Bom Despacho, Contagem, Pompéu e Sete Lagoas. Escala 1:100.000, relatório final. Belo Horizonte: CPRM, 2010, 160p.

TULLER, M. P.; BRITO, D.C.; FREITAS, F.M.; RIBEIRO, J. H.; PINHO, J.M.M.; BAPTISTA, M.C.; SIGNORELLI, N.; SILVA, R.N. e FEBOLI, W.L. (2017) - Projeto Vazante – Paracatu, Estado de Minas Gerais e Goiás. Belo Horizonte: CPRM-BH, 2017. 356p., 12 mapas geológicos escala 1:100.000.

UNRUG, R. (1996) - The assembly of Gondwanaland. Episodes, Ottawa, v. 19, p.11-20. 1996.

VALERIANO C.M., MACHADO N., SIMONETTI A., VALLADARES C.S., SEER H.J. e SIMÕES L.S.A. (2004) - U-Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West-Gondwana. Precambrian Research 130, (1-4): 27-55. 2004a.

VALERIANO C.M., DARDENNE M.A., FONSECA M.A., SIMÕES L.S.A. e SEER, H.J. (2004) - A Evolução Tectônica da Faixa Brasília. In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (eds), Geologia do Continente Sul- Americano – Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, São Paulo, p. 575-592. 2004b.

WEDEPOHL, K.H. (1978) - Handbook of Geochemistry. Berlin: Springer-Verlag. p. 1055.

WEDEPOHL, K.H. (1995) - The composition of the continental crust. Geochimica et Cosmochimica Acta, London, V.59, N.7, p.1217-1232. [s.m.]. 1995.

YARIV, S.; CROSS, H. (1979) - Geochemistry of colloids systems for earth scientists. Berlin: Springer. 1979. [n.p.].

ZINI, A.; FORLIM, R.; ANDREAZZA, P.; DE SOUZA, A. Depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS; COELHO (Coods). Principais Depósitos Minerais do Brasil. Vol. III. 479-489p.