



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO COMPLEXO MONSENHOR
ISIDRO ATRAVÉS DA ANÁLISE QUÍMICA DE SEDIMENTOS DE
CORRENTE**

Mariana Souza Espechit Valério

MONOGRAFIA nº 468

Ouro Preto, Janeiro de 2023

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO COMPLEXO
MONSENHOR ISIDRO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SEDIMENTOS DE
CORRENTE**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio

MONOGRAFIA

Nº 468

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO COMPLEXO MONSENHOR ISIDRO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SEDIMENTOS DE CORRENTE

Mariana Souza Espechit Valério

Orientador

Prof.^a Dr. Lucas Pereira Leão

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2022/2.

OURO PRETO

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

V164c Valerio, Mariana Souza Espechit.
Caracterização geoquímica do Complexo Monsenhor Isidro através da
análise química de sedimentos de corrente. [manuscrito] / Mariana Souza
Espechit Valerio. - 2023.
80 f.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Pereira Leão.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geologia ambiental. 2. Sedimentos (Geologia) - Sedimento de
corrente. 3. Geoquímica. 4. Estatística. I. Leão, Lucas Pereira. II.
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 550.46

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Mariana Souza Espechit Valério

Caracterização geoquímica do complexo Monsenhor Isidro através da análise química de sedimentos de corrente

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Geóloga

Aprovada em 15 de fevereiro de 2023

Membros da banca

Dr. Lucas Pereira Leão - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. Maria Eugênia Silva de Souza - Universidade Federal de Ouro Preto
Ms. Brener Otávio Luiz Ribeiro - Universidade Federal de Ouro Preto

Lucas Pereira Leão, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 27/02/2023



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Pereira Leão, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/02/2023, às 10:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0480105** e o código CRC **2BAA492B**.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal de Ouro Preto pelo ensino gratuito e de qualidade. A minha família e amigos por todo apoio durante todos os anos, em especial ao Amilton, Gisele, Elisângela, Pesanha, Gustavo, Filipe, Fernanda, Lucas, Matheus e Ícaro.

Ao prof. ° Dr. Lucas Pereira Leão e demais professores pela paciência e generosidade em dividir o conhecimento. Ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) pela disponibilidade dos dados e participação na construção deste trabalho.

Ao Departamento de Geologia pelo empenho, dedicação e excelência ao longo desses anos, é um orgulho fazer parte desta instituição. A todos que se fizeram presentes nestes anos de estudo e crescimento, minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	viii
SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO	xix
ABSTRACT	xvii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 JUSTIFICATIVA	3
1.4 LOCALIZAÇÃO.....	3
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS	4
1.5.1 Revisão bibliográfica.....	4
1.5.2 Amostragem.....	4
1.5.3 Compilação de informações geoquímicas dos sedimentos de corrente	6
1.5.4 Processamento de dados	7
1.5.5 Análise Estatística	7
2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA.....	10
2.1 GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS.....	10
2.1.1 Técnicas analíticas (digestão total e parcial).....	11
2.2 Análise Estatística	12
2.2.1 Análise estatística univariada.....	12
2.2.2 Determinação de Background	13
2.2.3 Multivariada.....	14
3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	15
3.1 QUADRILÁTERO FERRÍFERO	15
3.1.1 Estratigrafia.....	16
4 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL.....	20
4.1 COMPLEXO MONSENHOR ISIDRO	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	24
5.1.1 Cobre	26
5.1.2 Chumbo	27
5.1.3 Zinco.....	28
5.1.4 Níquel	29
5.1.5 Manganês.....	31

5.1.6	Ferro	32
5.1.7	Alumínio.....	33
5.1.8	Arsênio	35
5.1.9	Cádmio	37
5.1.10	Cromo.....	39
5.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA BIVARIADA	42
5.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIÁVEL.....	43
6	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Localização da área de estudo em relação aos municípios do entorno e ao estado de Minas Gerais.	4
Figura 1-2: a) Peneirador eletromecânico; b) Quarteador de inox; c) Gral de porcelana.	6
Figura 1-3: Localização dos pontos de coleta das amostras analisadas, destacando os limites do Complexo Monsenhor Isidro, a rede de drenagens e os municípios do entorno.....	7
Figura 1-4: Gráfico <i>boxplot</i>	13
Figura 3-1: Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com a localização da área de estudo (retângulo branco).....	16
Figura 3-2: Coluna Estratigráfica referente a província metalogenética do Quadrilátero Ferrífero	17
Figura 4-1: Recorte do mapa geológico do Estado de Minas Gerais.....	20
Figura 4-2: Mapa geológico Monsenhor Isidro.....	21
Figura 5-1: Gráfico <i>boxplot</i> , teor de cobre.....	26
Figura 5-2: Mapa geoquímico, concentração do elemento cobre no Complexo Monsenhor Isidro	27
Figura 5-3: Gráfico <i>boxplot</i> , teor de chumbo.	27
Figura 5-4: Mapa geoquímico, concentração do elemento chumbo no Complexo Monsenhor Isidro - MG.....	28
Figura 5-5: Gráfico <i>boxplot</i> , teor de zinco.	29
Figura 5-6: Mapa de concentração geoquímica do elemento zinco no Complexo Monsenhor Isidro - MG.....	29
Figura 5-7: Gráfico <i>boxplot</i> teor de níquel.....	30
Figura 5-8: Mapa de concentração geoquímica do elemento níquel no Complexo Monsenhor Isidro - MG.....	31
Figura 5-9: Gráfico <i>boxplot</i> teor de manganês.	31
Figura 5-10: Mapa de concentração geoquímica do elemento manganês no Complexo Monsenhor Isidro - MG.....	32
Figura 5-11: Gráfico <i>boxplot</i> teor de ferro.	33

Figura 5-12: Mapa de concentração geoquímica do elemento ferro no Complexo Monsenhor Isidro - MG.....	33
Figura 5-13: Gráfico <i>boxplot</i> teor de alumínio.....	34
Figura 5-14: Mapa de concentração geoquímica do elemento alumínio no Complexo Monsenhor Isidro - MG.....	35
Figura 5-15: Gráfico <i>boxplot</i> teor de arsênio.	36
Figura 5-16: Mapa de concentração geoquímica do elemento arsênio no Complexo Monsenhor Isidro - MG.....	37
Figura 5-17: Gráfico <i>boxplot</i> teor de cádmio.	38
Figura 5-18: Mapa de concentração geoquímica do elemento cádmio no Complexo Monsenhor Isidro - MG.....	39
Figura 5-19: Gráfico <i>boxplot</i> teor de Cromo.....	39
Figura 5-20: Mapa de concentração geoquímica do elemento cromo no Complexo Monsenhor Isidro - MG.....	40
Figura 7-1: Mapa Geológico do Complexo Monsenhor Isidro identificando as anomalias geoquímicas detectadas.	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1: Classificação geoquímica de Goldschmidt segundo Levinson (1974 apud Licht 1998). .	11
Tabela 5-1: Estatísticas descritivas dos sedimentos coletados na área do Complexo Monsenhor Isidro.	25
Tabela 6-1: Correlação de Pearson entre os elementos Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Cd, Cr, Al e As.	43
Tabela 6-2: Autoanálise (Autovalores e Autovetores) da matriz de correlação.	44
Tabela 6-3: Análise dos componentes principais.....	44

Resumo

A exploração geoquímica se ocupa da aquisição de dados químicos quantitativos em diferentes materiais da crosta terrestre, utilizando informações dos sedimentos de corrente em campanhas de mapeamento geoquímico é possível mapear as características geoquímicas regionais, indicar possíveis regiões para prospecção de metais e áreas fontes de elementos potencialmente tóxicos. O presente trabalho utilizou dados geoquímicos, disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), de amostras coletadas nas drenagens presentes no Complexo Monsenhor Isidro, situado na porção sul do Quadrilátero Ferrífero. A fim de contribuir com a caracterização geoquímica local e auxiliar na definição de possíveis depósitos minerais na região, os dados foram processados através da análise estatística univariada, bivariada e multivariada. A área do Complexo Monsenhor Isidro abrange o Supergrupo Rio das Velhas, o Complexo Santo Antônio do Pirapetinga e as Suítes Catas Altas da Noruega, Santa Rita Alto Maranhão, Pedra do Diabo e Bela Vista no Quadrilátero Ferrífero. O banco de dados é composto 55 amostras de sedimento de corrente com teores de Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Al, As, Cd e Cr. A partir desses dados foram determinados valores de *background* regional, a correlação entre os elementos e os fatores de componentes principais da área. Os valores máximos encontrados foram; 62,66 ppm para cobre, 26,43 ppm chumbo, 60,50 ppm zinco, 166,40 ppm níquel, 2335,00 ppm manganês, 207900,00 ppm ferro, 56000,00 ppm alumínio, 35,40 ppm arsênio, 0,11 ppm cádmio e 56000,00 ppm cromo. Identificou-se 12 anomalias geoquímicas, dentre elas anomalias de Pb, Zn, Ni, Fe, As, Cd e Cr. A análise estatística multivariável indicou 3 principais fatores característicos da área, a associação entre o cobre, zinco, níquel, manganês e cromo representam 38% da região, a relação entre o ferro e o alumínio caracterizam 16% da área e 15% do Complexo Monsenhor Isidro apresenta uma associação química com o As. Por fim foi possível caracterizar o Complexo Monsenhor Isidro pela composição de rochas máficas, ultramáficas e metassedimentares.

Palavras-chave: Geoquímica, sedimento de corrente, Monsenhor Isidro, anomalia geoquímica, estatística.

Abstract

Geochemical exploration deals with the acquisition of quantitative chemical data on different materials of the Earth's crust, using information from stream sediments in geochemical mapping campaigns, it is possible to map regional geochemical characteristics, indicate possible regions for metals prospecting and areas that potentially are the source of toxic elements. The present work used geochemical data, made available by the Geological Survey of Brazil (CPRM), from samples collected in the drainages present in the Monsenhor Isidro Complex, located in the southern portion of the Quadrilátero Ferrífero. In order to contribute to the local geochemical characterization and help define possible mineral deposits in the region, data were processed through univariate, bivariate and multivariate statistical analyses. The Monsenhor Isidro Complex area includes the Rio das Velhas Supergroup, the Santo Antônio do Pirapetinga Complex and the Catas Altas da Noroega, Santa Rita Alto Maranhão, Pedra do Diabo and Bela Vista Suites in the Quadrilátero Ferrífero. Through chemical data 55 samples for copper, lead, zinc, nickel, manganese, iron, aluminum, arsenic, cadmium and chromium were determined values of regional background, the correlation between the elements and the factors of main components of the area. The maximum values found were; 62.66mg/kg for copper, 26.43 mg/kg lead, 60.50 mg/kg zinc, 166.40 mg/kg nickel, 2335.00 mg/kg manganese, 207900.00 mg/kg iron, 56000, 00 mg/kg aluminum, 35.40 mg/kg arsenic, 0.11 mg/kg cadmium and 56000.00 mg/kg chromium. Twelve geochemical anomalies were identified, including Pb, Zn, Ni, Fe, As, Cd and Cr anomalies. The multivariate statistical analysis indicated 3 main characteristic factors of the area, the association between copper, zinc, nickel, manganese and chromium represent 38% of the region, the relationship between iron and aluminum characterize 16% of the area and 15% of the Monsenhor Isidro Complex has a chemical association with As. Finally, it was possible to characterize the Monsenhor Isidro Complex by the composition of mafic, ultramafic and metasedimentary rocks.

Key words: Geochemistry, current sediment, Monsignor Isidro, geochemical anomaly, statistic.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A partir do Séc. XX a aplicação de métodos quantitativos na Geologia ganhou força com a proposta de William C. Krumbein com ênfase quantitativa sobre amostragem geológica em base probabilística que introduz os modelos "processo-resposta". Historicamente a geologia era considerada uma ciência baseada em interpretações qualitativas dos fenômenos geológicos, mas partir de 1940, com o conhecimento sobre causa e efeito para elucidar processos geológicos, a geologia matemática avançou na área da geologia aplicada (Landim 2011). Nas últimas décadas, com o avanço tecnológico e aquisição de elevados volumes de dados, a geomatemática se tornou uma ferramenta indispensável para o tratamento e interpretação dos dados adquiridos. (Andriotti 2003).

Importante área das ciências da Terra, a exploração geoquímica se ocupa da aquisição de dados químicos quantitativos em diferentes materiais da crosta terrestre. No presente trabalho a aquisição de dados se deu através da análise química de sedimentos de corrente coletados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em uma Campanha de mapeamento geoquímico publicada no documento “Informes de Recursos Minerais – Série Metais – Informes Gerais, nº 02”. Esse projeto realizou a coleta de 3662 amostras de sedimentos ativos de corrente na área do Quadrilátero Ferrífero e seu entorno.

Sedimentos ativos de corrente são constituídos de amostras de material fino, composição mineralógica heterogênea e localizam-se preferencialmente nas porções mais ativas dos leitos das drenagens. Cada amostra de sedimento de corrente reflete a composição das litologias presentes na respectiva bacia hidrográfica. (Melo & Ramos 2019).

De acordo com Spadoni *et al.* (2004) dois aspectos indicam a relevância dos sedimentos de corrente em campanhas de mapeamento geoquímico. O primeiro deles se refere à complexidade genética, visto que os sedimentos de corrente podem representar a composição dos afloramentos das rochas à montante do local de amostragem na bacia hidrográfica. O segundo aspecto é a capacidade de rastrear a distribuição espacial de diversos elementos tóxicos através do estudo das frações finas dos sedimentos de corrente. Nesse sentido essas amostras são consideradas um importante instrumento para mapear as características geoquímicas regionais, indicar possíveis regiões para prospecção de metais e contaminação de drenagens por elementos tóxicos (Owens *et al.* 2001).

As ferramentas utilizadas para transformar os dados de mapeamento geoquímico em informações dependem objetivo de cada estudo. No geral, mapas geoquímicos, tabelas e gráficos estatísticos, como histogramas e *boxplot* são utilizados para explicitar as informações geradas.

Os mapas geoquímicos exibem o comportamento espacial de variáveis baseados em escolhas metodológicas que influenciam substancialmente a representação de padrões distintos (Govett 1983). A escala de apresentação, densidade amostral e o material coletado são importantes critérios metodológicos a serem selecionados de acordo com os objetivos do projeto. Consequentemente, o nível de síntese e a significância estatística dos mapas dependem fortemente da adoção de uma técnica específica. (Sharp 1987).

A prospecção geoquímica requer dados com elevada resolução e investigação em escala regional para estudos táticos, a fim de identificar possíveis alvos (Lancianese & Dinelli 2014). Mapas geoquímicos em escala regional, são frequentemente representados a partir de algoritmos de interpolação. No atual estudo foi utilizado a técnica do inverso da distância ponderada (IDW), amplamente empregada em geoquímica ambiental e de prospecção, capaz gerar mapas de contornos composicionais, facilitando a identificação de áreas alvos. (Leão 2019).

A determinação de valores anômalos, limiares (*threshold*) e teor de fundo (*background* geoquímico), indicadores básicos de uma distribuição geoquímica unielementar, acontece através de métodos estatísticos univariados que possibilitam a determinação de parâmetros estatísticos básicos (média, mediana, variância, desvio padrão, quartis e intervalos interquartis) para um único elemento, transformando dados em informações. A análise estatística multivariada é outro método essencial para tratamento dos dados, como os fenômenos geológicos resultam de diversos fatores condicionantes são necessárias análises que envolvam mais de um elemento químico, possibilitando relacionar a associação entre eles com o contexto geológico de sua formação.

As principais técnicas de análise estatísticas multivariadas em mapeamentos geoquímicos são a análise de componentes principais, análise de agrupamento e análise fatorial. De acordo com Andriotti (2003), a análise estatística multivariada é responsável pela investigação de diversas variáveis (concentrações de elementos) para uma mesma amostra, obtendo correlações elementares que podem colaborar na determinação de áreas fontes para prospecção mineral.

Esse estudo utilizou o banco de dados supracitado para avaliar as características geoquímicas nas drenagens presentes no contexto geológico do Complexo Monsenhor Isidro. Foram realizadas análises estatísticas univariadas, bivariadas e multivariáveis para compreender a assinatura geoquímica do Complexo Monsenhor Isidro quanto à concentração geoquímica dos elementos: Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Níquel (Ni), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd) e Cromo (Cr).

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar a assinatura geoquímica dos sedimentos de corrente no contexto geológico do Complexo Monsenhor Isidro, região inserida na região da bacia do rio Piranga. Será usado o banco de dados da CPRM.

Como objetivos específicos têm-se:

- Determinar as principais associações elementares presentes na área;
- Interpretar as relações litológicas com a assinatura geoquímica dos sedimentos de corrente.

1.3 JUSTIFICATIVA

O Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) dispõe de um importante banco de dados referente a amostras de rochas, minérios, sedimentos de corrente, solos e concentrados de bateia em todo o estado de Minas Gerais. Ainda assim, grande parte desses dados não foram analisados detalhadamente, sendo importante investigá-los para o desenvolvimento da sociedade e ampliação dos conhecimentos geológicos do Brasil.

Com isso, a análise geoquímica dos sedimentos de corrente, nas drenagens no complexo Monsenhor Isidro, contribuirá com a caracterização geoquímica local e auxiliará na definição de possíveis depósitos minerais.

1.4 LOCALIZAÇÃO

A região de estudo está localizada há aproximadamente 100 km de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, região sudeste do Brasil (Figura 1-1). A área tem aproximadamente 69.994 ha e localiza-se entre os municípios de Ouro Preto, Ouro Branco, Itaverava, Catas Altas da Noruega, Piranga, Mariana, Santo Antônio do Salto e Santa Rita.

A cidade de Ouro Preto foi definida como base para a execução do projeto. O acesso mais curto, com a capital como referência, se dá a partir BR-356, seguindo pela Rodovia dos Inconfidentes até Ouro Preto.

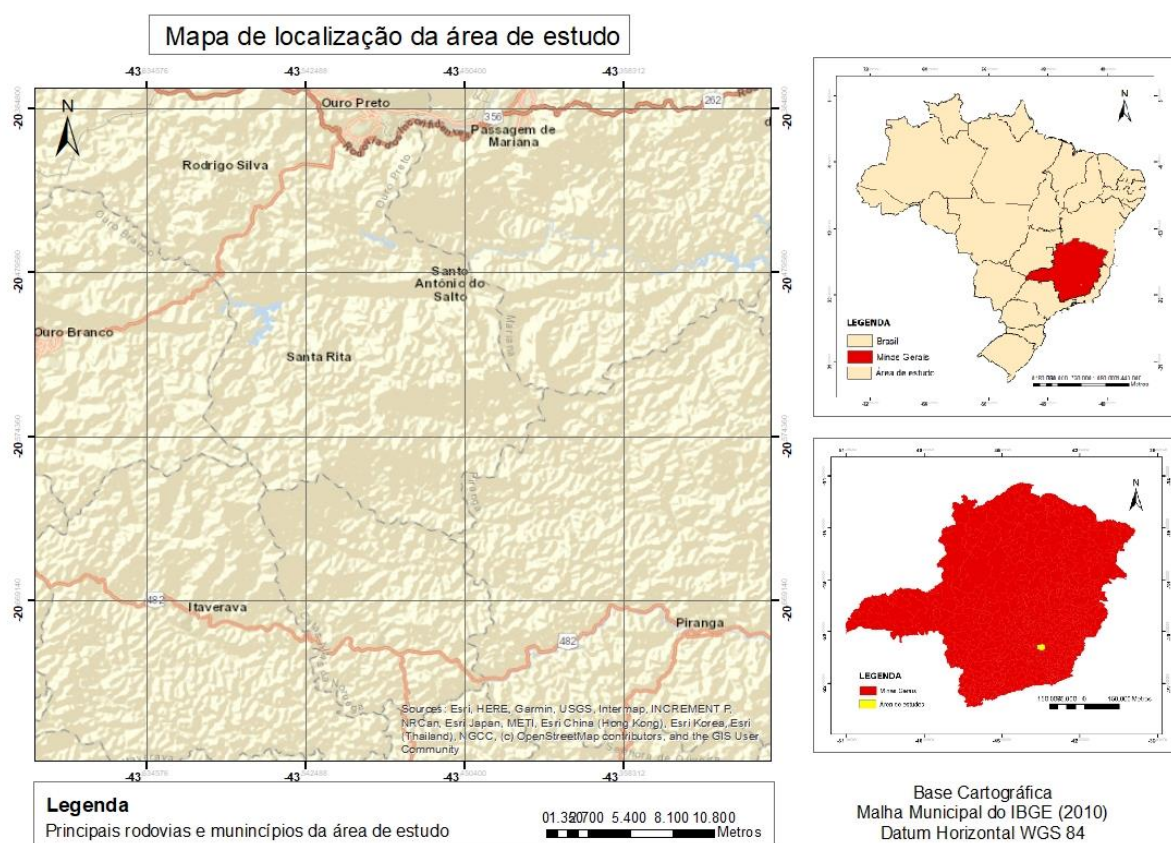


Figura 1-1: Localização da área de estudo em relação aos municípios do entorno e ao estado de Minas Gerais.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

1.5.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica ocorreu durante todo o progresso do projeto, consultando referências bibliográficas associadas ao Complexo Monsenhor Isidro (eg. Seixas *et al*, 1988; Heineck *et al*, 2003, Endo *et al*, 2019).

Trabalhos científicos relacionados ao estudo de sedimentos de corrente (e.g. Owens *et a.*, 2001; Melo *et al*, 2019;) para a determinação de associações mineralógicas e análises estatísticas para a interpretação de dados geoquímicos também foram analisados para o desenvolvimento da pesquisa.

1.5.2 Amostragem

Os dados geoquímicos, utilizados no presente trabalho, são provenientes de amostras coletadas pelo Serviço Geológico o Brasil durante o trabalho de mapeamento geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu entorno, publicado em 2014, “Informes de Recursos Minerais – Série Metais – Informes Gerais, nº 02”.

A fração granulométrica das amostras de sedimento de corrente, foi estabelecida em <80# (0.175 mm) e a quantidade mínima em torno de 1 kg. Cada amostra foi formada por materiais coletados em 5 a 10 diferentes pontos numa área de até 50 m ao longo da drenagem. As estações foram locadas pelo menos a 100 m de estradas ou de outras intervenções antrópicas (Informes de Recursos Minerais – Série Metais – Informes Gerais, nº 02, 2014).

Para a coleta utilizou-se os seguintes equipamentos e procedimentos: foi colocado o balde plástico em local estável e, sobre ele a peneira plástica de 1 mm. O sedimento, coletado sempre que possível abaixo do nível d'água, foi colocado sobre a peneira, sendo removidos fragmentos de rocha e restos vegetais durante o peneiramento manual. Após análise tátil visual, o material retido na peneira foi descartado, enquanto o material passante armazenado em saco plástico e o excesso de água cautelosamente retirado (Informes de Recursos Minerais – Série Metais – Informes Gerais, nº 02, 2014).

O preparo dessas amostras foi realizado em Caeté - MG, no laboratório da CPRM, no qual foram secas a temperatura ambiente e desagregadas utilizando gral de porcelana (Figura 1-2). Em seguida foram quarteadas em quarteador de aço inox (Figura 1-2) e peneiradas em malha 80#, em peneiras vibratórias eletromecânicas (Figura 1-2). Finalizado o preparo, foram enviadas para os laboratórios da ACME Labs em Vancouver, Canadá, para análise por ICP-MS de 53 elementos, Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Rb, com abertura por água régia.



Figura 1-2: a) Peneirador eletromecânico; b) Quarteador de inox; c) Gral de porcelana.

1.5.3 Compilação de informações geoquímicas dos sedimentos de corrente

O trabalho realizado pela CPRM coletou 3662 amostras de sedimentos ativos de corrente em diversas regiões do Quadrilátero Ferrífero, entretanto a área de interesse da pesquisa restringe-se ao Complexo Monsenhor Isidro.

Através de fermentas de GIS e dados geoespaciais selecionou-se apenas as amostras cuja localização é compatível com os limites do Complexo (Figura 1-3), totalizando 55 amostras.

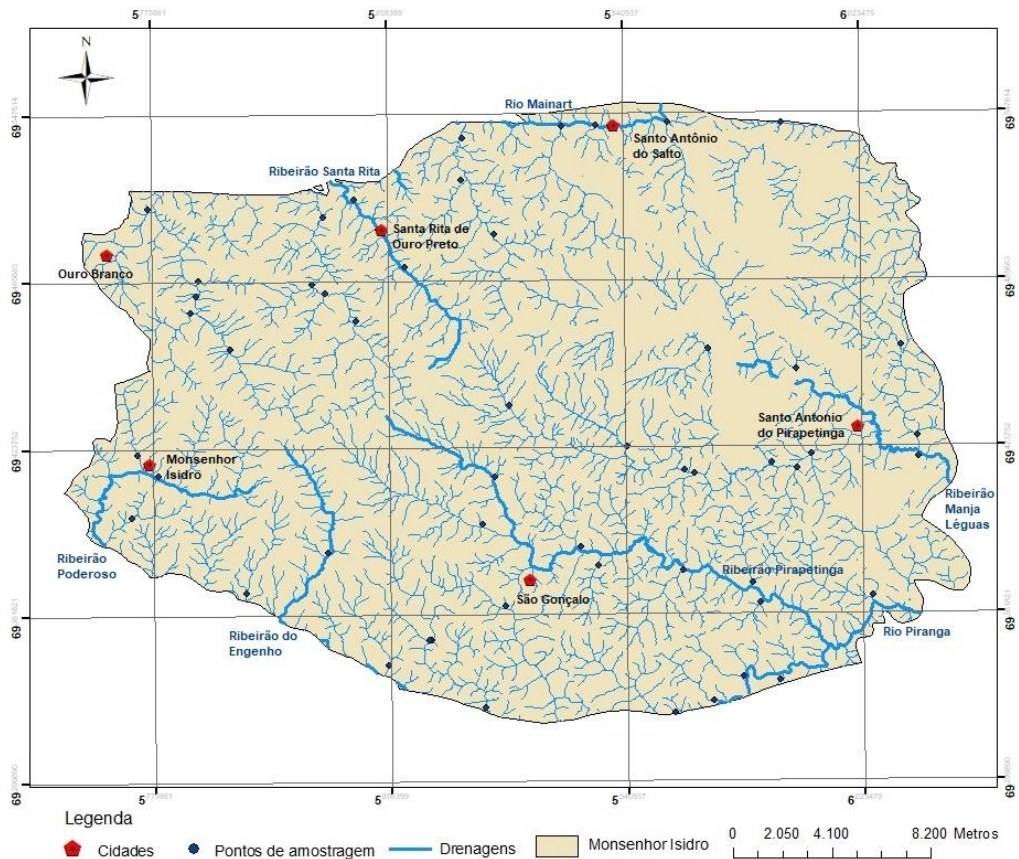


Figura 1-3: Localização dos pontos de coleta das amostras analisadas, destacando os limites do Complexo Monsenhor Isidro, a rede de drenagens e os municípios do entorno.

1.5.4 Processamento de dados

A partir das informações contidas nos dados importados da CPRM utilizou-se os conceitos e técnicas estatísticas, desde o planejamento até a análise dos dados e apresentação dos resultados. Todo este trabalho foi realizado com a utilização dos softwares R, Excel e QGIS auxiliando desde a seleção e análise dos dados, como na visualização e interpretação dos resultados.

O software R foi utilizado para realizar as análises estatísticas descritivas básicas, os gráficos boxplot, a correlação de Pearson e a análise de componentes principais. O Excel auxiliou na organização dos dados, para a visualização e interpretação dos dados utilizou-se o QGIS gerando os mapas e imagens.

1.5.5 Análise Estatística

Foram realizadas análises estatísticas univariadas, bivariadas e multivariadas. A análise univariada foi utilizada com o objetivo de descrever as propriedades estatísticas do banco de dados quanto as medidas de tendência central (moda, média, mediana..) e de dispersão (desvio padrão) e de variabilidade

(*boxplot*) A análise bivariada para analisar a correlação entre dois elementos e a Análise multivariada para correlacionar todos os elementos.

1.5.5.1 Análise estatística univariada

A estatística descritiva univariada foi realizada através do software R, para calcular a média, moda, mínimo, máximo, desvio padrão e mediana. Os gráficos *boxplot* também foram desenvolvidos através do software R, demonstrando valores de primeiro quartil, terceiro quartil, mínimo, máximo e distancia interquartílica. Como dados de entrada, foram analisados cada elemento individualmente, e os teores que apresentaram nas 55 amostras.

Para interpretar os valores geoquímicos obtidos é necessário definir teores de fundo (*background*), limiares, anomalias e *outliers* (teor que se diferencia drasticamente dos demais), essa definição foi feita utilizando tratamento estatístico univariado. Baseando-se em gráficos do tipo *boxplot* realizou-se a metodologia de separação por faixas, onde as anomalias são definidas pelo *Upper Inner Fence* (UIF). (Reimann & Garret 2005; Caritat *et al.* 2007; Carranza 2009).

1.5.5.2 Multivariada

Foi realizada uma análise estatística multivariável pela metodologia de Análise dos Componentes Principais através do software Statistica para identificar a relação entre os elementos e como essas associações representam a área de estudo. Para medir o coeficiente, a intensidade e a direção de relações lineares entre duas variáveis, foi realizada a correlação de Pearson através do software R.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

2.1 GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS

Os métodos de exploração geoquímica têm sofrido uma crescente adaptação às necessidades da sociedade. Inicialmente desenvolvido para identificar áreas mineralizadas e corpos mineralizados através da qualificação e quantificação, também se mostram relevantes em outras áreas do conhecimento como saúde pública, agricultura e monitoramento ambiental.

As técnicas de prospecção são fundamentadas na premissa de que nas proximidades de um depósito mineral há uma anomalia composicional em relação aos materiais da crosta terrestre, contrastando com a composição de materiais similares localizados em regiões sem qualquer tipo de mineralização. Devido à influência de processos químicos e físicos na superfície ou próximo a ela, essas concentrações anômalas são anexadas ao ciclo de intemperismo com a dispersão de seus componentes, resultando em um halo de dispersão em forma de pluma que determina a concentração de determinado elemento ou alvo exploratório. O presente trabalho obtém a medida de propriedades químicas de sedimentos de corrente, entretanto a prospecção geoquímica abrange diversos materiais naturais, como rocha, solo, águas de superfície ou subterrâneas, vegetação, poeira e gases, com o objetivo principal de identificar e localizar a presença de anomalias nas concentrações de elementos químicos (Licht 1998).

Diversos estudos geoquímicos são baseados no trabalho “Princípios da distribuição dos elementos químicos nos minerais e nas rochas”, fundamentado pelo químico suíço Vitor Moritz Goldschmidt que realizou, em 1930, um dos trabalhos substanciais, com a elaboração de leis que regem as ligações atômicas, a lei de distribuição geoquímica dos elementos, classificando-os segundo seu equilíbrio de partição ou afinidades (siderófilos, calcófilos, litófilos atmófilos e biófilos) (Licht 1998).

De acordo com Goldschmidt, a geoquímica tem como finalidade determinar quantitativamente a composição da Terra e de suas partes além de descobrir as leis que governam as distribuições dos elementos químicos. Para isso, o pesquisador geoquímico necessita de uma coleção compreensiva de dados analíticos sobre o material terrestre, tais como rochas, águas e atmosfera (Manson, 1971). A classificação geoquímica dos elementos, proposta por Goldschmidt fundamentou as bases da exploração geoquímica e são eficientes, nos dias atuais, para explicar a distribuição dos elementos traços e menores em minerais e rochas.

A associação dos elementos químicos proposta por Goldschmidt são respostas de suas mobilidades nos processos geológicos, a razão entre eles permanece constante, de modo que os teores

elevados de um são acompanhados por valores elevados de outro (Mapa, 2015). Segundo Licht (1998) os Siderófilos possuem afinidade pelo ferro e se concentram no núcleo da Terra, os Calcófilos têm afinidade pelo enxofre e são concentrados nos sulfetos, os Litófilos apresentam afinidade pela sílica e se acumulam na crosta terrestre como silicatos e os Atmófilos são presentes como gases na atmosfera (Tabela 2-1).

Tabela 2-1: Classificação geoquímica de Goldschmidt segundo Levinson (1974 apud Licht 1998).

Siderófilos	Calcófilos	Litófilos	Atmófilos
Fe, Co, Ni	Cu, Ag	Li, Na, K, Rb, Cs	H, He, Ar
Ru, Rh, Pd	Zn, Cd, Hg	Be, Mg, Ca, Sr, Ba	Kr, Xe, Rn
Os, Ir, Pt	Ga, In, Tl	B, Al, Sc, Y	N
Au, Re, Mo	(Ge), (Sn) Pb	ETR	
Ge, Sn	As, Sb, Bi	(C), Si, Ti, Zr, Hf, Th	
C, P	S, Se, Te	(P), V, Nb, Ta	
(Pb, As, W)	(Fe), (Mo), (Cr)	O, Cr, W, U	
		(H), F, Cl, Br, I	
		(Tl), (Ga), (Ge)	
		(Fe), Mn	

2.1.1 Técnicas analíticas (digestão total e parcial)

A maioria das técnicas Eletroscópicas, entre elas a Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICPOES: *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*) são feitas a partir de soluções, sendo essencial a solubilização das amostras sólidas, Oliveira (2012). Diversas técnicas analíticas para tratamentos de amostras de sedimentos têm sido reportadas na literatura, entre elas a digestão total e digestão parcial, processos em que se utilizam diferentes misturas ácidas no processo de solubilização de metais.

2.1.1.1 Digestão total

A técnica utilizada para preparação das amostras coletadas nas drenagens do Rio Piranga, foi a digestão total por possuir grande eficiência no processo de solubilização da matriz. De maneira geral, esse processo inclui a misturas dos ácidos nítrico, clorídrico e fluorídrico (HCl, HNO₃ e HF).

De acordo com Kingston *et al.* (1988), o ácido nítrico (HNO₃) concentrado reage com carbonatos, metais alcalinos e óxidos básicos formando sais e apresentando alto poder de corrosão do material sedimentar. O ácido clorídrico (HCl) reage com a maioria dos cátions metálicos de transição, já o ácido fluorídrico ataca facilmente materiais como silicato (Kingston & Jassie 1988; Krug *et al.* 2000).

A mistura desses ácidos é capaz de colocar em solução os elementos químicos que estejam associados a todas às fases ou frações geoquímicas desde as potencialmente lábeis até as frações

associadas à estrutura cristalina dos minerais, (Fizman *et al.* 1984; Sastre *et al.* 2002). Embora essa técnica seja muito eficiente, requer bastante cuidado em seu manuseio e descarte, pela presença do ácido fluorídrico.

2.1.1.2 Digestão parcial

O método de digestão parcial utiliza ácido nítrico e clorídrico (HCl;HNO₃), mostra-se eficiente para a extração de metais, em sedimentos, das frações mais facilmente disponíveis (AGUIAR *et al.* 2007). De acordo com Snape *et al.* (2004) trata-se de uma técnica simples e relativamente segura, capaz de atingir as fases lábeis do sedimento, identificando os metais ambientalmente disponíveis.

2.2 Análise Estatística

Dados geoquímicos são geralmente complexos e contêm muitas variáveis, a utilização de ferramentas estatísticas é um importante aliado na sua interpretação. De acordo com Mapa (2015) os procedimentos estatísticos realizados em um determinado conjunto de dados possibilitam a compreensão e estimativas sobre a amostra.

Um vasto banco de dados se faz importante para a geração de resultados válidos sendo a confiabilidade do resultado das operações estatísticas diretamente proporcional ao número de amostras. No presente trabalho foi empregada a estatística descritiva univariada e multivariada para transformar os dados em informações.

2.2.1 Análise estatística univariada

A estatística descritiva univariada é utilizada quando se necessita sumarizar ou descrever a distribuição de uma única variável. Tem como função organizar e classificar os dados, determinar valores de background, limiares e anomalias geoquímicas que são apresentados através de gráficos, tabelas e cálculos de medidas resumo.

Inicialmente é necessário obter a amplitude dos dados, organizando-os em ordem crescente para visualizar os valores extremos de concentrações para tal elemento, a avaliação minuciosa de cada elemento é de extrema importância para gerar dados confiáveis. Segundo Reimann *et al.* (2002) a fase de descrição dos dados é um pré-requisito para a clareza e transformação adequada antecedendo a abordagem da análise estatística multivariada.

Neste trabalho será empregado a representação de frequências mais utilizada, o gráfico *boxplot*. O *boxplot* (Figura 2-1) tem a finalidade de medir estatísticas do conjunto de dados, como propriedades de locação, variabilidade, média e *outliers* (valores atípicos); Rodrigues (2020).

De acordo com Lima (2020) o retângulo do gráfico representa na base e no topo o 1° e o 3° quartis (Q1 e Q3) respectivamente, isto é, a faixa entre 25% e 75% das amostras em análise. A região interquartil (IQR) é seccionada no meio pela mediana e numericamente é definido pela diferença entre Q1 e Q3, envolvendo assim a variação de 50% das amostras.

Acima da caixa é mostrado o limite superior, calculado por $1,5 * Q3$, e o limite inferior, cuja fórmula é $1,5 * Q1$. O *boxplot* ainda traz os valores que estão acima do limite superior ou abaixo do limite inferior (*outliers*), geralmente exibidos como pontos em formato de asteriscos.

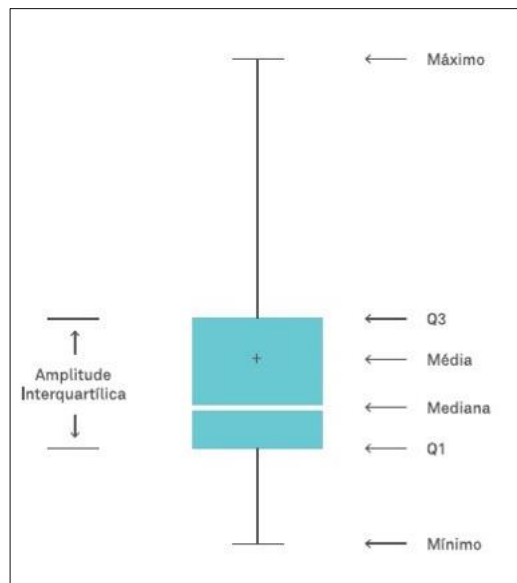


Figura 2-1: Gráfico *boxplot*. Fonte: Escola Edti.

2.2.2 Determinação de Background

Este gráfico é construído através da listagem crescente dos valores e independe de classificação dos dados, formando um retângulo. A linha central indica a mediana e separa o conjunto de dados em duas porções iguais, 50% de valores inferiores e superiores. O quartil inferior Q1(25%) e superior Q3 (75%) definem a caixa central, sendo Q3 considerado o valor de referência (*background*) e os valores que estão acima são os *outliers* (Frizzo & Licht 2007).

O alto valor de referência foi definido pela linha interna superior (UIF) que representa o *box* multiplicado por 1,5 vezes o comprimento do *box* em direção ao máximo e ao mínimo, sendo os resultados que estão acima do UIF os *outliers*, chamados de anomalias geoquímicas. (Matschullat *et al.* 2000; Vicq *et al.* 2018).

2.2.3 Multivariada

Segundo Leão (2019), nos mapeamentos geoquímicos em escala regional as técnicas multivariadas mais usadas são a análise de componentes principais (PCA), análise de agrupamento (*cluster*) e fatorial, Correlação de *Pearson* e vários tipos de análise de regressão. As associações de elementos predominantes (ou processos geoquímicos) nos dados de vários elementos podem ser identificadas com análise de PCA e fatorial, associações de amostra podem ser detectadas com análise de *cluster* e relações entre elementos e entre amostras podem ser estudadas com análise de regressão.

A análise de componentes principais (PCA) é uma técnica estatística multivariada popular que analisa uma tabela de dados representando as observações descritas por várias variáveis dependentes, que são, em geral, correlacionadas. Tem como objetivo selecionar as informações relevantes da tabela de dados e expressar essas informações como um conjunto de novas variáveis ortogonais chamadas componentes principais.

De acordo com Garson (2009), correlação é uma medida de associação do grau de relacionamento entre duas variáveis. Para determinar o grau de relação entre os elementos químicos utilizou-se o coeficiente linear de *Pearson*. O coeficiente mede a intensidade e a direção de relações lineares, a intensidade diz respeito ao grau de relacionamento entre duas variáveis.

Quanto mais próximo dos extremos do intervalo (-1 e +1), mais forte é a correlação, quanto mais próximo do centro do intervalo, zero, mas fraca é a correlação linear, sendo que: 0.9 para mais ou para menos indica uma correlação muito forte, 0.7 a 0.9 positivo ou negativo indica uma correlação forte, 0.5 a 0.7 positivo ou negativo indica uma correlação moderada, 0.3 a 0.5 positivo ou negativo indica uma correlação fraca, 0 a 0.3 positivo ou negativo indica uma correlação desprezível (Cargnelutti Filho *et al.* 2015).

A direção diz respeito ao tipo de correlação. Correlação positiva ou direta representa que os valores altos de uma variável correspondem a valores altos da outra variável. Correlação negativa ou inversa representa que valores altos de uma das variáveis correspondem a valores baixos de outra.

3.1 QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Inicialmente reconhecida por abrigar inúmeros depósitos auríferos, o Quadrilátero Ferrífero (QF) é a província metalogenética que hospeda uma das maiores reservas de minério de ferro de alto teor do mundo, além de diversos outros depósitos minerais como ouro, manganês, bauxita, argila, dolomito, areia, brita, rocha ornamentais e pedras semipreciosas como o topázio imperial (Nalini *et al.* 2009).

Situado na região central de Minas Gerais, extremo sul do Cráton São Francisco (CSF), o Quadrilátero Ferrífero ocupa uma região de aproximadamente 7000 km². O CSF corresponde a uma porção do supercontinente Gondwana (Cordani *et al.* 2000) estando no extremo ocidente do paleocontinente São Francisco-Congo (**Figura 3-1**). Esta porção é consequência da acreção de blocos continentais em diversas e repetidas colisões, que ocorreram desde o Arqueano se estendendo até o final da Orogenia Riacciano-Orosiriana (2360-2040 Ma) (Silva *et al.* 2016).

O embasamento sul do Cráton São Francisco é delimitado a leste pela Faixa Araçuaí, a oeste pela Faixa Brasília e, a sul, pelo Cinturão Mineiro e apresentam vergência para dentro do cráton (Farina *et al.* 2015).

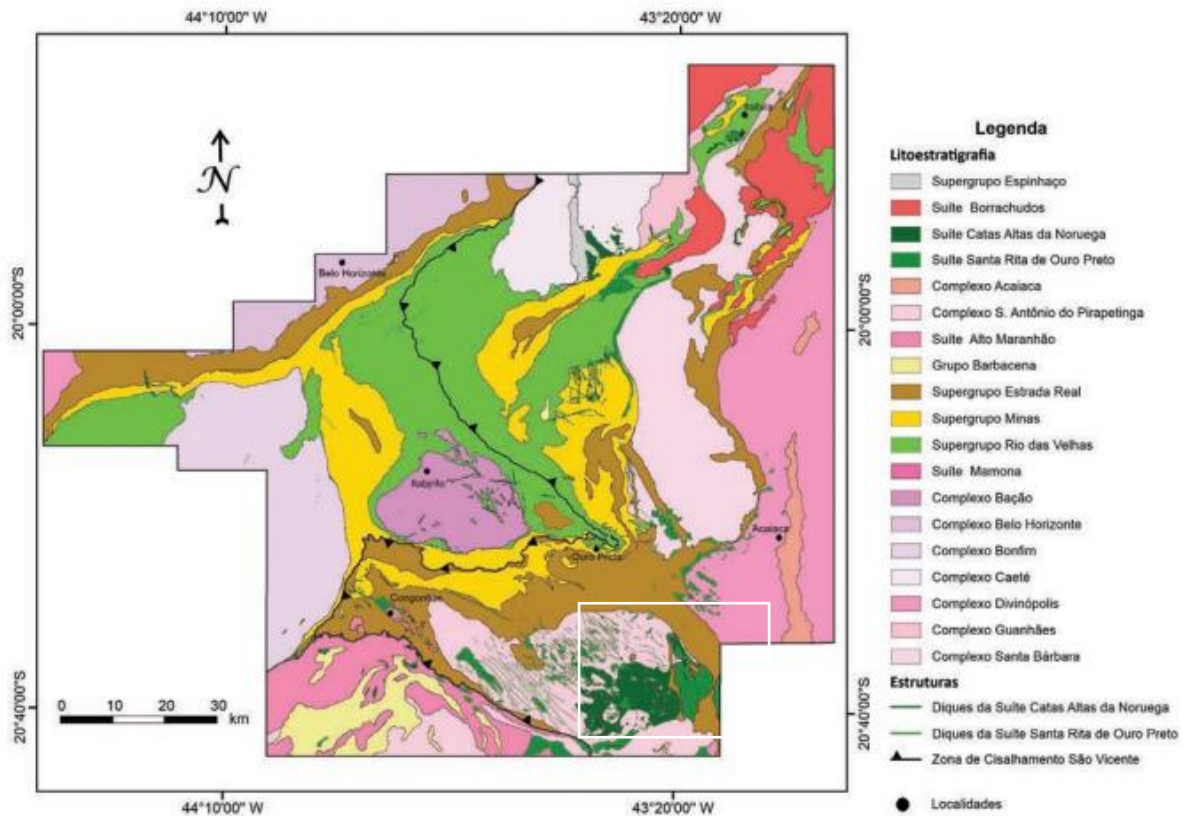


Figura 3-1: Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com a localização da área de estudo (retângulo branco). Fonte: Endo *et al.* 2019a.

A estratigrafia do QF é extremamente complexa e está em constante estudo. De forma geral, o QF (Figura 3-2) é constituído por unidades litoestratigráficas do Arqueano, Paleo-Mesoproterozoico e Cenozoico (Alkmim & Marshak 1998; Endo *et al.* 2019 a,b). Segundo Machado *et al.* (1996), as unidades do QF podem ser divididas em três grandes conjuntos: i) terrenos granito-gnáissicos de idade arqueana; ii) seqüências do tipo greenstone belt(e.g. Supergrupo Rio das Velhas) e, sobreposto a estes iii) o Supergrupo Minas, composto por uma seqüência metassedimentar paleoproterozoica.

3.1.1 Estratigrafia

De acordo com Endo *et al.* (2019a, 2019b) o QF (**Figura 3-2**) é composto por: i) Complexos Metamórficos, ii) Supergrupo Rio das Velhas, iii) Supergrupo Minas, iv) Supergrupo Estrada Real, v) Grupo Barbacena e vi) Supergrupo Espinhaço.

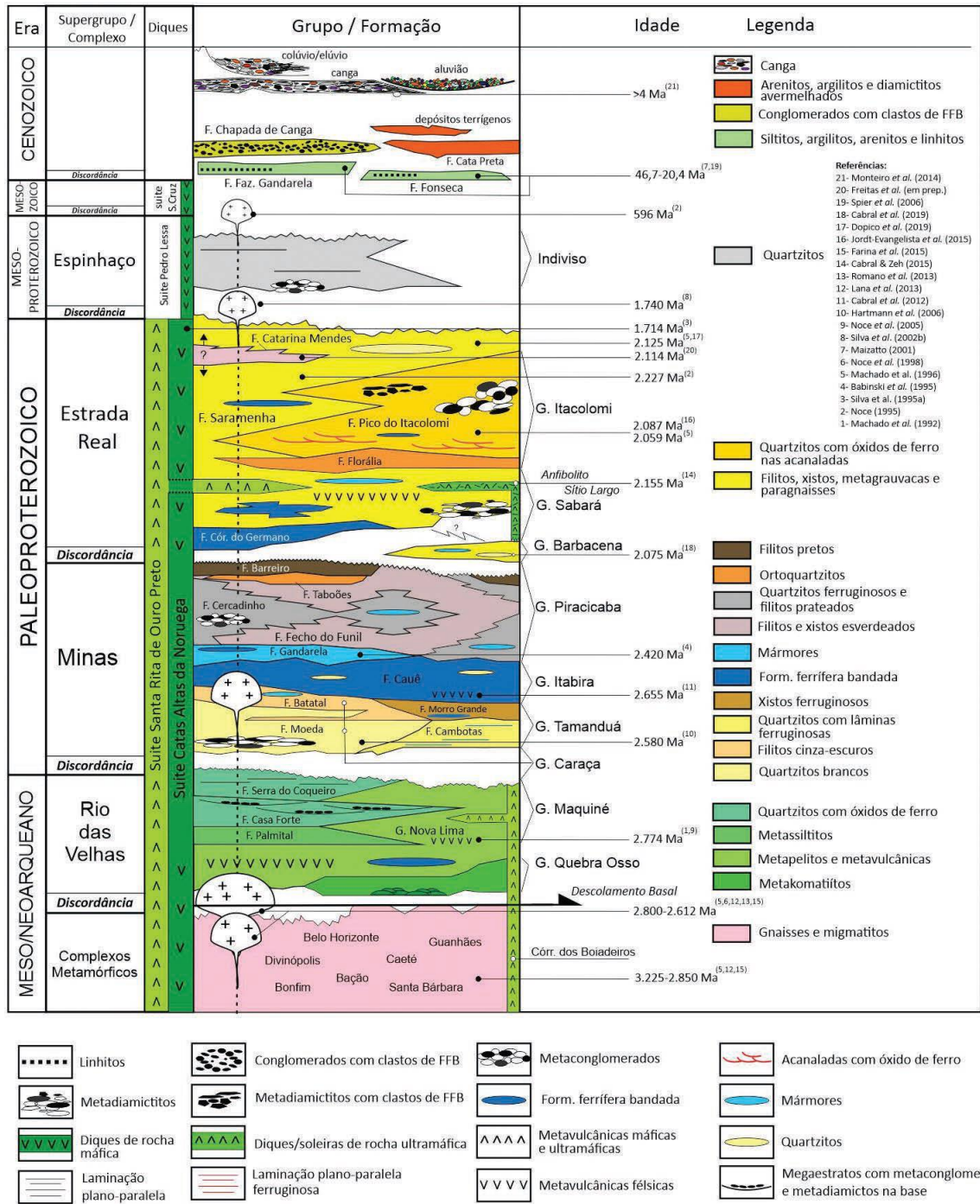


Figura 3-2: Coluna Estratigráfica referente a província metalogenética do Quadrilátero Ferrífero (Endo *et al.* 2019b).

Os Complexos Metamórficos caracterizam-se por núcleos dômicos correspondentes aos Complexos Belo Horizonte, Bação, Santa Bárbara, Bonfim Divinópolis e Caeté. São constituídos por ortognaisses bandados, contendo localmente corpos de anfibolitos, ortognaisses finamente laminados, migmatitos, corpos intrusivos de granitoides leucocráticos, veios aplíticos e diques máficos de diferentes

gerações (Guimarães *et al.* 1967; Herz 1970; Cordani *et al.* 1980; Gomes 1986; Carneiro 1992; Schorsch 1992; Noce 1995; Endo 1997; Lana *et al.* 2013; Farina *et al.* 2016).

As rochas do Complexo foram afetadas por um metamorfismo regional em condições de fácies anfibolito médio a superior, seguido de metamorfismo retrógado em condições de fácies xisto verde. As rochas que compõem esta unidade podem apresentar foliação como resultado das tensões aplicadas durante o metamorfismo (Herz 1970; Cordani *et al.* 1980; Ladeira *et al.* 1980; Teixeira 1982).

O Supergrupo Rio das Velhas é constituído por uma sequência metavulcanossedimentar característica de terrenos granito-greenstone Arqueanos, (Machado *et al.* 1992, Zucchetti *et al.* 1998, Noce *et al.* 2005). Essa sequência é caracterizada por um conjunto de litofácies em associação (da base para o topo) de rochas metavulcânicas máfica-ultramáficas e félsicas, metavulcanoclásticas, metavulcanossedimentar química, metassedimentar clástica marinha e metassedimentar costeiro (Zucchetti *et al.* 1998, Baltazar & Pedreira 1998, Baltazar & Zucchetti 2007).

De acordo com a distribuição adotada por Endo *et al.* (2019a, 2019b) o Grupo Quebra Osso é constituído pela associação de rochas metavulcânicas máfica-ultramáficas e félsicas; o Grupo Nova Lima é constituído pelas associações metavulcanossedimentares químicas, metavulcanoclásticas e metassedimentar clástica marinha; e o Grupo Maquiné, constituído por uma associação metassedimentar não-marinha.

O Supergrupo Minas foi depositado em discordância com o Supergrupo Rio das Velhas (Dorr 1969). Suas rochas datam do proterozóico e foram depositadas entre 2.584 +/- 10 Ma (Hartmann *et al.* 2006) e 2.420 +/- 19 Ma (Babinski *et al.* 1995). Da base para o topo, o Supergrupo Minas é formado pelos grupos Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba. Os grupos Tamanduá e Caraça são constituídos predominantemente por metapsamitos e, subordinadamente, por metapelitos e metaconglomerados aluviais a marinhos. Os Grupo Itabira e Piracicaba são compostos por rochas metassedimentares marinhas. (Dorr 1969).

O Supergrupo Estrada Real é composto pelos grupos Sabará, na base e Itacolomi, no topo. As rochas metassedimentares marinhas do Grupo Sabará e as continentais do Grupo Itacolomi encontram-se interdigitadas na região do pico do Itacolomi (Barbosa 2018).

No topo da sequência estratigráfica depositou-se o Supergrupo Espinhaço, em discordância angular com o Supergrupo Estrada Real, composto por associações de brechas sedimentares, conglomerados, quartzitos e rochas metavulcânicas (Rosière & Chemale Jr 2000).

CAPÍTULO 4

CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

4.1 COMPLEXO MONSENHOR ISIDRO

O foco do estudo do presente trabalho concentra-se nos sedimentos de corrente coletados nas drenagens que cortam a unidade geológica Monsenhor Isidro, região definida por Heineck *et al.* (2003), (Figura 4-1), localizada a nordeste do Lineamento Congonhas-Itaverava, na região entre o Cinturão Mineiro e o Quadrilátero Ferrífero.

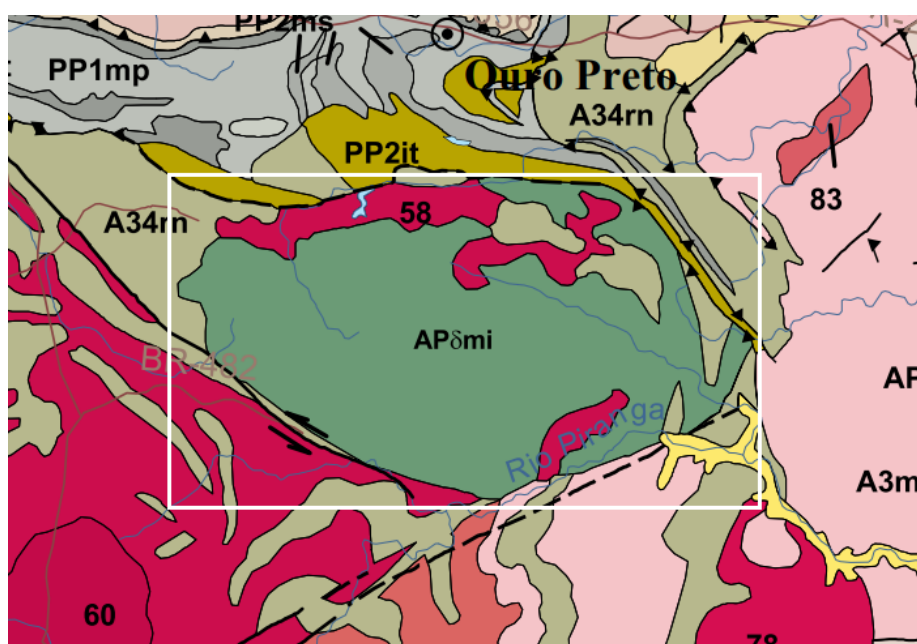


Figura 4-1: Recorte do mapa geológico do Estado de Minas Gerais (COMIG 2003, escala 1:1.000.000). O retângulo circunscreve a área de estudo m) Legenda: 58 – Granito Alto Maranhão. 60 – Granito Cupim. APδmi – Complexo Monsenhor Isidro. PP2it – Grupo Itacolomi. A34rn – Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Nova Lima.

Segundo Corrêa Neto *et al* (2012), o Lineamento Congonhas-Itaverava intercepta diversas sequências metavulcanosedimentares, deformadas e cisalhadas com baixo grau metamórfico. O Complexo Monsenhor Isidro, situado a nordeste desse lineamento e possui intercalação tectônica de rochas máficas-ultramáficas cortadas por granitóides paleoproterozóicos deformados (Seixas 1988; Heineck *et al.* 2003).

De acordo com o mapeamento geológico do Quadrilátero Ferrífero proposto por Endo *et al.* (2019a), a região definida por Heineck *et al.* (2003) como o Complexo Monsenhor Isidro abrange o

Complexo Santo Antônio do Pirapetinga e as Suítes Catas Altas da Noruega, Santa Rita Alto Maranhão, Pedra do Diabo e Bela Vista (Figura 4-2).

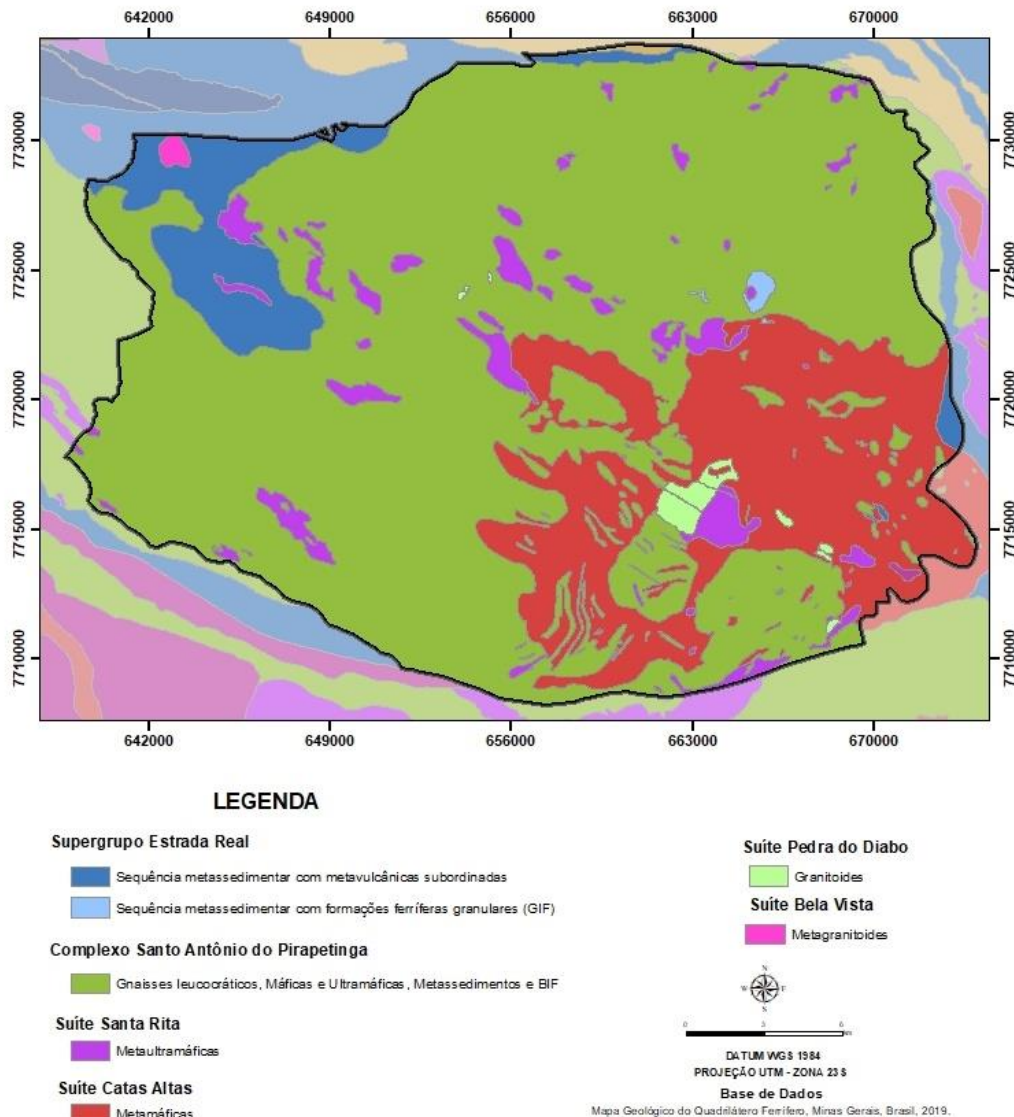


Figura 4-2: Mapa geológico Monsenhor Isidro. (Modificado de Endo *et al.* 2019a).

Os domínios do Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga (CSAP) (Raposo 1991), concentram um maior número de intrusões máficas e ultramáficas, pós-Minas (Suíta *et al.* 2007b, 2013; Endo *et al.* 2019a,b).

No final da década de 1970, Roeser (1977) desenvolveu estudos geoquímicos em rochas do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, a Leste-Noroeste do QF, constituído por um conjunto de rochas gnáissicas, principalmente leucocráticos, e por um conjunto de rochas máficas e ultramáficas, menor proporção de xistos, formações ferríferas. Segundo Roeser (1977) os gnaisses desse complexo

possuem afinidade tonalítica-trondhjemítica, característica de rochas arqueanas. Baltazar & Raposo (1993) identificaram razões LaN/YbN bastante elevadas, evidenciando importante processo de diferenciação, e também propõem que os gnaisses estudados representam os tonalitos e granitos gerados no final do Arqueano, posteriormente metamorfizados. As rochas máficas anfibolíticas encontradas na região caracterizam-se como de natureza Fe-tholeítica.

O gnaiss descrito no CSAP possui bandamento centimétrico, sendo as bandas mais claras compostas, em sua maioria, por quartzo e feldspato. As bandas mais escuras são formadas por biotita, anfibólio e plagioclásio. Em geral, esses gnaisses estão vinculados às rochas metaígneas, frequentemente encontrados em zonas de cisalhamento e apresentam estruturas de esforços tectônicos, porções miloníticas, e porções característica do produto de processos metassomáticos, provavelmente de composição tonalítica. (Raposo 1991).

De acordo com Piassa (2018), os granitoides são compostos essencialmente por plagioclásio, quartzo, muscovita, biotita e acessórios. A textura destes granitos é homogênea, descrito por possuir fenocristais de feldspatos de tamanho centimétricos que exibem extinção ondulante além de processos de saussuritização que o transforma em clorita e muscovita (Piassa 2018).

A Suíte Santa Rita de Ouro Preto caracteriza-se pela manifestação de um magmatismo ultramáfico intrusivo nas unidades metassedimentares do Paleoproterozoico, representado por um batólito na região de Santo Antônio do Pirapetinga, por vários stocks e por um enxame de diques com extensões que variam de 2 km a 15 km (Endo *et al.* 2019a,b). Os corpos ultramáficos encontram-se metamorfizados em fácies xisto-verde, com paragênese mineral composta por clorita ± serpentina ± talco ± tremolita ± carbonato (Gonçalves *et al.* 2011). Os diques possuem direção NW-SE, espessuras métricas a decamétricas, com deformação cisalhante sinistral superimposta (Gonçalves *et al.* 2011). As principais rochas metaultramáficas são o esteatito (pedra-sabão) e o serpentinito (Jordt-Evangelista & Silva 2005).

A Suíte Catas Altas da Noruega corresponde à manifestação de um evento magmático de natureza máfica pós-Suíte Santa Rita de Ouro Preto, formando um enxame de diques máficos intrusivos nos xistos cloríticos do Grupo Sabará e nos ortognaisses do Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga (Raposo 1991), incluindo também um corpo batolítico na região de Catas Altas da Noruega. A direção preferencial dos diques é NW-SE e raramente NE-SW na região meridional do QF e E-W e N-S nos demais setores (Endo *et al.* 2019a,b). Os corpos máficos apresentam espessuras de alguns metros a dezenas de metros, e exibem comumente uma foliação, decorrente de cisalhamento, bastante pronunciada na borda. A idade provável desta suíte é 1.714±/ 5 Ma, obtida pelo método U/Pb em baddeleyíta (Silva *et al.* 1995).

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A Tabela 5-1 representa os valores da análise descritiva das amostras analisadas no presente trabalho. As variáveis utilizadas foram os elementos químicos, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Al, As, Cd e Cr .

Tabela 5-1: Estatísticas descritivas dos sedimentos coletados na área do Complexo Monsenhor Isidro.

Variável (ppm)	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	DIQ	Alto Valor de Referência	Anomalia
Cu	35,6	13,29	7,84	26,62	35,1	45,47	62,66	18,85	45,47 - 73,74	> 73,74
Pb	12,63	5,19	5,83	8,84	10,9	15,54	26,43	6,69	15,54 - 25,57	> 25,57
Zn	34,51	9,78	15,7	28,75	33,7	40,35	60,5	11,6	40,35 - 57,75	> 57,75
Ni	43,05	31,43	9,4	23,1	33,1	50,3	166,4	27,2	50,3 - 91,1	> 91,1
Mn	762,63	532,62	100	280	618	1150,5	2335	870,5	1150,5 - 2456,25	> 2456,25
Fe	66393,88	30632,93	15800	51400	62600	76250	207900	24850	76250 - 113525,00	> 113525,00
Al	31489,8	9812,43	12600	23450	31300	38200	56000	14750	38200 - 60325,00	> 60325,00
As	6,21	6,49	0,8	3	4,6	6,85	35,4	3,85	6,85 - 12,62	> 12,62
Cd	0,04	0,02	0,01	0,03	0,04	0,05	0,11	0,02	0,05 - 0,08	> 0,08
Cr	203,6	95,25	38	145,45	182,5	249,2	540,9	103,75	249,2 - 404,82	> 404,82

Apresentam-se a seguir a descrição dos resultados das análises estatísticas descritivas para cada elemento analisado, bem como a distribuição espacial desses elementos na área do Complexo Monsenhor Isidro.

5.1.1 Cobre

Encontrado principalmente nos minerais calcocita, calcopirita e malaquita, o cobre (Cu) é um metal dúctil, maleável, de coloração avermelhada (Silva *et al* 2011).

As amostras coletadas apresentaram uma média de 35,60 ppm, mediana de 35,10 mg/kg e 18,85 de desvio padrão. Tendo como valor mínimo por amostra 7,84 mg/kg e máximo de 62,66 mg/kg. O gráfico *boxplot* (Figura 5-1) indica uma amplitude interquartílica de 18,45, primeiro quartil 26,62 mg/kg e no terceiro quartil 45,47 mg/kg, não caracterizando anomalia geoquímica, ou seja, nenhum valor acima do limiar, 73,74ppm.

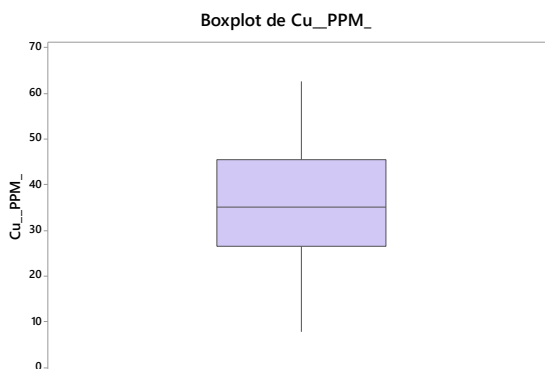


Figura 5-1: Gráfico *boxplot*, teor de cobre.

A região oeste da área apresenta uma maior concentração de Cu nos sedimentos de corrente, estando provavelmente correlacionados aos xistos e às formações ferríferas presentes no Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, e principalmente com as rochas metaultramáficas da região, por concentrarem maiores teores de elementos calcófilos e siderófilos. Apesar de não ter sido identificado nenhuma anomalia geoquímica dentre as 55 amostras analisadas, 14 das amostras apresentaram um intervalo correspondente ao alto valor de referência (**Figura 5-2**).

As amostras coletadas à nordeste da área apresentaram a menor concentração de cobre, com valores entre 7,84 mg/kg e 45,47 mg/kg. Essas amostras estão associadas a áreas mapeadas como rochas metamáficas e gnaisses leococráticos (Figura 4-2).

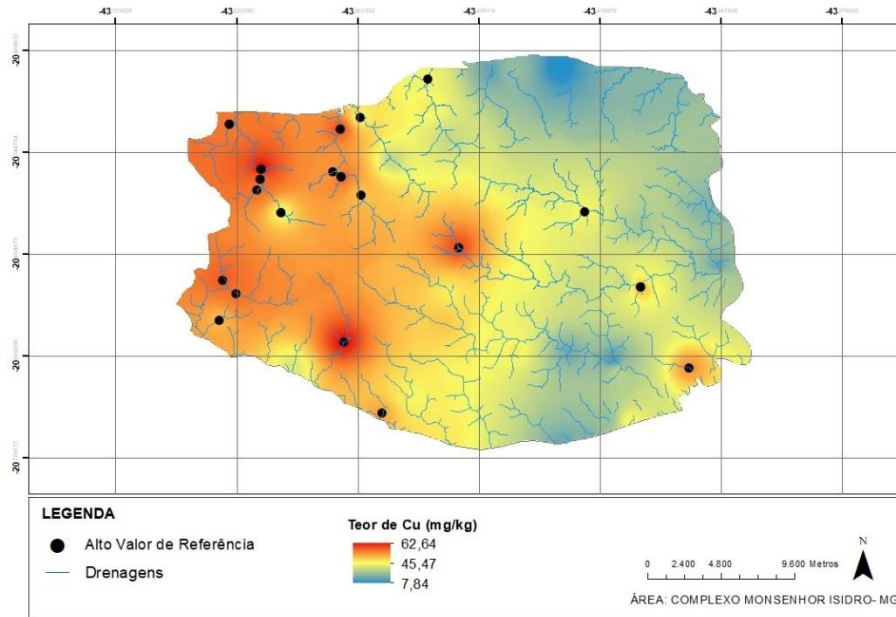


Figura 5-2: Mapa geoquímico, concentração do elemento cobre no Complexo Monsenhor Isidro - MG

5.1.2 Chumbo

O principal mineral fonte do chumbo (Pb) é a galena (PbS), seu sulfeto anglesita (PbSO₄), e o carbonato de galena cerussita (PbCO₃).

Nos sedimentos de corrente analisados o valor médio de Pb encontrado nas amostras foi de 12,62 mg/kg, mediana de 10,90 mg/kg e desvio padrão 5,19 mg/kg, o valor mínimo encontrado foi 5,83mg/kg e máximo de 26,43 mg/kg. O gráfico (Figura 5-3) indica um valor de 8,84 mg/kg no primeiro quartil e 15,53 mg/kg no terceiro quartil, o valor máximo indicado é referente ao *outlier*.

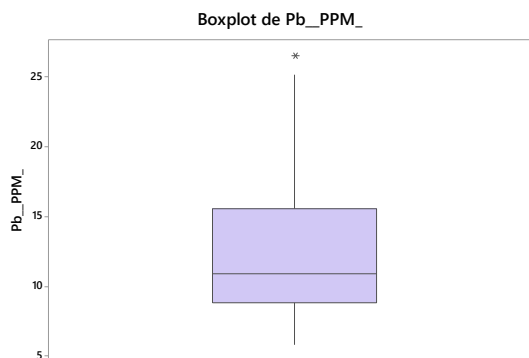


Figura 5-3: Gráfico *boxplot*, teor de chumbo.

A concentração de chumbo apresenta teores elevados em toda região norte, noroeste, nordeste e sudeste da área (Figura 5-4). Identifica-se a presença de um ponto de anomalia geoquímica situado no extremo norte, local onde se concentram os gnaisses leococráticos do Complexo Monsenhor Isidro. Outras 12 amostras apresentaram altos valores de referência nas regiões onde predominam as rochas

metamáficas da Suíte Catas Altas da Noruega, os gnaisses leococráticos do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga e as rochas metaultramáficas da Suíte Santa Rita.

De acordo com Lee (1975), o íon Pb^{2+} encontra-se nas rochas cristalinas, principalmente nas graníticas, substituindo o íon K^+ e o Ca^{2+} nos feldspatos. O valor anômalo identificado nas amostras do extremo norte da área possivelmente está associado aos gnaisses tonalíticos e trondhjemíticos.

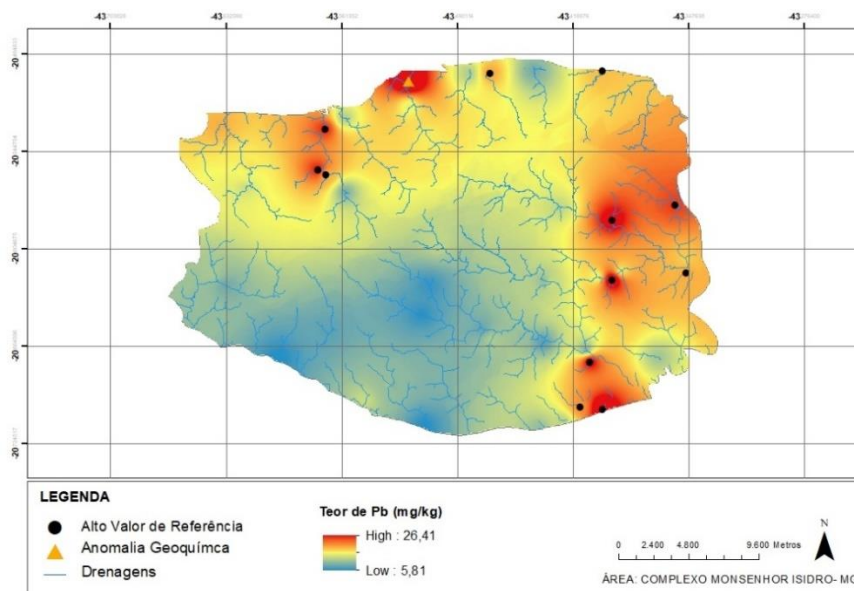


Figura 5-4: Mapa geoquímico, concentração do elemento chumbo no Complexo Monsenhor Isidro - MG.

5.1.3 Zinco

Abundante na crosta terrestre, o zinco (Zn) é um metal do grupo dos não ferrosos, os minerais de zinco mais comuns são: calamina, esfalerita, franklinita, hidrozincita smithsonita, willemita, wurtzita e zincita (Lemos 2011).

Nas amostras coletadas no Complexo Monsenhor Isidro o teor de zinco calculado tem média de 35,60 mg/kg, mediana de 33,70 mg/kg e desvio padrão 9,78 mg/kg. O teor mínimo de 15,7 mg/kg e máximo de 60,50 mg/kg, no gráfico *boxplot* (Figura 5-5) o valor interquartil é 11,60 mg/kg, primeiro quartil 28,75 mg/kg, terceiro quartil 40,35 mg/kg, sendo o *outlier* o valor máximo encontrado.

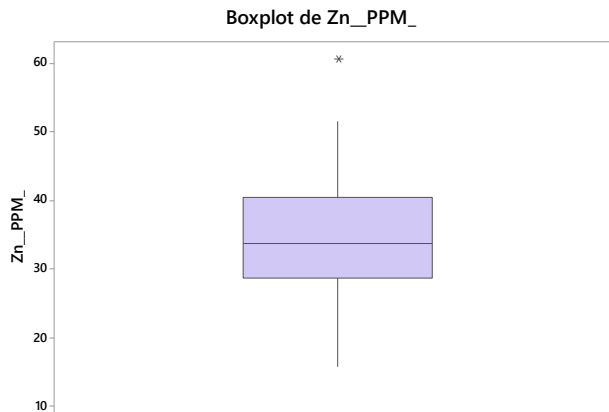


Figura 5-5: Gráfico *boxplot*, teor de zinco.

Os pontos com alta concentração de Zn estão disseminados por diversas regiões da área analisada, sendo o ponto de anomalia geoquímica situado à noroeste onde afloram rochas metamáficas (Figura 5-6). Os elevados teores de Zn estão associados às rochas metaultramáficas da Suíte Santa Rita, metamáficas da Suíte Catas Altas da Noruega e aos metagranitóides da Suíte Bela Vista e xistos do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.

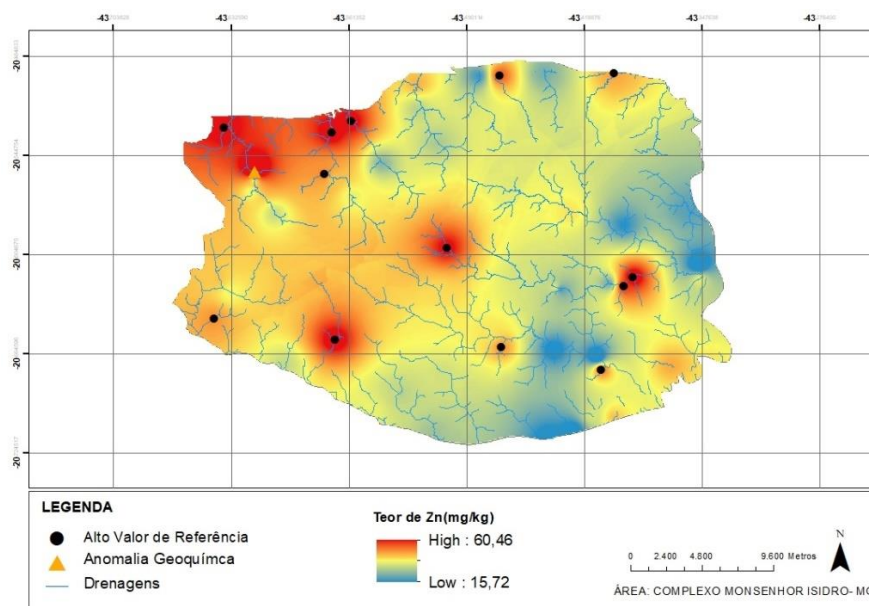


Figura 5-6: Mapa de concentração geoquímica do elemento zinco no Complexo Monsenhor Isidro - MG.

5.1.4 Níquel

O níquel (Ni) é um elemento químico classificado como metal de transição. Relativamente abundante na crosta continental, as rochas ultramáficas são as principais rochas portadoras de níquel, sendo o komatiito a mais importante rocha hospedeira. Sua ocorrência, frequentemente, é associada a depósitos de cobre, Carvalho *et al.* (2010), devido à sua resistência a corrosão e resistência mecânica,

atualmente o níquel é empregado em mais de três mil ligas metálicas, a maior parte delas com o ferro, na produção de aço inoxidável.

Os sedimentos de corrente analisados apresentaram os seguintes teores de Ni: média de 43,05 mg/kg, mediana de 33,10 mg/kg e 27,20 de desvio padrão. O valor mínimo encontrado foi de 9,40 mg/kg e máximo de 166,40 mg/kg. O gráfico *boxplot* (Figura 5-7) indica uma amplitude interquartílica de 27,2 mg/Kg, no primeiro quartil 23,10 mg/kg e no terceiro quartil 50,30 mg/kg. Quatro *outliers* foram identificados, 101,60 mg/kg, 119,50 mg/kg, 120,30 mg/kg e 166,40mg/kg.

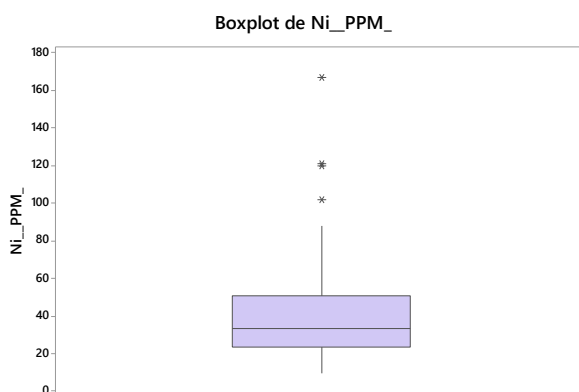


Figura 5-7: Gráfico *boxplot* teor de níquel.

As maiores concentrações de Níquel foram identificadas na região centro-oeste e noroeste do Complexo Monsenhor Isidro, sendo 8 pontos no intervalo de alto valor de referência entre 50,3 ppm e 91,1ppm , 4 pontos considerados como anomalia geoquímica apresentaram valores acima de 91,1ppm (**Figura 5-8**). As regiões de elevado teor estão associadas a rochas metamáficas da Suíte Catas Altas da Noruega e metaultramáficas da Suíte Santa Rita.

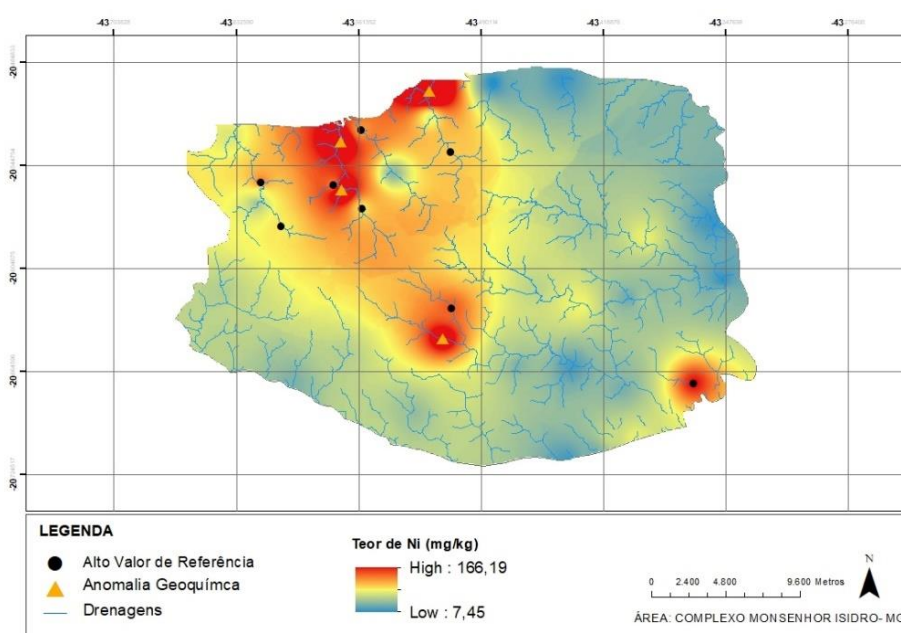
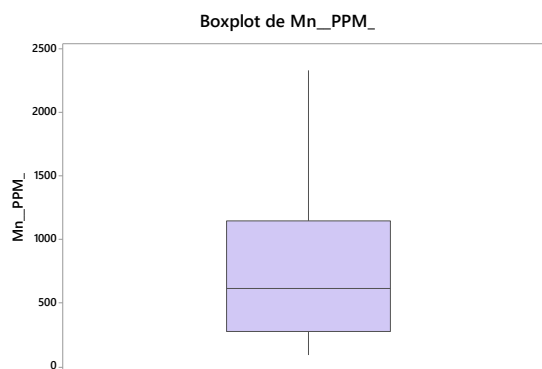


Figura 5-8: Mapa de concentração geoquímica do elemento níquel no Complexo Monsenhor Isidro - MG.

5.1.5 Manganês

O manganês (Mn) é um elemento químico do grupo dos metais de transição, considerado o décimo segundo mais abundante na Terra, ocorre como óxidos, hidróxidos, silicatos e carbonatos. A pirolusita e a manganita destacam-se como dióxidos de manganês de maior importância econômica (Luz & Lins 2008).

Os teores químicos de Manganês encontrados nas amostras apresentaram o seguinte comportamento: média de 762,63 mg/kg, mediana de 618,00 mg/kg e 532,62 de desvio padrão. O valor mínimo encontrado foi 100,00 mg/kg e máximo 2335,00 mg/kg. O gráfico *boxplot* (Figura 5-9) indica uma amplitude interquartílica de 870,50 mg/kg, primeiro quartil 280,00 mg/kg e no terceiro quartil 76250 mg/kg.

Figura 5-9: Gráfico *boxplot* teor de manganês.

Os maiores teores de Manganês estão inseridos na porção noroeste e oeste da área de estudo. Sendo 12 pontos classificados como altos valores de referência (**Figura 5-10**) associados aos granitóides da Suíte Pedra do Diabo, às rochas metaultramáficas da Suíte Santa Rita e formações ferríferas bandadas do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga. A área a leste com maior aporte advindo de gnaisses leococráticos apresentou o menor teor de manganês dentre as amostras analisadas.

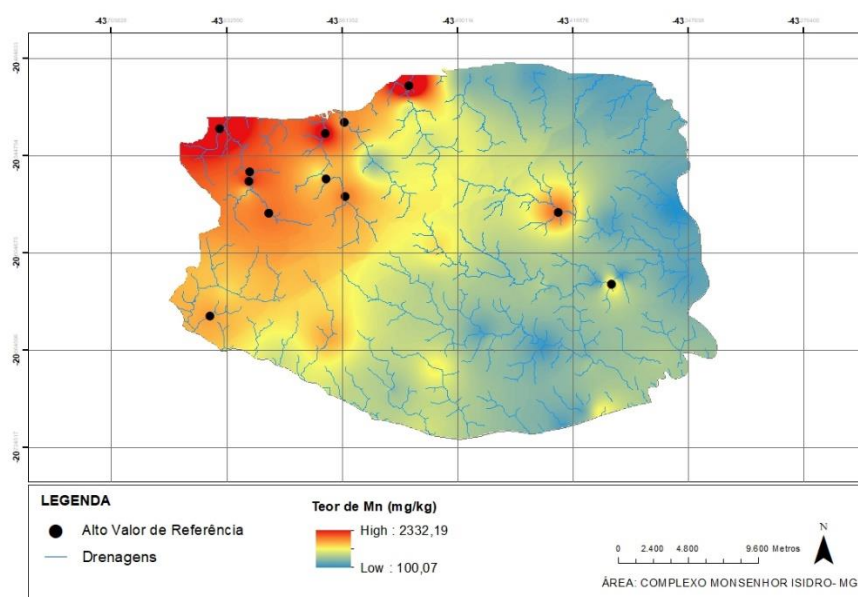


Figura 5-10: Mapa de concentração geoquímica do elemento manganês no Complexo Monsenhor Isidro - MG.

5.1.6 Ferro

O ferro (Fe) é um dos metais mais abundantes na Terra, corresponde cerca de 4% da crosta superior (Taylor & McLennan 1985). Segundo Campos *et al.* (2018), o minério de ferro está presente nos óxidos de ferro, magnetita (Fe_3O_4) e a hematita (Fe_2O_3). Além destes óxidos, o ferro ocorre ainda naturalmente na forma de hidróxidos (p. ex. goethita e limonita), sulfetos (pirita, calcopirita e pirrotita), carbonatos (p.ex. siderita e ankerita) e em silicatos (greenalita e anfibólios como riebeckita e grunerita).

Os teores químicos de Ferro detectados apresentaram o seguinte comportamento: média de 66393,88 mg/kg, mediana de 62600,00 mg/kg e 30632,93 de desvio padrão. O valor mínimo encontrado foi 15800,00 mg/kg e máximo 207900,00 mg/kg. O gráfico *boxplot* (Figura 5-11) indica uma amplitude interquartílica de 24850,00 mg/kg, primeiro quartil 51400,00 mg/kg e no terceiro quartil 76250 mg/kg.

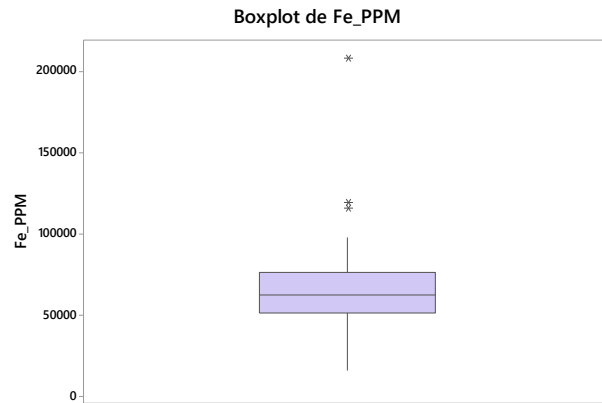


Figura 5-11: Gráfico *boxplot* teor de ferro.

Através da interpolação dos teores é possível observar 8 pontos de alto valor de referência disseminados por quase toda a área, além de 3 pontos de anomalia geoquímica. As anomalias geoquímicas se concentram na região sudeste e sudoeste do Complexo Monsenhor Isidro, provavelmente provenientes das rochas metamáficas da Suíte Catas Altas da Noruega e das formações ferríferas do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.

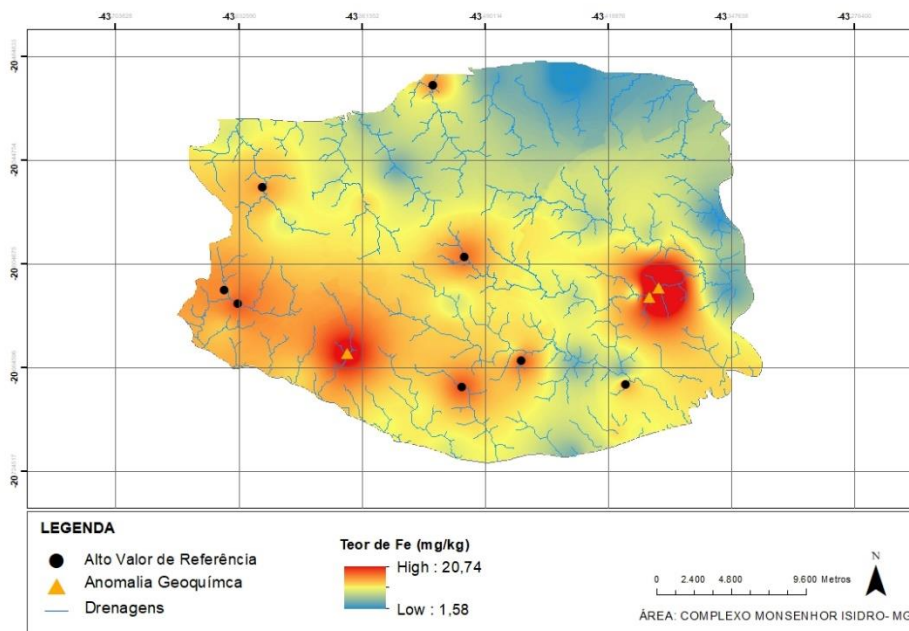


Figura 5-12: Mapa de concentração geoquímica do elemento ferro no Complexo Monsenhor Isidro - MG

5.1.7 Alumínio

O alumínio (Al) é classificado como um metal de pós transição, segundo elemento metálico mais abundante na crosta terrestre, também é o segundo metal mais consumido no mundo, depois do

ferro (USGS 2018). Por não ser encontrado em seu estado natural na crosta terrestre, o Al é obtido partir de seus óxidos e hidróxidos que formam a bauxita (ABAL 2017).

Através da análise estatística descritiva do teor de Al os seguintes parâmetros foram encontrados: média de 31489,80 mg/kg, mediana de 31300,00 mg/kg 9812,43 de desvio padrão. O valor mínimo encontrado foi 12600,00 mg/kg e máximo 56000,00 mg/kg. O gráfico *boxplot* (Figura 5-13) indica uma amplitude interquartitica de 24850,00 mg/kg, primeiro quartil 51400,00 mg/kg e no terceiro quartil 76250 mg/kg.

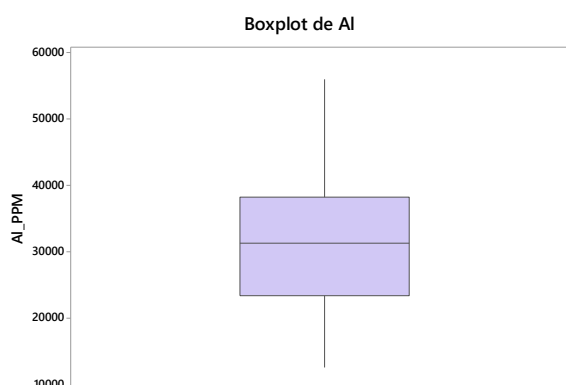


Figura 5-13: Gráfico *boxplot* teor de alumínio.

Após a interpolação dos dados obtidos é possível observar no mapa (**Figura 5-14**) a presença de 13 pontos com alto valor de referência com valores entre 38200ppm e 60325 ppm.

. Essas regiões com elevado teor de alumínio se concentram na porção central, sudeste e sudoeste da área de estudo. Essa grande concentração de Al, pode estar associada as rochas que afloram na região, como os gnaisses leococráticos e trondhjemítico ou formações ferríferas do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, e aos granitoides da Suíte Pedra do Diabo.

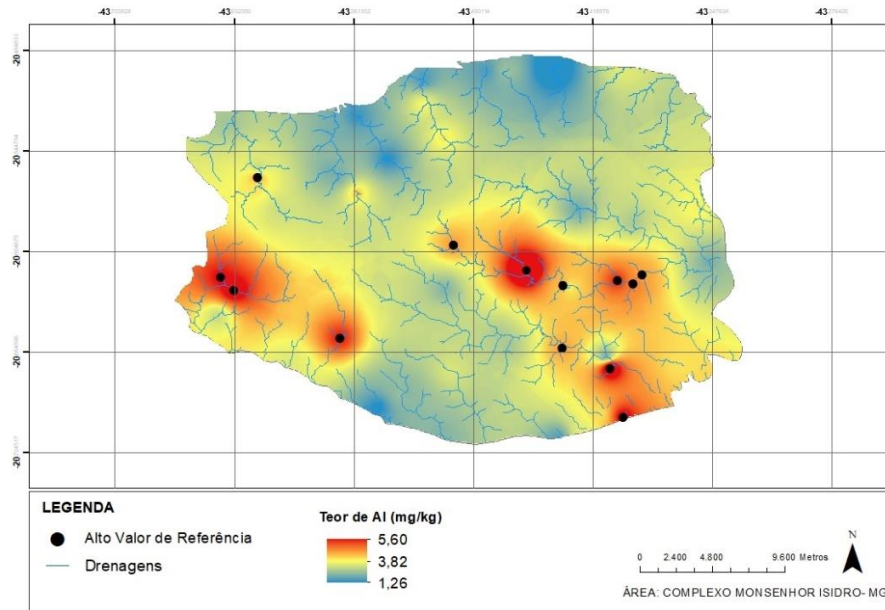


Figura 5-14: Mapa de concentração geoquímica do elemento alumínio no Complexo Monsenhor Isidro - MG.

5.1.8 Arsênio

O arsênio (As) é um semi-metal (metalóide) presente na crosta terrestre e compõe mais de 200 minerais. Geralmente é liberado como subproduto do tratamento de minérios de cobre, chumbo, cobalto e ouro (Smed ley & Kinniburgh 2002).

Nos sedimentos analisados, o teor de As encontrado apresentou o seguinte comportamento (Tabela 5-1): a média de 6,21 mg/kg, mediana de 4,60 mg/kg e 6,49 de desvio padrão. O valor mínimo encontrado foi 0,80 mg/kg e máximo 35,40 mg/kg. O gráfico *boxplot* gerado a partir dos teores de Arsênio, (Figura 5-15) indica uma amplitude interquartílica de 3,85 mg/kg, sendo o primeiro quartil 3,00 mg/kg e terceiro quartil 6,85mg/kg. Cinco valores foram identificados como *outliers*, 13mg/kg, 15,60 mg/kg, 17,60 mg/kg, 30,10 mg/kg e 35,40 mg/kg.

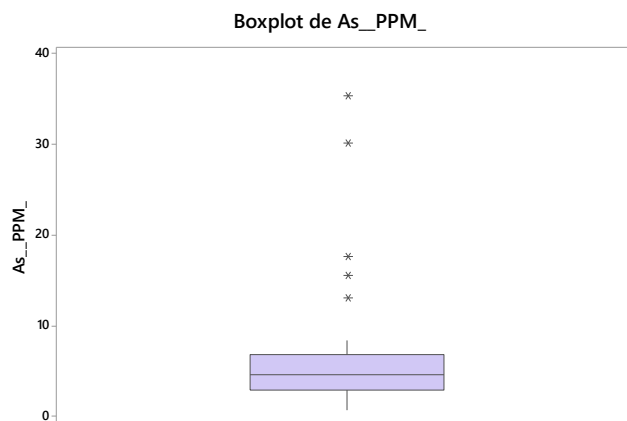


Figura 5-15: Gráfico *boxplot* teor de arsênio.

As elevadas concentrações de Arsênio indentificadas estão concentradas na região sudoeste da área de estudo onde estão presentes as rochas do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, as rochas metamáficas da Suíte Catas Altas da Noruega e as rochas metaultramáficas da Suíte Santa Rita. Observa-se a presença de 7 pontos de alto valor de referência com teores entre 6,85ppm e 12,62ppm, que apresentam valores abaixo dos 5 pontos de anomalia geoquímica expostos no mapa abaixo (Figura 5-16).

O As é um elemento facilmente removido pela água, dispersando-se nos sedimentos. Por se tratar de teores provenientes de sedimentos de corrente, sua área fonte pode ser bem distante do ponto onde foi coletado. Com abundante distribuição, na maior parte das rochas, o Arsênio costuma apresentar concentrações entre 0,5 e 2,5 mg/kg, embora em sedimentos argilosos a sua concentração possa atingir 13 mg/kg. Esses pontos de anomalia identificados apresentam elevadas concentrações comparada com as prováveis rochas originárias, podendo refletir fontes externas do elemento provenientes de exalações vulcânicas, da poluição, entre outras (Adriano 1986).

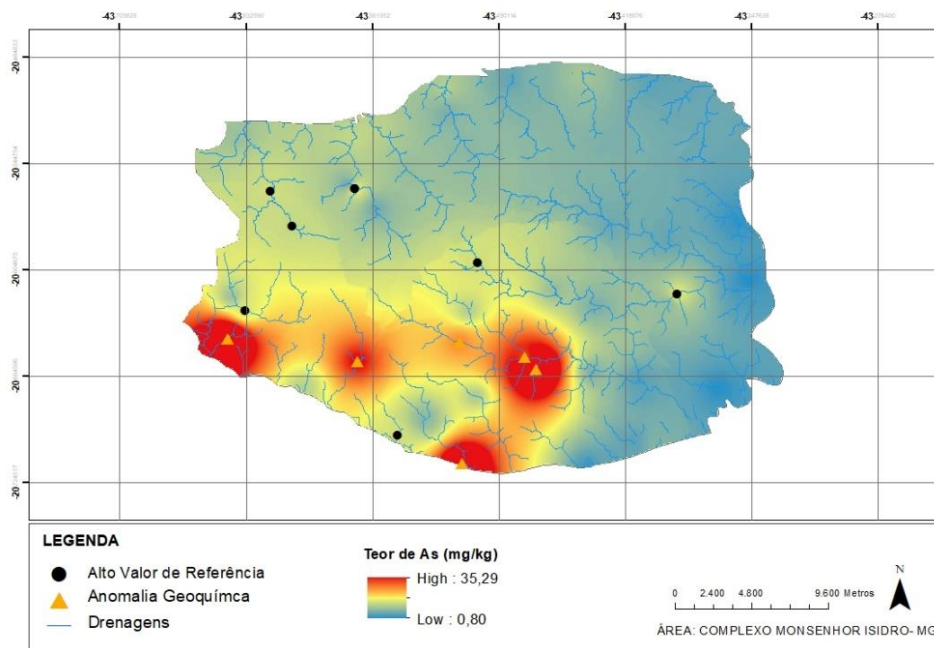


Figura 5-16: Mapa de concentração geoquímica do elemento arsênio no Complexo Monsenhor Isidro - MG

5.1.9 Cádmi

O Cádmi (Cd) é um elemento relativamente raro, sua presença na litosfera é estimada em cerca de 0,5 mg kg⁻¹. Não existem minerais que contenham cádmio em quantidades comerciais, obtendo-se o mesmo como produto secundário da extração de outros elementos como, por exemplo, o Zn. (Atkins & Jones 2001).

Os minerais típicos do cádmio são a greenockite (CdS), a octavite (CdCO₃), entre outros. Os possíveis minerais hospedeiros deste elemento são, entre outros: os minerais de zinco, a biotita e os anfibólios (Reimann & Caritat 1998). De acordo com a **Tabela 5-1**, os teores de cádmio apresentaram uma média e mediana de 0,04 mg/kg e 0,02 de desvio padrão. O menor teor identificado nas amostras foram 0,01 mg/kg e o máximo 0,11 mg/kg. O gráfico *boxplot* gerado (Figura 5-17) demonstra que os teores possuem uma amplitude interquartílica de 0,02 mg/kg, sendo o primeiro quartil 0,03 mg/kg e terceiro quartil 0,05mg/kg. Três valores foram identificados como outliers, 0,09 mg/kg, 0,10 mg/kg e 0,11 mg/kg.

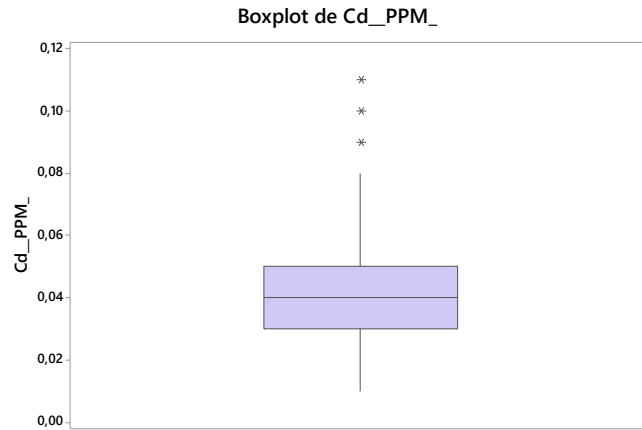


Figura 5-17: Gráfico *boxplot* teor de cádmio.

Os teores de cádmio são bem distribuídos por toda a região do Complexo Monsenhor Isidro. Observando o mapa de isovalores (Figura 5-18) é possível identificar os pontos que concentram altos valores de referência e anomalias geoquímicas.

As regiões com alto valor de referência estão disseminadas em quase toda a totalidade da área, enquanto as anomalias geoquímicas se limitam ao sudeste e noroeste do mapa, onde estão presentes as rochas metamáficas e metaultramáficas das Suítes Catas Altas da Noruega e Santa Rita, respectivamente.

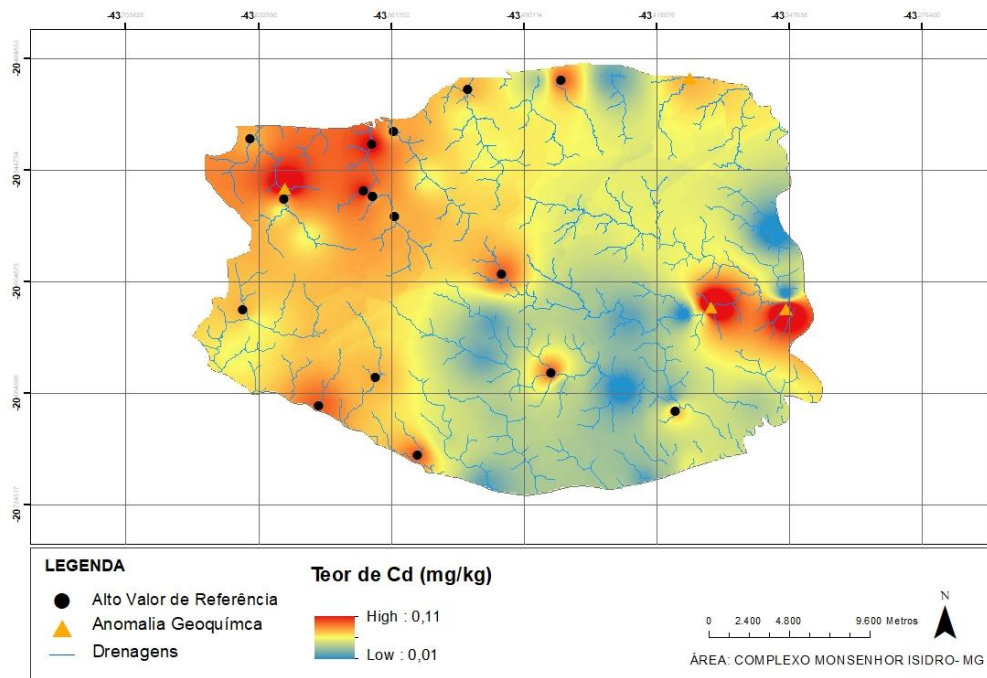
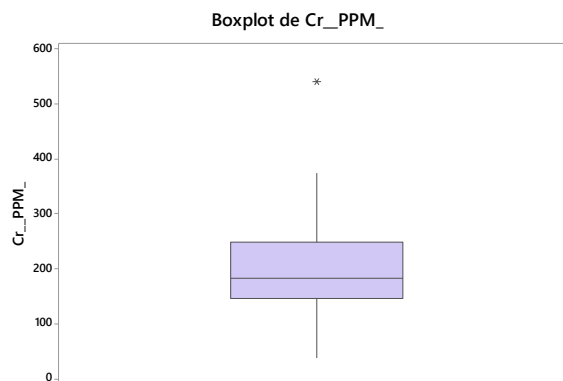


Figura 5-18: Mapa de concentração geoquímica do elemento cádmio no Complexo Monsenhor Isidro - MG.

5.1.10 Cromo

O Cromo é o décimo elemento em ordem de abundância na Terra. Resistente à corrosão, é considerado um metal essencial na indústria moderna. Na natureza ocorre, principalmente, como o espinélio e a cromita (Murthy *et al.* 2011).

Nos elementos analisados o teor de cromo apresentou o seguinte comportamento: média de 203,60 mg/kg, mediana de 182,50 mg/kg 95,25 de desvio padrão. O valor mínimo encontrado foi 38,00 mg/kg e máximo 56000,00 mg/kg. O gráfico *boxplot* (Figura 5-19) indica uma amplitude interquartitica de 540,90 mg/kg, primeiro quartil 145,45 mg/kg e no terceiro quartil 249,20 mg/kg.

Figura 5-19: Gráfico *boxplot* teor de Cromo.

A concentração de cromo é acentuada em quase toda região. Dos pontos analisados 12 apresentam alto valor de referência com anomalia geoquímica associada, predominantemente às rochas metamáficas da Suíte Catas Altas da Noruega, metaultramáficas da Suíte Santa Rita e as rochas do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga. Os altos valores de referência estão disseminados na região central e extremo sudeste, a anomalia geoquímica foi identificada no extremo norte do mapa dando indícios de correlação com as rochas metaultramáficas da Suíte Santa Rita (Figura 5-20).

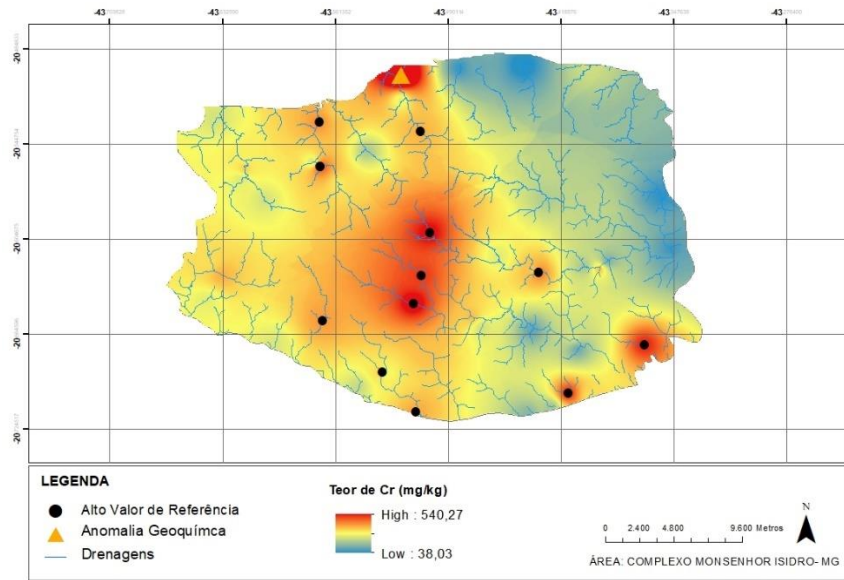


Figura 5-20: Mapa de concentração geoquímica do elemento cromo no Complexo Monsenhor Isidro - MG.

5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA BIVARIADA

Para entender a relação entre os elementos, foi utilizado a correlação de Pearson (**Tabela 5-2**), que analisa a métrica da linearidade entre variáveis expondo em um número que vai de -1 a +1. Quanto mais próximo dos extremos (-1 ou 1), maior é a força da correlação, valores próximos de zero indicam uma fraca correlação.

Analisando a correlação do cobre com os elementos estudados é possível observar uma fraca correlação com o chumbo e moderada com o cádmio, alumínio e arsênio, indicado pelos valores 0,002, 0,407, 0,221 e 0,319 respectivamente. O zinco, níquel, magnésio, ferro, e cromo apresentaram valores superiores a 0,4 associando-se moderadamente ao cobre.

A análise bivariada indicou uma fraca relação do zinco com o níquel e o cromo com valores de 0,36 e 0,315, já em relação ao alumínio e arsênio a correlação com o Zn é ainda mais fraca, com valores abaixo de 0,25. Com valores acima de 0,49 o magnésio, ferro e o cádmio apresentaram uma associação positiva com o Zn na área.

O níquel apresenta, na região, uma forte correlação com o Cromo, de 0,792, enquanto o valor de 0,592 demonstra uma moderada correlação com o magnésio. Já os demais elementos, ferro, cádmio, cromo, alumínio e arsênio apresentam uma correlação desprezível com o níquel, com valores entre - 0,202 a 0,195.

O Mn apresentou fraca correlação negativa com o Al positiva e moderada em relação ao Cr, enquanto o Fe, Cd, Al e As mostraram fraca correspondência com o Mn. O Ferro demonstra possuir uma fraca correlação positiva com o cádmio, cromo, alumínio e Arsênio, com números entre 0,315 e 0,427.

O Cd e o As indicaram fraca associação negativa com o Al. Por fim o arsênio apresentou fraca correlação com o cromo e o cádmio, com valores 0,171 e 0,002 respectivamente.

Tabela 5-2: Correlação de Pearson entre os elementos Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Cd, Cr, Al e As.

	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Fe	Cd	Cr	Al
Pb	0,002								
Zn	0,679	0,242							
Ni	0,497	0,283	0,36						
Mn	0,675	0,241	0,509	0,592					
Fe	0,517	0,012	0,496	0,139	0,251				
Cd	0,407	0,269	0,678	0,195	0,264	0,378			
Cr	0,522	0,059	0,315	0,792	0,491	0,319	0,022		
Al	0,221	0,064	0,153	-0,202	-0,039	0,427	-0,036	0,045	
As	0,319	-0,306	0,243	0,047	0,136	0,315	0,002	0,171	-0,062

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIÁVEL

Foi realizada uma análise estatística multivariável pela metodologia de Análise dos Componentes Principais através do Software Statistica. A análise de componentes principais (PCA) segundo Abdi & Williams (2010) extrai as informações mais importantes da tabela de dados, comprime o tamanho do conjunto de dados, mantendo apenas essas informações importantes e simplifica a descrição do conjunto de dados.

A **Tabela 5-3** apresenta os valores obtidos para autovalor, proporção e acumulado que correspondem a informação que cada componente principal carrega. Já a Tabela 5-4 abaixo representa os resultados da análise de PCA com as associações geoquímicas presentes na área de estudo.

O PC1 demonstra que o cobre, zinco, níquel, manganês e cromo formam um fator que representa 38% da área, ou seja, juntos eles representam uma assinatura geoquímica característica da região. A associação entre esses elementos corrobora com a grande presença de intrusões máficas e ultramáficas em toda a área estudada.

O CP2 indica que o Ferro e o Alumínio juntos caracterizam 16% da região indicando um fator muito importante associado aos xistos e às formações ferríferas presentes do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.

O CP3 demonstra que 15% da área apresenta uma associação química com o elemento Arsênio.

A variabilidade geoquímica da área indicou, a partir das análises estatísticas, 3 principais associações geoquímicas que regem as variações geológicas da região. A primeira são as unidades máficas e ultramáficas representadas pelo cobre, cromo, níquel, zinco e manganês. A segunda

representada pelas formações ferrífera e xistos presentes nas unidades metassedimentares, associadas ao ferro e ao alumínio. E a terceira demonstra a presença de unidades geológicas enriquecidas em Arsênio, visto que, sozinho ele forma com fator que explica quase 15% da região.

Tabela 5-3: Autoanálise (Autovalores e Autovetores) da matriz de correlação.

Autovalor	3,8092	1,6251	1,4669	1,1088	0,5871	0,5677	0,3528	0,2002	0,1665	0,1155
Proporção	0,381	0,163	0,147	0,111	0,059	0,057	0,035	0,02	0,017	0,012
Acumulado	0,381	0,543	0,69	0,801	0,86	0,916	0,952	0,972	0,988	1

Tabela 5-4: Análise dos componentes principais.

Variável	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Cu	0,445	0,122	0,115	0,009	-0,315
Pb	0,127	-0,287	-0,582	0,165	0,644
Zn	0,416	0,168	-0,215	-0,235	-0,028
Ni	0,358	-0,472	0,13	0,109	0,056
Mn	0,391	-0,224	0,04	-0,001	-0,189
Fe	0,315	0,451	-0,005	0,153	0,204
Cd	0,283	0,133	-0,445	-0,458	-0,165
Cr	0,35	-0,264	0,32	0,335	0,049
Al	0,076	0,474	-0,162	0,667	-0,049
As	0,153	0,293	0,507	-0,339	0,61

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

No presente estudo foi possível verificar a distribuição espacial dos metais Cobre, Chumbo, Zinco, Níquel, Manganês, Ferro, Alumínio, Arsênio, Cádmiio e Cromo nos sedimentos de corrente coletados das drenagens da área do Complexo Monsenhor Isidro. Através do cálculo de *background* regional foi possível identificar valores anômalos e a análise estatística multivariável permitiu caracterizar a área e relação entre os elementos.

A utilização dos valores de *background* resultantes das análises estatísticas permitiu identificar valores anômalos de Pb, Zn, Ni, Fe, As, Cd e Cr (Figura 6-1).

A amostra com teor anômalo de chumbo foi identificada no extremo norte da região, local onde também foi detectado anomalia de níquel e cromo. Ambos os elementos apresentam afinidade com o enxofre e são concentrados nos sulfetos, podendo classifica-los como Calcófilos (Goldschmidt, 1974). A presença de valores anômalos de Pb e Ni na mesma amostra, indica um local para maiores investigações sobre um possível depósito de Pb-Cu, visto que o níquel ocorre frequentemente associado ao cobre.

Os pontos com elevado teor de cromo indicam ser provenientes das rochas máficas e ultramáficas presentes do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.

Na região noroeste da área foi identificado anomalia de Zn e Cd, nas amostras coletadas próximo ao Supergrupo Rio das Velhas e CSAP. Sendo a esfarelita o principal mineral de zinco, ela também pode constituir minério de cádmio, devido ao elevado teor de ambos os elementos nessa região

As anomalias de arsênio então disseminadas em diversas regiões da área, próximas as rochas do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, as rochas metamáficas da Suíte Catas Altas da Noruega e as rochas metaultramáficas da Suíte Santa Rita.

De acordo Silva *et al.* (2011) a concentração de As nas rochas ígneas possui uma média de 1,5 mg/kg, em rochas sedimentares ocorre na ordem dos 5-10 mg/kg e nas rochas metamórficas os teores tendem a reproduzir o das rochas que lhe deram origem, podendo a concentração variar entre 4 e 18 mg/kg. Os valores anômalos presentes na área de estudo podem refletir fontes externas do elemento, sendo necessária uma investigação mais detalhada para a determinação da área fonte devido à fácil remoção do As pela água e sua dispersão nos sedimentos.

O Fe e o As apresentaram valores anômalos em uma mesma amostra, apesar do arsênio possuir maior afinidade pelo enxofre e ser Calcófilo e o ferro Siderófilo, é provável que haja a presença de

arsenopirita no local da coleta, enriquecendo a amostra com Fe e As. A arsenopirita é comumente associada a mineralizações de ouro, o alinhamento E-W das amostras, que apresentaram anomalias geoquímicas para As, indica uma região passiva de investigação para possível depósito de ouro orogênico.

A análise multivariável indicou a presença de três principais fatores no Complexo Monsenhor Isidro. O PC1 representa 38% da área composto pelo cobre, zinco, níquel, manganês e cromo, o CP2 caracteriza 16% da região pela presença de Ferro e o Alumínio e o CP3 formado pelo As correspondendo a 15% da região analisada. Associando estes fatores às possíveis rochas fontes é possível concluir que principais características geoquímicas do Complexo estão associadas às unidades máficas e ultramáficas da região.

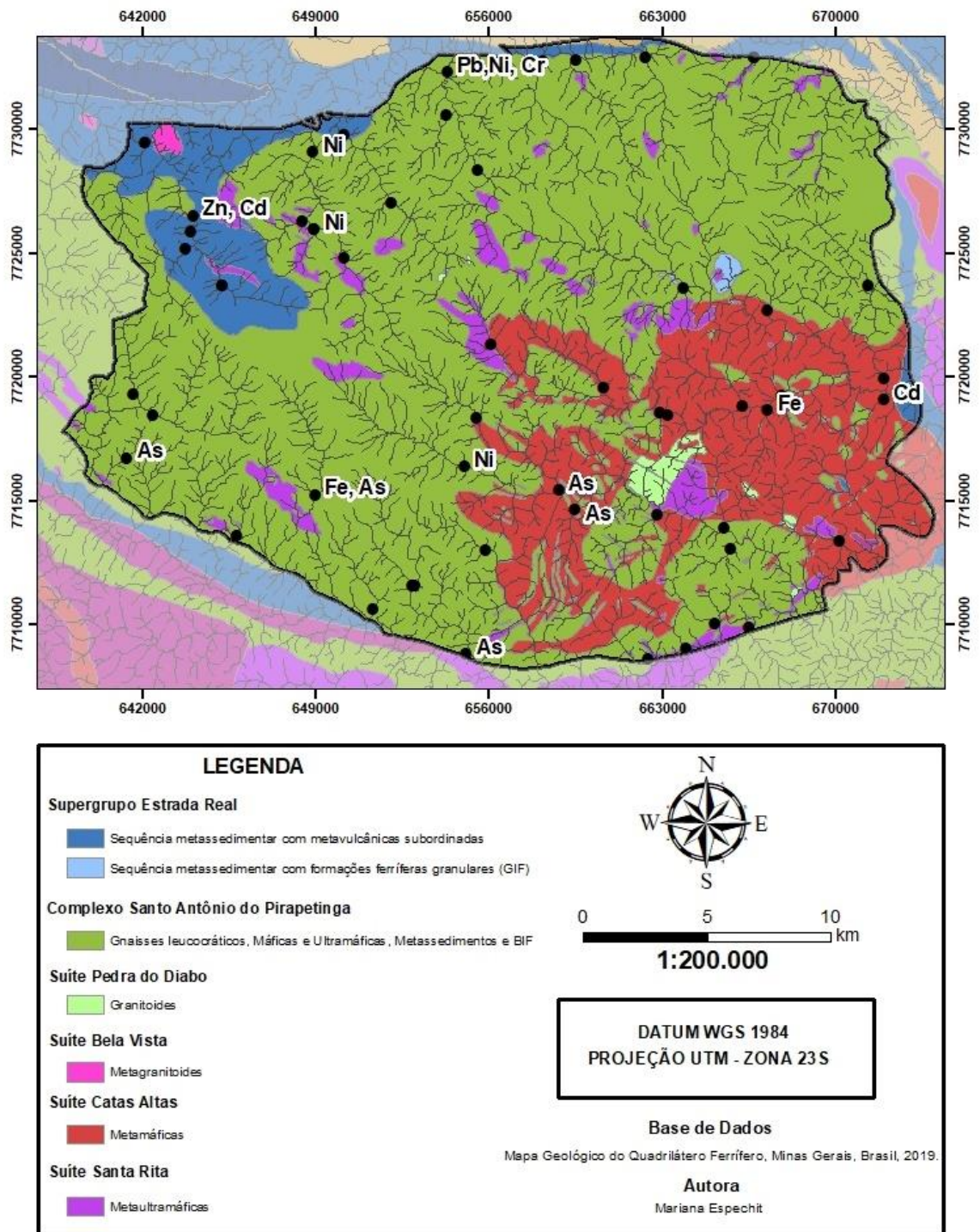


Figura 6-1: Mapa Geológico do Complexo Monsenhor Isidro identificando as anomalias geoquímicas detectadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAL. 2017. *Bauxita no Brasil, Mineração Responsável e Competitividade*. ABAL, São Paulo, 61 p. Disponível em http://www.abal.org.br/downloads/ABAL_Relatorio_Bauxita_2017_1.pdf. Acesso em 19/1/2018.
- Aguiar, J. E., Marins, R. V., Almeida, M. D.. 2007. Comparação de metodologias de digestão de sedimentos marinhos para caracterização da geoquímica de metais-traço na Plataforma Continental Nordeste Oriental Brasileira. *Geochimica Brasiliensis*, **21(3)**: 304-323.
- Alkmim F.F. & Marshak S.. 1998. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco Cráton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian, Research*, **90**:29-58.
- Alloway, B.J.. 1995. *Heavy metals in soils*. London. 2 ed. Blackie Academic e Professional. 368 p.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y. (eds.). 1984. *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo. Edgard Blücher. 378 p.
- Atkins, P., Jones, L.. 2001. *Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. Porto Alegre. Bookman. 914 p.
- Audry, S., Schafer, J., Blanc, G., Jouanneau, J.M.. 2004. Fifty-year record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoir (France). *Environmental Pollution*. **132**: 413-426.
- Babinski M., Chemale Jr. F., Van Schmus W. R.. 1995. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Prec. Res.* **72**: 235–245;
- Baltazar O. F. & Pedreira A. J.. 1998. Associações litofaciológicas. In: M. Zucchetti & O. F. Baltazar (Org.). Projeto Rio das Velhas: Texto explicativo do mapa geológico integrado. Escala 1:100.000. Convênio DNPM/CPRM, Belo Horizonte;
- Baltazar O.F. & Zucchetti M.. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas *greenstone belt*, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: a review of the setting of gold deposits. *Ore Geol. Rev.* **32**, 471–499.
- Barbosa L. H. do C.. 2018. *Serra do Itacolomi revisitada: estratigrafia, arcabouço estrutural e aplicação de métodos geofísicos, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 133p.

- Lopes, B.R., Gomes, L.R.S., Villas Boas, M.E.. 2021. Programa PMG, Pro-Reitoria de Graduação da UFMG, orientação do Prof. Aloísio Joaquim Freitas Ribeiro. *Manuscrito*.
- Carvalho S.G., Brenner T.L. 2010. Depósito de Ni-Cu-Co-Au-EGP de Fortaleza de Minas, Minas Gerais. In: Brito R.S.C. de, Silva M.G., Kuyumjian R.M. (eds.). Modelos de Depósitos de Cobre do Brasil e sua Resposta ao Intemperismo. Brasília, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, p. 97-125.
- Cordani U. G., Kawashita K., Müller G., Quade H., Reimer, V., Roeser H. M. P.. 1980. Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. *An. Acad. Bras. Ciên.*, 52(4): 785-799;
- Carneiro, M. A.. 1992. *O Complexo metamórfico Bonfim setentrional (Quadrilátero Ferrífero, MG): litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do arqueano*. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Dias T.G., Caxito, F.. 2018. Recursos Minerais De Minas Gerais – Manganês. In: Pedrosa-Soares, A.C. et al. (Coords.). Recursos Minerais de Minas Gerais *On Line*: síntese do conhecimento sobre as riquezas minerais, história geológica, e meio ambiente e mineração de Minas Gerais. Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE).
- Dorr J. V. N. II. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S.G.S. *Professional Paper*, **641(4)**: 1-110.
- Endo I.. 1997. *Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 243p.
- Endo, I., Castro, P.T.A., Gandini, A.L.. 2019. *Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos*. Belo Horizonte. 3i Editora. 480 p. 70-113.
- Farina F., Albert C., Lana C.. 2015a. The Neoproterozoic transition between medium and high-K granitoids: Clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil). *Precambrian Research*, **266**: 375-394.
- Farina F., Albert C., Dopico C. M., Aguilar C. G., Moreira H., Hippert J., Cutts K., Alkmim F. F., Lana C. C. 2016. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil: current models and open questions. *Journal of South America. Earth Sci.* **68**:4- 21.
- Frizzo, S.J, Licht, O.A.B. 2007. Estatística uni e bivariada aplicadas à prospecção geoquímica. In: Licht, O.A.B., Mello, C.S.B., Silva, C.R. (eds). Prospecção Geoquímica Depósitos Minerais Metálicos, Não-Metálicos, Óleo e Gás. *SBGq/CPRM*, 20, Rio de Janeiro. p. 619-660.

- Gomes N. S.. 1986. *Petrologisch-geochemische Untersuchungen im Bação-Komplex Eisernes Viereck, Minas Gerais, Brasilien*. Clausthal. Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät., Technischen Universität Clausthal. Dissertation. 209 p.
- Gonçalves L. E. da S., Costa J. C. M. de O., Endo I, Roeser H. M. P.. 2011. Petrogênese, microestruturas e deformação de corpos ultramáficos metamorfisados da região de Santa Rita de Ouro Preto, MG, Brasil. *Geonomos* 19(1): 10 – 17.
- Guimarães D., Melo S. M. G., Melo E. A. V.. 1967. O Complexo de Bação. *Bol. Inst. Geol./EFMOP*, 2(1): 1-12.
- Hakanson, L. 1980. An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control a Sedimentological Approach. *Water Research*, **14**:975-1001.
- Hartmann L.A., Endo I., Suita M. T. F., Santos J. O. S., Frantz J. C., Carneiro M. A., Naughton N. J., Barley M. E.. 2006. Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U-Pb isotopes. *Jour. of South Am. Earth Sci.* **20**:273–285.
- Heineck, C. A., Leite, C. A. S., Silva, M. A. da, Vieira, V. S. 2003. *Mapa Geológico de Minas Gerais, escala 1:1.000.000*. Belo Horizonte. Convênio CPRM/COMIG.
- Herz N.. 1970. Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM. *Prof. Paper 641-B*. 57 p.
- Jordt-Evangelista H. & Silva M. E. da. 2005. Rochas metaultramáficas de Lamim, sul do Quadrilátero Ferrífero, MG: contribuição ao conhecimento do protólito da pedra-sabão. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*, 58(1): 11-20.
- Kingstom, H. M., Jassie, L. 1988. *Introduction to Microwave Sample Preparation – Theory and Practice*, ACS Professional Reference Book. Washington, 263 p.
- Krug, F. J. 2000. Métodos de Decomposição de Amostras. *In: III Workshop Sobre Preparo de Amostras*, Outubro, São Carlos, 23-27 p.
- Lana, C., Alkmim, F. F., Armstrong, R., Scholz, R., Romano, R., Nalini, H. A., 2013. The ancestry and magmatic evolution of the Archean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brasil. *Precambrian Res.*, 231: 157-173.
- Lee, G.F. 1975. Role of hydrous metal oxides in the transport of heavy metals in the environment. *In: Krenkel, P.A. (ed.), Heavy Metals in the Aquatic Environment*, Pergamon Press, p. 137-47.
- Lemos M. 2011. *Caracterização geológica e tecnológica do minério de zinco do Extremo Norte da Mina de Vazante, Minas Gerais*. Dissertação de mestrado, UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 193 p.

- Luz, A. B., Lins, F. A. F.. 2008. *Rochas & minerais Industriais: usos e especificações*. Rio de Janeiro, CETEM/MCT. 990 p.
- Licht, O.A.B.. 1998. *Prospecção Geoquímica: Princípios, Técnicas e Métodos*. CPRM. Rio de Janeiro, 236 p.
- Mason, B.H.. 1971. *Princípios de Geoquímica; tradução de Rui Ribeiro Franco*. Polígono, Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo. 381 p.
- Murthy Y.R., Tripathy S.K., Kumar C.R.. 2011. Chrome ore beneficiation challenges & opportunities – A review. *Minerals Engineering*, **24(5)**:375–380.
- Machado N., Schrank A., Noce C. M., Gauthier G.. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for Greenstone Belt setting evolution of a transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth Planet. Sci. Lett.* **141**:259-276;
- Machado, V.C.P., Representação Espacial de Dados de Contaminação por Arsénio, Faculdade Engenharia da Universidade do Porto, Porto 2010.
- Machado N., Noce C. M., Ladeira E. A., Oliveira O. A. B de. 1992. U-Pb geochronology of the Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. *Geol. Soc. Am. Bull.* **104**: 1221–1227.
- Noce C. M.. 1995. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 129 p.
- Noce C. M., Zucchetti M., Baltazar O. F., Armstrong R., Dantas E. L., Renger F. E., Lobato L. M.. 2005. Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the evolution of the Neoproterozoic Rio das Velhas greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil): U/Pb zircon dating of volcanoclastic graywackes. *Prec. Res.* **141**: 67-82.
- Plumlee, G.S.. 1999. The environmental geology of mineral deposits. In: Plumlee, G.S., Logsdon, J.J. (eds.). *The environmental geochemistry of mineral deposits. Part A, Processes, Techniques, and Health Issues. Society of Economic Geologists Reviews in Economic Geology*, **6**:71-116.
- Oliveira, B.R.. 2012. Avaliação dos metais ambientalmente disponíveis em amostras de sedimento de pontos de captação de água para abastecimento público de Palmas, TO. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares. São Paulo. p. 40-70.

Valério, M.S.E. 2022. Caracterização geoquímica do Complexo...

Pereira, E. M. de O.. 2018. *Aplicação Do Mapeamento Geoquímico Para a Avaliação de Contaminações Ambientais no Quadrilátero Ferrífero, MG*. Monografia do curso de Geologia, Universidade Federal de Fortaleza. Fortaleza, Ceará. 128 f.

Piassa L. R. A.. 2018. *A Falha do Engenho revisitada: Sul do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Dissertação de Mestrado. 156 p.

Seixas L. A. R.. 1988. *Geologia e metalotectos de uma fração do Lineamento Congonhas, Minas Gerais*. Universidade de Brasília. Dissertação de Mestrado. 119p.

Snape, I.; Scouller, R. C.; Stark, S. C.; Stark, J.; Riddle, M. J.; Gore, D. B.. 2004. Characterization of the dilute HCl extraction method for the identification of metal contamination in Antarctic marine sediments. *Chemosphere*, **57**:491-504.

Suita M. T. F., Endo I., Assumpção C. S., Alcântara R. M., Menezes I. P.. 2007b. Metacumulados ultramáficos de Santa Rita de Ouro Preto (Ouro Preto): Esteatitos, intrusões acamadadas (máfico?) ultramáficas Paleoproterozoicas (?) e suas implicações. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, Diamantina. Simpósio do Sudeste - Programação e Livro de Resumos. Diamantina, MG: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleos RJ, MG e SP, 2007. 92-92;

Sutherland, R.A.. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, **39**(6):611-627.

Silva, P.P., Guerra, W., Silveira, J.N., Ferreira, A.M.C., Bortolotto, T., Fischer, F.L., Terenzi, H., Neves, A., Pereira-Maia, E.C.. 2011. Two New Ternary Complexes of Copper (II) with Tetracycline or Doxycycline and 1,10-Phenanthroline and Their Potential as Antitumoral: Cytotoxicity and DNA Cleavage. *Inorganic Chemistry*, **50**: 6414-6424.

Raposo, F.O.. 1991. *Folha SF.23-X-B-IV – Rio Espera, escala 1:100.000*. Texto explicativo. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belo Horizonte, DNPM-CPRM, 200 p.

Smedley P.L. & Kinniburgh D.G.. 2002 A review or the source. behav iour and distribution of arsenic in natural waters Source and behaviour of arsenic in natural waters. *Applied Geochem.* **17**:517-568.

Silva, A.F., Fiúza, A.. 2011. *Distribuição e comportamento do arsénio em ambientes naturais*. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, Portugal.

USGS – United States Geological Survey. 2018. *Aluminum Statistic and Information*. USGS. Disponível em:

<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aluminum/index.html#pubs>. Acesso em 19/10/2022.

Varajão C. A. C., Salgado A. A. R., Varajão A. F. D. C., Braucher R., Colin F., Nalini Jr H. A.. 2009. Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (¹⁰Be) e da pedogênese. *Rev. Bras. de Ciênc. Solo*, **33**: 1409-1425;

Zucchetti M. & Baltazar O. F.. 1998. Projeto Rio das Velhas: Texto explicativo do mapa geológico integrado. Escala 1:100.000. Convênio DNPM/CPRM, Belo Horizonte;

Anexos

OBJECTI D	Coord_X	Coord_Y	Cu__PPM	Pb__PPM	Zn_PP M	Ni__PPM	Mn__PPM_	Fe	Cd__PPM	Cr__PPM	Al	As_PP M
985	672005	7719100	26,74	15,58	33,1	24,1	204	2,85	0,1	85,9	2,52	1,7
986	671980	7719990	15,88	14,43	16,4	9,4	251	3,4	0,01	59,3	2,26	0,8
991	671366	7723724	18,78	19,19	23,9	10,4	100	2,46	0,01	54,9	3,47	1,2
998	670183	7713382	47,13	9,71	39	87,8	545	7,24	0,03	345,8	3,54	0,9
1015	667842	7719260	33,14	13,34	51,5	24,1	167	20,79	0,11	99,7	3,84	8,2
1019	667283	7722738	23,57	21,76	21,8	43,8	235	5,26	0,04	151,2	2,7	2,6
1020	667277	7718676	44,51	24,17	46,2	30	1177	11,91	0,04	233,4	4,08	4,1
1022	666758	7732917	20,15	16,08	43,4	26,1	194	2,62	0,08	154,9	3,17	1,9
1023	666758	7732917	18,58	13,91	35,1	23,3	231	3,5	0,02	172,1	3,28	2,7
1025	666546	7709902	36,49	25,1	37,5	43,6	902	6,35	0,04	217,1	4,73	3,7
1029	666288	7718875	28,16	12,76	25,5	18,2	235	6,26	0,01	131,7	4,51	4,7
1031	665794	7713111	26,49	21,44	42,5	19,5	520	8,09	0,05	90,3	5,23	2,3
1033	665510	7713947	12,89	8,67	15,7	22,6	355	3,87	0,02	170,5	2,34	2
1038	665137	7710061	21,38	16,51	32	36,7	267	7,05	0,03	342,4	3,55	2,2
1046	663988	7709071	18,17	10,53	18,8	19,9	208	5,47	0,02	128,6	3,25	2,4
1047	663867	7723600	34,69	10,9	35,7	29,7	1354	4,96	0,04	139,8	2,25	2,9
1053	663274	7718484	26,5	11,46	23,5	46,5	405	6,22	0,02	293,5	3,44	3,6
1055	662912	7718616	31,78	9,02	32,8	44,3	618	5,02	0,02	227,8	3,8	3,5
1057	662805	7714455	16,64	7,2	19,8	12	165	3,58	0,01	82,5	3,87	3,6
1060	662466	7708617	15,73	9,17	20	11,7	378	3,61	0,03	107,3	2,03	1,4

1061	662354	7732961	7,84	8,09	25,8	10,2	222	1,58	0,02	38	1,26	5,1
1072	660663	7719601	35,1	10,16	31,8	33,1	470	6,22	0,03	180,6	5,6	4,6
1078	659543	7732836	21,17	15,89	43,9	17,9	332	3,49	0,06	86,5	2,54	3,6
1079	659507	7714680	37,18	10,13	40,4	21,1	476	9,63	0,03	167,1	2,66	35,4
1084	658852	7715449	33,81	7,59	35,6	32,1	221	6,7	0,06	238,6	2,72	15,6
1088	658216	7732802	14,87	10,2	22,8	7,4	337	3,08	0,03	57,9	1,96	2,6
1095	656111	7721333	55,76	10,86	48,1	49,5	954	9,22	0,06	358,9	3,89	7,1
1096	655886	7713012	35,63	8,36	31,5	37,8	900	9,74	0,03	238,1	3,13	5,6
1098	655557	7728394	27,78	13,4	29	55,7	690	5,34	0,04	249,4	3,49	4
1099	655529	7718363	36,72	6,21	36,2	75,9	564	5,82	0,02	330,4	2,38	5,9
1104	655106	7708848	37,33	5,81	28	33,2	695	5,91	0,02	254,1	2,34	27,1
1106	655019	7716413	41,18	5,99	34,9	101,6	579	7,46	0,02	375,4	2,9	13
1109	654354	7732337	34,18	26,43	38,5	166,4	2335	8,59	0,05	540,9	1,95	5,8
1112	654326	7730604	36,64	12,61	30	43,3	710	5,83	0,04	188,3	3,4	3,5
1122	653023	7711622	30,58	7,89	28,5	20,9	293	5,89	0,03	151,1	2,22	4,6
1124	652919	7711624	40,8	10,19	32,1	31,5	711	7,4	0,04	264,3	2,67	3,5
1125	652087	7727049	27,7	14,09	26,7	23,6	436	3,3	0,04	135,1	1,74	4,5
1128	651324	7710630	45,29	11,14	33,6	33,9	595	6,4	0,06	157,8	1,68	7
1142	650173	7724819	41,9	8,25	33,3	51,1	1282	7,15	0,05	210	3,64	3,1
1143	650146	7729838	35,13	10,27	48,7	64,2	1187	4,38	0,05	227,7	1,8	6,1
1152	649017	7715267	61,19	7,24	49,4	31,8	1141	11,56	0,05	265,5	4,54	17,6
1153	648973	7725995	54,05	15,58	37,6	120,3	1234	6,59	0,05	318,6	2,35	8,4

1154	648973	7725995	51,8	14,76	36,8	129,5	1027	6,4	0,05	327,5	2,17	8,4
1155	648928	7729123	55,03	19,85	49,8	119,5	1747	5,6	0,07	272	2,23	6,5
1160	648475	7726327	45,65	20,75	41,2	67,6	880	5,45	0,07	171,4	2,25	3,1
1165	645856	7713619	31,19	5,83	30,8	20,8	688	7,18	0,06	173,8	3,18	6
1176	645271	7723702	31,53	10,55	29,1	55,7	1389	5,59	0,04	180	2,59	7
1177	645271	7723702	37,34	15,2	32,9	43,9	1283	6,37	0,04	157,5	3,45	6,1
1182	644058	7726542	62,66	13,85	60,5	69,7	1410	7,42	0,09	204,2	2,99	6,7
1184	643992	7725898	51,43	12,62	35,3	43,3	1599	8,85	0,05	227,6	3,86	7,1
1187	643768	7725192	50,98	11,34	33,7	29,5	1043	7,79	0,04	176,6	3,53	6,7
1196	642436	7718485	51,25	7,87	33,9	34,8	965	9,7	0,04	249	4,85	7,3
1198	642119	7729478	50,38	15,49	48,4	40,3	2161	5,82	0,05	168,9	2,62	4,7
1201	641651	7719352	53,91	9,87	37,4	30,9	1047	8,68	0,05	218,1	4,6	4,9
1207	641402	7716759	42,96	9,15	40,3	32,8	1160	7,44	0,04	182,5	3	30,1