CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

CAMPUS ARAXÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

MESTRADO PROFISSIONAL

Rodrigo Germano de Andrade

PROSPECÇÃO MINERAL EM SEDIMENTOS ATIVOS DE CORRENTE E ALUVIÃO DO RIO ARAGUARI/MG: EVIDÊNCIAS DE Pt, Ag, Cu, Bi, Ce e La

ARAXÁ-MG

2026

RODRIGO GERMANO DE ANDRADE

PROSPECÇÃO MINERAL EM SEDIMENTOS ATIVOS DE CORRENTE E ALUVIÃO DO RIO ARAGUARI/MG: EVIDÊNCIAS DE Pt, Ag, Cu, Bi, Ce e La

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Campus Araxá, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Sávio Domingos de Resende
Coorientador: Dr. Maurício Antônio Carneiro
Linha de pesquisa: Geologia de Engenharia na Mineração

ARAXÁ-MG
2026

A554p

Andrade, Rodrigo Germano de.
Prospecção mineral em sedimentos ativos de corrente e aluvião do Rio Araguari/MG: evidências de Pt, Ag, Cu, Bi, Ce e La / Rodrigo Germano de Andrade. – 2025.
95 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende.
Coorientador: Prof. Dr. Maurício Antônio Carneiro.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Araxá, 2025.
Bibliografia.

1. Prospecção mineral – Minas Gerais – Teses. 2. Geoquímica – Sedimentos – Teses. 3. Minas e recursos minerais – Teses. I. Resende, Domingos Sávio de. II. Carneiro, Maurício Antônio. III. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. IV. Título.

CDU 550.81:550.4(815.1)

Ficha elaborada pela Biblioteca – *Campus* Araxá – CEFET-MG
Bibliotecária: Márcia Martins da Silva CRB-6/2578

“Nunca é alto o preço a se pagar pelo privilégio de pertencer a si mesmo.”

(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho o resultado de uma prospecção mineral em sedimentos ativos de corrente e sedimentos de aluvião do rio Araguari, Minas Gerais, Brasil. A região onde se localiza o distrito de Desemboque, durante os anos de 1743 e 1781, foi palco de uma extração de aproximadamente 1500 kg de ouro aluvionar. Sendo a prospecção mineral, uma etapa fundamental para empreendimentos mineiros, utilizou-se de suas técnicas para o desenvolvimento deste projeto, o qual consistiu na coleta de amostras de sedimentos, desde a nascente do rio até o distrito. O objetivo geral deste projeto, se sustentou na busca de anomalias geoquímicas de elementos presentes nos sedimentos do rio Araguari, a priori sobre o ouro e diamante, ambos já evidenciados na região através de trabalhos anteriores, bem como identificação de grãos minerais com potencial econômico para exploração, buscando correlacionar com os registros históricos de extração, além de agregar conhecimento para a área em estudo. Metodologicamente, foram desenvolvidos e aplicados métodos integrados de prospecção mineral em uma área previamente selecionada, utilizando técnicas geológicas, geoquímicas e estatísticas, de forma a entender o contexto geológico regional, e apresentando dados consistentes com base em sua compreensão. Os resultados obtidos neste trabalho, revelaram anomalias geoquímicas para os elementos químicos Pt, Ag, Cu, Bi, Ce e La, indicando também, possíveis áreas no entorno da bacia hidrográfica do rio Araguari, que drena o grupo Canastra na região, para continuidade de estudos de pesquisa e prospecção mineral. Espera-se que os resultados contribuam para o acervo mineral da região, oferecendo subsídios técnicos que possam orientar futuras campanhas de exploração mineral e avaliação econômica de depósitos.

Palavras-chave: Prospecção mineral, rio Araguari, Canastra, anomalias geoquímicas.

ABSTRACT

This study presents the results of mineral prospecting in active stream sediments and alluvial sediments of the Araguari River, Minas Gerais, Brazil. The region where the Desemboque district is located, between 1743 and 1781, was the site of the extraction of approximately 1,500 kg of alluvial gold. Since mineral prospecting is a fundamental step in mining ventures, its techniques were used in the development of this project, which consisted of collecting sediment samples from the river's source to the district. The overall objective of this project was to search for geochemical anomalies of elements present in the sediments of the Araguari River, a priori on gold and diamonds, both already evidenced in the region through previous work, as well as the identification of mineral grains with economic potential for exploration, seeking to correlate with historical extraction records, in addition to adding knowledge to the area under study. Methodologically, integrated mineral prospecting methods were developed and applied in a previously selected area, using geological, geochemical and statistical techniques, in order to understand the regional geological context, and presenting consistent data based on their understanding. The results obtained in this work revealed geochemical anomalies for the chemical elements Pt, Ag, Cu, Bi, Ce, and La, also indicating possible areas around the Araguari River basin, which drains the Canastra Group in the region, for further research and mineral prospecting studies. The results are expected to contribute to the region's mineral collection, offering technical insights that can guide future mineral exploration campaigns and economic evaluation of deposits.

Keywords: Mineral prospecting, Araguari river, Canastra, geochemical anomalies.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao orientador Domingos Sávio de Resende e coorientador Maurício Antônio Carneiro pela orientação e esforços dedicados, seus conselhos de grande valia e pelo apoio constante ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho.

Sou grato(a) a empresa JOSÉ ADELMO DA SILVA ME, que proporcionou o financiamento das análises químicas no Laboratório ALS, possibilitando a execução deste projeto.

Agradeço também ao CEFET-MG, por fornecer os recursos e o ambiente propício para a realização da pesquisa, assim como cada professor presente nas etapas do projeto e nas aulas do PPGEMIN.

Um agradecimento aos graduandos em Engenharia de Minas do CEFET/ARAXÁ: Victor Diniz, Maria Eduarda Souza Duarte, Juliano Rodrigo Batista Júnior, Adrian Goulart e Iago Pereira da Silva, que auxiliaram em diversas etapas do presente trabalho. A todos agradeço penhoradamente.

Aos meus familiares, especialmente mãe, madrinha, irmã, tio, agradeço pela paciência, compreensão e encorajamento incondicional ao longo desta jornada.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, colaboraram para a elaboração deste projeto. Cada contribuição foi essencial para que este trabalho se concretizasse.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAMANTES ENCONTRADOS EM ALUVIÃO DO RIO ARAGUARI 14
FIGURA 2 - MAPA REPRESENTATIVO DA ÁREA ALVO NO RIO ARAGUARI. 16
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO BACIA DO ARAGUARI 24
FIGURA 4 - ROCHAS PRESENTES NA REGIÃO 25
FIGURA 5 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO GRUPO CANASTRA 26
FIGURA 6 - LITOLOGIA PRESENTE NA SERRA DA CANASTRA 29
FIGURA 7 - LIMITE DE MUNICÍPIOS NA SERRA DA CANASTRA. 29
FIGURA 8 - RÉPLICA DO DIAMANTE VARGAS 32
FIGURA 9 - PRINCIPAIS CORPOS KIMBERLÍTICOS EM MG 33
FIGURA 10 - PROVÍNCIAS DIAMANTÍFERAS EM MINAS GERAIS 35
FIGURA 11 - ESTRUTURAS DO CARBONO NA NATUREZA, COM SUAS DISTÂNCIAS INTER ATÔMICAS 40
FIGURA 12 - EXEMPLOS DE KIMBERLITOS ENCONTRADOS EM MG 42
FIGURA 13 - FORMAÇÃO DO KIMBERLITO X LAMPROÍTO 43
FIGURA 14 - AMBIENTE GEOTECTÔNICO DOS LIMITES DE GERAÇÃO E CRISTALIZAÇÃO DE DIAMANTES 43
FIGURA 15 - TIPOLOGIA DOS DEPÓSITOS DIAMANTÍFEROS CONTINENTAIS. 44
FIGURA 16 - OURO POLICRISTALINO, MULTIPLAMENTE GEMINADO 46
FIGURA 17 - VARIAÇÕES DE COR DO OURO NO SISTEMA TERNÁRIO 48
FIGURA 18 - PERSPECTIVA CROSTA-MANTO SOBRE OS SISTEMAS DE MINERALIZAÇÃO DE OURO 50
FIGURA 19 - MALHA DE AMOSTRAGEM DAS AMOSTRAS COLETADAS AO LONGO DO CURSO DO RIO ARAGUARI 53
FIGURA 20 - TOPOGRAFIA DA REGIÃO EM ESTUDO 54
FIGURA 21 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO PRESENTE PROJETO 55
FIGURA 22 - BASTÃO MAGNÉTICO. 57
FIGURA 23 - EQUIPAMENTO PARA SEPARAR MINERAIS 57
FIGURA 24 - SÉRIE DE PENEIRAS UTILIZADAS NA DISTRIBUIÇÃO 58
FIGURA 25 - MESA CONCENTRADORA WILFLEY UTILIZADA NO EXPERIMENTO 62
FIGURA 26 - DIFERENÇA ENTRE OS MINERAIS MAIS DENSOS E MAGNÉTICOS EM RELAÇÃO AO

MAIS LEVES 62
FIGURA 27 - PROCESSO DE SEPARAÇÃO PELO BROMOFÓRMIO 63
FIGURA 28 - EQUIPAMENTOS DA ETAPA DO LABORATÓRIO DE QUÍMICA 63
FIGURA 29 - ISOTEORES ARSÊNIO 66
FIGURA 30 - ISOTEORES PRATA 67
FIGURA 31 - ISOTEORES OURO 67
FIGURA 32 - ISOTEORES BISMUTO 68
FIGURA 33 - ISOTEORES CÉRIO 68
FIGURA 34 - ISOTEORES COBRE 69
FIGURA 35 - ISOTEORES LANTÂNIO 69
FIGURA 36 - ISOTEORES PLATINA 70
FIGURA 37 - DISTRIBUIÇÃO DO OURO 71
FIGURA 38 - DISTRIBUIÇÃO DO ARSÊNIO 71
FIGURA 39 - DISTRIBUIÇÃO DA PRATA 72
FIGURA 40 - DISTRIBUIÇÃO DO BISMUTO 72
FIGURA 41 - DISTRIBUIÇÃO DO CÉRIO 73
FIGURA 42 - DISTRIBUIÇÃO DO COBRE 73
FIGURA 43 - DISTRIBUIÇÃO DO LANTÂNIO 74
FIGURA 44 - DISTRIBUIÇÃO DA PLATINA 74
FIGURA 45 - SUMÁRIO GRÁFICO PARA O OURO 76
FIGURA 46 - SUMÁRIO GRÁFICO PARA A PRATA 77
FIGURA 47 - SUMÁRIO GRÁFICO PARA O ARSÊNIO 77
FIGURA 48 - SUMÁRIO GRÁFICO PARA O BISMUTO 78
FIGURA 49 - SUMÁRIO GRÁFICO PARA O CÉRIO 78
FIGURA 50 - SUMÁRIO GRÁFICO PARA O COBRE 79
FIGURA 51 - SUMÁRIO GRÁFICO PARA O LANTÂNIO 79
FIGURA 52 - SUMÁRIO GRÁFICO PARA A PLATINA 80
FIGURA 53 - CORRELAÇÃO GRÁFICA ENTRE CE E LA 81
FIGURA 54 - COMPARAÇÃO DOS ELEMENTOS 83
FIGURA 55 - COMPARAÇÃO DOS ELEMENTOS 84
FIGURA 56 - CURVA GRÁFICA METAIS DE TRANSIÇÃO (PPM) 85
FIGURA 57 - CURVA GRÁFICA METAIS DE TRANSIÇÃO (PPM) 86

FIGURA 58 - CURVA GRÁFICA METAIS DE TRANSIÇÃO (PPM) 86
FIGURA 59 - SÉRIES TEMPORAIS DOS METAIS ALCALINOS 87
FIGURA 60 - SÉRIE GRÁFICA DOS SEMIMETAIS 87
FIGURA 61 - SÉRIE GRÁFICA DOS ELEMENTOS DE TERRAS RARAS 88
FIGURA 62 - SÉRIE GRÁFICA DE OUTROS METAIS 88
FIGURA 63 - SÉRIE GRÁFICA DE ALGUNS ELEMENTOS EM % 89
FIGURA 64 - SÉRIE GRÁFICA DE ELEMENTOS ESTUDADOS 89
FIGURA 65 - MAPA ESTRUTURAL DA REGIÃO NO ENTORNO DO RIO ARAGUARI 93

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ALGUNS METAIS NOBRES E SEUS MINERAIS METÁLICOS 19
TABELA 2 - CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS NA CROSTA TERRESTRE 21
TABELA 3 - RELAÇÕES ENTRE UNIDADES DE TEOR 22
TABELA 4 - FATOR DE ENRIQUECIMENTO DE ALGUNS ELEMENTOS 22
TABELA 5 - DIAMANTE E SUAS PROPRIEDADES 40
TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS DO OURO 45
TABELA 7 - DADOS REFERENTES A ANÁLISE QUÍMICA DAS AMOSTRAS 59
TABELA 8 - RELAÇÃO DAS AMOSTRAS SEPARADAS 64
TABELA 9 - FORÇA DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON 65
TABELA 10 - CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA OS ELEMENTOS ESTUDADOS 81
TABELA 11 - BACKGROUND LOCAL E CLARKE DOS ELEMENTOS EM ESTUDO 83
TABELA 12 - GRÃOS MINERAIS DO ESTUDO 91

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ANM – Agência Nacional de Mineração

ETR – Elementos de terras raras

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

IDW – Inverso do Quadrado da Distância

KIM – Minerais indicadores de kimberlitos

M – Minério

MM – Mineral-minério

PPB – Partes por bilhão

PPM – Partes por milhão

SAMSUL – Mineração do Sul Ltda.

T – Teor

VMS – Vulcanogênicos de sulfeto maciço

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

1.1 Apresentação inicial 14
1.2 Contextualização 15
1.3 Hipótese 16
1.4 Problematização 16
1.5 Justificativa 17
1.6 Objetivo Geral 17
1.7 Objetivos específicos 18

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19

2.1 Prospecção e Pesquisa Mineral 19
2.2 Anomalias Geoquímicas 20
2.3 Concentrações de elementos químicos 21
2.4 Arcabouço Geológico na Bacia do Rio Araguari 23
2.5 Geologia - Grupo Canastra 24
2.6 Histórico do Diamante no Brasil 30
2.7 Província Diamantífera da Canastra 35
2.8 Minerais valiosos - Diamante 39
2.9 Depósitos Primários 41
2.10 Depósitos Secundários 44
2.11 Metais nobres - Ouro 45
2.12 Geologia e tipos de depósitos de ouro 47

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 53

3.1 Materiais e Métodos 56
3.2 Preparação das amostras 57
3.3 Fracionamento granulométrico 57
3.4 Análise química 58
3.5 Fracionamento gravimétrico 61
3.6 Tratamento estatístico dos dados químicos 64
3.7 Preparação das amostras de sedimento ativo de corrente 65

4 RESULTADOS 66

4.1 INTERPOLAÇÃO POR IDW 66
4.2 DISTRIBUIÇÃO LOCAL DOS ELEMENTOS 71
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA 75
4.4 CORRELAÇÃO DE PEARSON 81
4.5 BACKGROUND LOCAL 82
4.6 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS GEOQUÍMICOS 84
4.7 TRATAMENTO DOS MINERAIS DE ALUVIÃO EM LUPA ESTEREOMICROSCÓPICA 90
4.8 FALHAS E ZONAS DE CISALHAMENTO PRESENTES NA REGIÃO 93

5 CONCLUSÃO 94

6 REFERÊNCIAS 97

APÊNDICE 107

ANEXO 1 – FOLHA FRANCA 107
ANEXO 2 – ENSAIOS DE LABORATÓRIO 108

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO INICIAL

Apresenta-se neste trabalho, o resultado de uma prospecção e pesquisa mineral que, originalmente, se destinava identificar, exclusivamente, fontes anômalas e/ou primárias de ouro, porque entre os anos de 1743 e 1781 (Pontes, 1978) foram extraídos 1500 kg de ouro aluvionar nas imediações do distrito de desemboque, além de diamantes, já que Sousa (2022) identificou esse mineral em aluviões do rio Araguari na mesma região (Figura 1).

Figura 1 – Diamantes encontrados em aluvião do rio Araguari

Fonte: Adaptado de Sousa, 2022

Entretanto, conforme será exposto no decorrer deste trabalho, o conteúdo de ouro encontrado ficou abaixo do padrão Clarke e nenhum cristal de diamante foi encontrado. Isso, no entanto, não invalidou o propósito original, e conforme será visto

adiante, outros metais nobres foram encontrados e, possivelmente alguns destes minerais são satélites do diamante.

Devido os estudos aqui presentes, mesmo não tendo sido encontrado, há uma questão em aberto sobre a identificação geográfica para localização das fontes primárias de ouro e diamante no entorno da bacia do alto Araguari. Adicionalmente, novas frentes de trabalho foram abertas, a partir dos resultados ora apresentados, conforme será visto adiante, para continuidade pesquisa de depósitos minerais no entorno da bacia do alto Araguari.

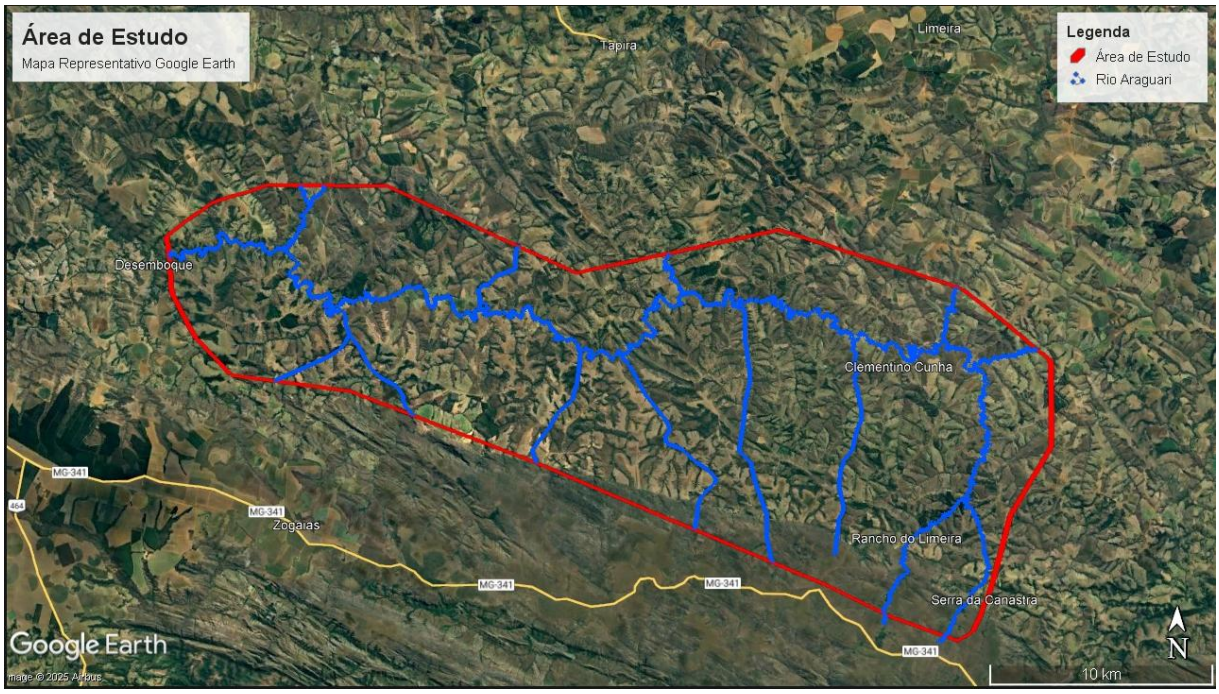
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

De acordo com o relatório do IBRAM (Penido *et al*., 2022), a produção de ouro no Brasil está em constante crescimento ao longo dos últimos anos, sendo incrementada entre os anos de 2020 e 2021, tanto no faturamento quanto na extração. Mesmo assim, existem regiões com possibilidades de reservas desse metal, ainda não estudadas sistematicamente, como é o caso do entorno do rio Araguari, da sua nascente até o distrito de Desemboque-MG, município no qual já houve extração de aproximadamente 1500 kg de ouro, entre os anos de 1743 e 1781 (Pontes, 1978).

A partir de estudos acadêmicos prévios, que corroboram o método hipotético-dedutivo, alguns trabalhos de conclusão de curso, de alunos da engenharia de Minas, sob orientação do prof. Dr. Maurício Antônio Carneiro foram realizados nessa região. Assim, foram identificadas concentrações anômalas de elementos químicos farejadores do ouro, como é o caso do arsênio, relatado em Andrade (2021), também teores promissores de ouro relatado em Queiroz (2022) e diamantes nas aluviões do rio Araguari, nessa mesma localidade (Sousa 2022).

Agora, com um novo aporte de recursos financeiros ao projeto, foi possível ampliar a área de coleta de amostras de sedimento de corrente e sedimento de aluvião do rio Araguari, de sua nascente até o distrito de Desemboque, para localizar concentrações anômalas de metais nobres e prováveis fontes primárias desses metais no entorno do curso fluvial (Figura 2).

Figura 2 - Mapa representativo da área alvo no rio Araguari.



1.3 HIPÓTESE

Para o desenvolvimento deste projeto, escolheu-se a investigação quantitativa de dados, utilizando um estudo de caso, na região do rio Araguari como ponto de interesse, utilizando-se o método hipotético-dedutivo, formulando a hipótese da existência de um depósito mineral e uma fonte primária para os elementos anômalos identificados, com o objetivo de desenvolver um estudo que possa comprová-la.

1.4 PROBLEMATIZAÇÃO

De acordo com o histórico da área, trabalhos acadêmicos e prospectivos realizados na região, há registros de elevadas concentrações de ouro e minerais de

alto valor industrial, como o diamante. No entanto, ainda não foram encontrados os principais locais com essas concentrações em grande porte, e suas origens devido à complexidade geológica envolvida. Considerando esses estudos, são apresentadas algumas questões:

- Qual seria o principal ponto de origem do ouro?
- Há algum outro elemento importante presente em quantidades anormais na região?
- Qual a fonte primária dos diamantes na região?
- Há algum elemento com constância na área?

1.5 JUSTIFICATIVA

Com a crescente demanda por minerais e materiais oriundos da mineração, se faz necessário uma busca por depósitos minerais de diversos elementos estratégicos, já que as jazidas com os maiores teores foram esgotadas ao longo dos anos, sendo a maioria oriunda de fontes secundárias.

Entretanto, ainda há diversos locais no Brasil carentes de estudos prospectivos de detalhe, que abordem de maneira essencial a região deste trabalho, onde já contém indícios de anomalias de alguns elementos, realizados em trabalhos anteriores, os quais ainda não foram determinados sua origem e fonte primária.

1.6 OBJETIVO GERAL

A pesquisa realizada, teve por objetivo realizar um estudo de prospecção mineral em amostras de sedimentos de corrente e aluvião, provenientes do rio Araguari por meio da da aquisição, interpretação, compilação e reinterpretação de

dados disponíveis, de forma a contribuir com o avanço do conhecimento e auxiliar trabalhos futuros seja em pesquisa científica ou exploração mineral.

1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Identificar, com base nos dados levantados, áreas potenciais para pesquisa e exploração de ouro e metais nobres na região estudada;

b) Identificar teores anômalos de metais nobres através de análises químicas e mineralógicas;

c) Realizar um tratamento estatístico das análises químicas, assim como elaborar um gráfico de *background* da região alvo;

d) Produzir mapas representativos da geologia e topografia da região, incluindo os dados feitos em laboratório;

e) Correlacionar os resultados obtidos para, se possível, determinar a origem do ouro, outros metais nobres e bens minerais encontrados.

Assim, esta pesquisa científica se enquadra dentro das ciências aplicadas, com o intuito de gerar conhecimento para aplicação prática, abordando tema e interesses locais. Já com referência aos campos da ciência, pode ser considerada interdisciplinar, pois contém uma diversidade de disciplinas e inclusão de conhecimentos, sendo uma pesquisa quantitativa, focada na mensuração de fenômenos, envolvendo a coleta e análise de dados numéricos e aplicação de testes estatísticos (Collis, Hussey, 2005).

Em relação aos objetivos, pode-se classificá-la como explicativa, pois visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos acontecimentos, além de caracterizar-se pela utilização do método experimental. É considerada uma metodologia indicada para orientar a coleta de dados em pesquisas que procuram estudar a influência de determinados fatores na determinação de ocorrência de fatos ou situações. (Gil, 2006; Dencker, 2000).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROSPECÇÃO E PESQUISA MINERAL

Como se sabe, a Pesquisa e Prospecção Mineral é um conjunto de técnicas, ferramentas e conhecimentos que são utilizados para o estudo e descoberta de depósitos minerais, os quais se encontram diversas áreas específicas como Mineralogia, Estatística Aplicada, Petrografia, Geologia Estrutural, dentre outras (Cavalcanti e Rocha, 2010). Os depósitos minerais são reconhecidos por meio de rochas e minerais que contém elementos de interesse e metais nobres (tabela 1).

Tabela 1 - Alguns metais nobres e seus minerais metálicos

Elementos e respectivos símbolos químicos	**Minerais mais comuns e respectivas composições químicas**	**Elementos e respectivos símbolos químicos**	**Minerais mais comuns e respectivas composições químicas**	**Elementos e respectivos símbolos químicos**	**Minerais mais comuns e respectivas composições químicas**	**Elementos e respectivos símbolos químicos**	**Minerais mais comuns e respectivas composições químicas**
Alumínio, Al	Bauxita, mistura de hidróxidos de alumínio e minerais argilosos	Manganês, Mn	Pirolusita, MnO_2	Cromo, Cr	Cromita, (Fe, Mg) Cr_2O_4	Estanho, Sn	Cassiterite, SnO_2 Estannite, Cu_2FeSnS_4
Antimônio, Sb	Estibinita (antimoni-te), Sb_2S_3 Jamesoni-te, $Pb_4FeSb_6S_{14}$	Mercúrio, Hg	Cinábrio, HgS	Cobalto, Co	Cobaltita, CoAsS	Titânio, Ti	Rutilo, TiO_2 Ilmenita, $FeTiO_3$
Arsênio, As	Arsenopirita, FeAsS	Molibdênio, Mo	Molibdenite, MoS_2	Cobre, Cu	Cobre nativo, Cu Cuprita, Cu2O Calcopirita, CuFeS2 Calcosita, Cu2S Malaquita, Cu2[(OH)2CO3] Azurita, Cu3[OH CO3]2 Covelita, CuS	Tungstênio, W	Volframita, (Fe, Mn)WO_4 Schelita, $CaWO_4$
Berílio, Be	Berilo, $Be_3Al_2Si_6O_{18}$	Níquel, Ni	Pentlandita, (Ni, $Fe)_9S_8$ Niquelina, NiAs Cloantita, (Ni, Co) As_3 Garnierita, (Ni, $Mg)_6[(OH)_8Si_4O_{10}$	Ferro, Fe	Magnetita, Fe_3O_4 Hematita, Fe_2O_3 Limonita, FeOOH-nH_2O Siderita, $FeCO_3$ Pirite, FeS_2	Urânio, U	Uraninita, UO_2 Torbernita, $Cu(UO_2)2P_2O_8$-$12H_2O$ Autunita, $Ca(UO_2)_2P_2O_8$-$8H_2O$
Bismuto, Bi	Bismuto nativo, Bi Bismutinite, Bi_2S_3 Bismite, Bi_2O_3	Ouro, Au	Ouro nativo, Au Silvanite, $AgAuTe_4$ Calaverite, $AuTe_2$	Chumbo, Pb	Galena, PbS Anglesite, $PbSO_4$ Cerussite, $PbCO_3$	Vanádio, V	Descloizita, Pb(Zn, Cu)[OH VO_4] Vanadinita, $Pb_5[Cl\ (VO_4)_3]$
Cádmio, Cd	Greenoc-kita, CdS	Prata, Ag	Prata nativa, Ag Argentita, Ag_2S Silvanita, $AgAuTe_4$ Estefanita, Ag_5SbS_4	Magnésio, Mg	Magnesita, $MgCO_3$	Zinco, Zn	Zincita, ZnO Esfalerita (blenda), ZnS Smithsonita, $ZnCO_3$

Fonte: Adaptado de Cavalcanti, Rocha, 2010.

Sendo assim, os trabalhos de Prospecção e Pesquisa Mineral podem ser sequenciados da seguinte forma:

- Seleção de alvos (anomalias);
- Levantamentos geológicos, geofísicos e geoquímicos;
- Planejamento;
- Execução e interpretação de trincheiras, poços de pesquisa e sondagem;
- Quantificação de reservas minerais;
- Determinação da viabilidade técnica e aproveitamento econômico.

Já os denominados Depósitos Minerais, são aqueles com concentrações/acúmulos anômalos locais de rochas ou minerais úteis para uso, sendo metálicos ou não-metálicos. A Jazida Mineral é o termo referente a quando o depósito mineral pode ser aproveitado economicamente, e caso não seja possível seu aproveitamento econômico, denomina-se de Ocorrência Mineral.

2.2 ANOMALIAS GEOQUÍMICAS

As anomalias são definidas como concentrações anormais de um elemento químico ou mineral presente na crosta terrestre, ao mesmo passo que as concentrações normais são conhecidas como Clarke (tabela 2).

A tabela 2 (adaptada de Mason e Moore, 1982) apresenta os valores de Clarke (concentrações normais), que estão relacionados a abundância dos elementos químicos presentes na crosta terrestre, de forma a comparar com os resultados obtidos em laboratório, bem como auxiliar nas demais interpretações acerca da região, através das anomalias (valores acima do Clarke).

Tabela 2 - Concentração de elementos na crosta terrestre

Número atomico	Elemento	Concentração na crosta (PPM)	Número atômico	Elemento	Concentração na crosta (PPM)	Número atômico	Elemento	Concentração na crosta (PPM)	Número atômico	Elemento	Concentração na crosta (PPM)
1	H	1.400	24	Cr	100	46	Pd	0.01	68	Er	2.8
3	Li	20	25	Mn	950	47	Ag	0.07	69	Tm	0.5
4	Be	2.8	26	Fe	50.000	48	Cd	0.2	70	Yb	3.4
5	B	10	27	Co	25	49	In	0.1	71	Lu	0.5
6	C	200	28	Ni	75	50	Sn	2	72	Hf	3
7	N	20	29	Cu	55	51	Sb	0.2	73	Ta	2
8	O	456.000	30	Zn	70	52	Sb	0.2	74	W	1.5
9	F	625	31	Ga	15	53	I	0.5	75	Re	0.001
11	Na	28.300	32	Ge	1.5	55	Cs	3	76	Os	0.005
12	Mg	20.900	33	As	1.8	56	Ba	425	77	Ir	0.001
13	Al	81.300	34	Se	0.05	57	La	30	78	Pt	0.005
14	Si	277.000	35	Br	2.5	58	Ce	60	79	Au	0.004
15	P	1.050	37	Rb	90	59	Pr	8.2	80	Hg	0.08
16	S	260	38	Sr	375	60	Nd	28	81	Tl	0.5
17	Cl	130	39	Y	33	62	Sm	6	82	Pb	13
19	K	25.900	40	Zr	165	63	Eu	1.2	83	Bi	0.2
20	Ca	36.300	41	Nb	20	64	Gd	5.4	90	Th	7.2
21	Sc	22	42	Mo	1.5	65	Tb	0.9	91	U	1.8
22	Ti	4.400	44	Ru	0.01	66	Dy	3			
23	V	135	45	Rh	0.005	67	Ho	1.2			

Fonte: adaptado de Mason e Moore, 1982

Considerando uma região em particular para estudo, a concentração normal é chamada de *Background*, enquanto o teor que limita a concentração normal e a anomalia, é conhecido como Limiar. Essa definição de valores para cada um destes termos vai depender de uma série de fatores, como as amostras a serem estudadas, desempenho do bem mineral no mercado e demais variáveis.

2.3 CONCENTRAÇÕES DE ELEMENTOS QUÍMICOS

Primeiramente, utilizamos o termo mineral-minério, este sendo considerado a substância mineral de interesse econômico, enquanto a ganga é a porção não útil ou possível subproduto de uma mesma rocha encaixante, contendo os minerais diferentes do mineral de interesse.

A rocha que hospeda o mineral-minério é chamada de minério, enquanto a rocha em contato com ele é chamada de encaixante. Assim, as rochas encaixantes e as porções do minério que não contém o mineral de interesse são chamadas de

estéril.

O Teor é uma relação entre a quantidade de mineral-minério e minério (equação 1), ou seja,

$$T = \frac{MM}{M} \quad (1)$$

onde MM = Mineral-Minério, M=Minério e T = Teor. As unidades de teor mais utilizadas em Pesquisa Mineral são: %, g/ton, ppm, ppb, Kg/ton.

O *Cut-Off* ou Teor de Corte é considerado o teor mínimo da substância útil que permite sua extração econômica, enquanto o Teor Crítico é o teor limite entre lucro e prejuízo de uma atividade econômica na mineração. A tabela 3 apresenta algumas transformações de unidades que são usualmente utilizadas na mineração, enquanto a tabela 4 apresenta o fator de enriquecimento de alguns elementos, bem como o teor de corte destes.

Tabela 3 - Relações entre unidades de teor

1 ppm	0,0001%
1 ppm	1000 ppb
1 ppm	1 g/ton

Tabela 4 - Fator de enriquecimento de alguns elementos

Metal	Abundância na Crosta Terrestre (%)	Cut off graus (%)	Fator de enriquecimento
Hg	0,0000089	0,2	22500
Pb	0,0013	4	3100
Sn	0,00017	0,5	2900
W	0,00011	0,2	1800
Au	0,00000035	0,0003	900
Mo	0,00013	0,1	800
U	0,00017	0,1	600
Zn	0,0094	3	300
Cu	0,0063	0,3	50
Ni	0,0089	0,3	35
Fe	5,8	30	5
Al	8,3	30	4

Fonte: Adaptado de Neto, Rocha, 2010

Dessa forma, para que um depósito mineral seja aproveitável economicamente, é necessário que o teor seja igual ou acima do *cut off*, e que esteja presente com um volume ou quantidades significantes.

2.4 ARCABOUÇO GEOLÓGICO NA BACIA DO RIO ARAGUARI

Uma bacia hidrográfica compreende-se como uma região ou unidade da superfície terrestre, limitada por divisores topográficos que recolhem a precipitação, age como reservatório de água e sedimentos, derivando-os em uma única seção fluvial, denominada foz.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2020, a bacia hidrográfica do Rio Araguari está localizada no sudoeste do estado de Minas Gerais, a qual compreende uma área com aproximadamente 22.015 km², distribuída em 25 municípios e com uma população estimada em 1,6 milhões de habitantes.

Seus principais afluentes são os rios Quebra Anzol e Claro, e suas nascentes localizadas nas altas superfícies planas da Serra da Canastra, a cerca de 1.400 metros de altitude rumo leste. Abaixo segue a localização da região (Figura 3) assinalada em vermelho.

Segundo Rodrigues (2002), em seu alto curso, a geologia regional tem como embasamento xistos e quartzitos do Pré-cambriano Médio, relativos ao grupo Canastra, recobertos no seu médio curso por sedimentos mesozoicos da Bacia do Paraná. Já no baixo curso, o Rio Araguari corta intercalações de arenito e basalto da Formação Serra Geral, o qual chega a erodir gnaisses e granitos do Pré-cambriano inferior no fundo do vale. Nos planaltos tabulares e relevos residuais são encontrados sedimentos cenozoicos que recobrem terraços estruturais.

Figura 3 - Localização Bacia do Araguari

Fonte: adaptado de Codevasf, 2020

2.5 GEOLOGIA - GRUPO CANASTRA

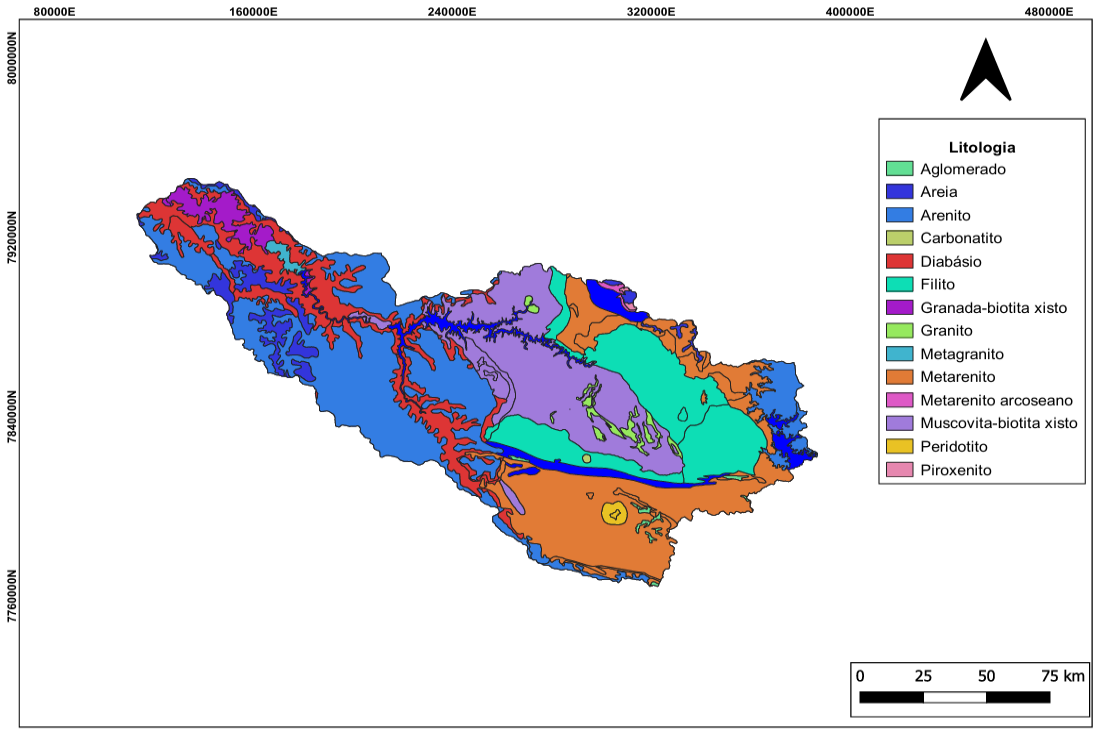
A maior área de ocorrência do Grupo Canastra está na Folha Sacramento, e consequentemente nas folhas Perdizes e Rifaina, na qual há descrições mais detalhadas acerca da sua composição geológica e topográfica nas Folhas São Gotardo, Campos Altos, Ibiá e Araxá.

Segundo Barbosa (1955), a Formação Canastra foi definida na região constituída pelas rochas metamórficas que ocorrem ao leste e sul de Araxá e ao longo da Serra da Canastra, a qual é constituída por quartzitos e diversos filitos, no geral acinzentados (grafitosos) ou prateados. Foi considerada mais jovem e posicionada sobre o Grupo Araxá, devido uma discordância do tipo não conformidade, materializada sobretudo por uma diferença de grau metamórfico. Almeida (1967), designou-a Grupo Canastra, independente da unidade Araxá, pois foi possível a individualização de três subunidades mapeáveis, informalmente denominadas de formações basal, intermediária e superior. Sendo assim, esse grupo tem sido utilizado para denominar rochas metamórficas de baixo grau que ocorrem em uma faixa

contínua entre o sudoeste de Minas Gerais e o oeste e centro de Goiás.

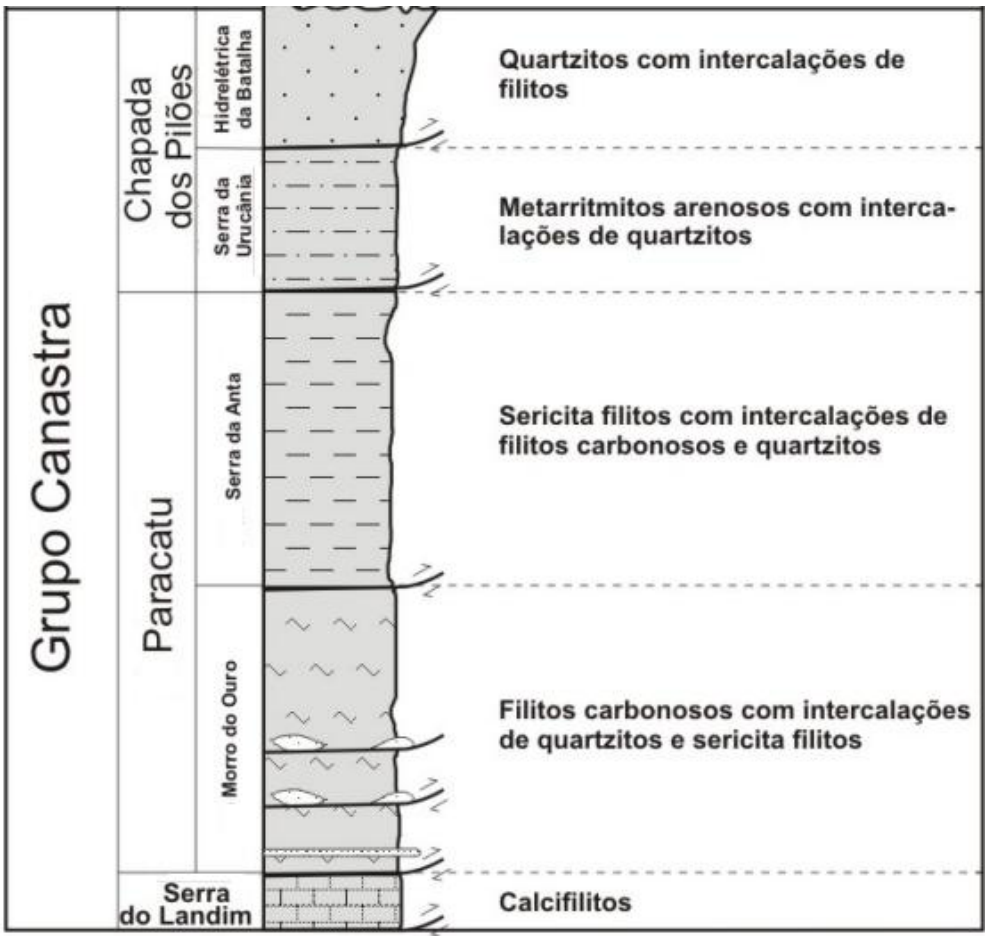
De acordo com Pereira (2014), a espessura média da sequência de filitos e quartzitos varia consideravelmente desde a porção norte, onde sustenta chapadões de grande extensão, até a porção sul, onde ocorreu encurtamento crustal por força da tectônica compressiva imposta a área, no qual, a sequência completa pode atingir cerca de 2.000 metros de espessura. O conjunto compreende uma sequência iniciada por filitos em direção ao topo, que apresentam aumento progressivo da contribuição arenosa, passando a quartzo-filitos, quartzitos micáceos, quartzitos e ortoquartzitos que sustentam as escarpas das serras e chapadões. Toda a sequência apresenta uma gradação lateral e vertical entre pacotes de filito e quartzito, e cada pacote apresenta internamente, a mesma gradação em escala menor, o que evidencia uma ritmicidade do conjunto. Esta variação faciológica, dificulta o estabelecimento de uma coluna litoestratigráfica única para a área, pois no sul, a sequência rítmica é constituída por uma sucessão gradativa de filitos até os ortoquartzitos superiores, enquanto no norte, a mesma sequência apresenta níveis expressivos de filitos próximo do topo. Na Figura 4, são representados os tipos de rochas presentes na região, com predominância de arenitos, metarenitos, filitos e muscovita-biotita xistos.

Figura 4 - Rochas presentes na região



Os filitos e quartzo-filitos se caracterizam por coloração prateada quando frescos, passando a avermelhados quando intemperizados e localmente, ocorrem níveis decimétricos de quartzo micáceo e ortoquartzito fino. O pacote de quartzitos compreende desde quartzitos micáceos laminados até ortoquartzitos maciços, sendo comuns intercalações de níveis centimétricos de clorita muscovita filito em quase todos os estratos. No geral, os quartzitos apresentam granulometria fina à média, e podem ocorrer quartzitos hematíticos finos associados a porção superior da sequência, além de quartzitos de granulometria média com piritas euédricas de até 0,5 cm (Pereira, 2014). A Figura 5 representa esquematicamente a estratigrafia do Grupo Canastra.

Figura 5 - Coluna estratigráfica do Grupo Canastra



Fonte: adaptado de Rodrigues, 2010

A composição mineralógica de todas estas rochas é basicamente a mesma,

com uma leve diferença entra a porcentagem de quartzo e filossilicatos. Em termos quantitativos, a contribuição de quartzo situa-se em torno de 20% para os filitos e de 20 a 50% para os quartzo filitos. As rochas contendo 25 a 50% de filossilicatos foram denominadas quartzitos micáceos, as rochas entre 5 e 25% de quartzitos como ortoquartzitos, e aquelas com menos de 5% de micas como clorita. A mineralogia essencial das rochas é constituída por quartzo, sericita, muscovita, clorita e plagioclásio, este último raramente ultrapassando 5% da composição, e apresentando alterações para sericita e carbonato. Os minerais acessórios são opacos, zircão, turmalina e rutilo, normalmente com formas arredondadas, demonstrando origem detrítica. O rutilo quase sempre está leucoxenizado e alguns cristais euédricos de turmalina e pirita aparecem como minerais neoformados (que resultam da precipitação de substâncias dissolvidas nas águas que percolam as rochas).

Pereira (2014), ressalta que o metamorfismo no Grupo Canastra é do tipo regional de baixo grau, na fácies xisto verde, zona da clorita, enquanto a paragênese mineral é formada pelos minerais quartzo, sericita/muscovita, clorita e pirita. Estruturas sedimentares encontram-se melhor preservadas na porção norte da área, onde a deformação apresenta-se com menor intensidade, enquanto no sul foram totalmente extinguidas pela deformação. A seguir são apresentadas as formações do grupo Canastra:

- A Formação Inferior inicia-se com filitos passando a conter intercalações métricas e sucessivas de filitos e quartzo filitos, sobrepostas por espesso pacote de quartzitos micáceos, recoberto por nova sucessão de filitos e quartzo filitos intercalados;
- Já a Formação Intermediária contém quartzitos micáceos, verificando-se estruturas sedimentares do tipo *hummocky* com comprimento de onda da ordem de 2 metros, amplitudes decimétricas e abundantes truncamentos internos com variações na espessura dos estratos;
- A Formação Superior é composta de estratificações cruzadas tabulares, decimétricas a métricas, com laminações sublinhadas por minerais opacos. São frequentes nas unidades quartzíticas superiores, assim como marcas ondulares, além de identificadas também, estratificação cruzada invertida,

laminações sinuosas do tipo flaser e estruturas de carga do tipo *quick sands*.

A característica fundamental das rochas do Grupo Canastra é a granocrescência ascendente, verificada na gradação dos estratos argilosos da base, até estratos arenosos nas porções superiores. Estruturas sedimentares associadas, tais como *hummocky*, estratificações cruzadas e laminações *flaser*, fortalecem a proposição de um ambiente deposicional em plataforma marinha, durante ciclo regressivo, ao mesmo passo que as estratificações cruzadas e marcas de ondas, descritas nos quartzitos superiores, são estruturas geradas em ambiente dominado pela ação de ondas e de correntes de marés, enquanto as laminações *flaser*, presentes próximo ao topo da sequência, são estruturas características de planícies de marés (Reineck e Singh 1973; Walker *et al*., 1984).

Paulsen *et al*. (1974) sugerem que a transição de filitos para xistos neste grupo, indica um aumento do grau metamórfico de norte a sul dentro da sequência Canastra, fato que foi posteriormente confirmado por Silva (2003), Seer e Moraes (2010) e Seer *et al*. (2015).

Dardenne (2000) informa que esse grupo é geralmente formado por quartzitos e filitos e, consequentemente, por rochas carbonáticas e carbonáceas, metamorfisados em fácies xisto verde. Como a região sofreu intensa deformação, a estratigrafia do Grupo Canastra ainda não é totalmente compreendida, e apesar do conhecimento geológico sobre as rochas presentes na região tenha evoluído ao longo dos anos, muitas áreas do grupo, situadas entre as Serras da Bocaina e Canastra, ainda carecem de detalhamento geológico. Barbosa *et al*. (1970) elaborou o primeiro mapa geológico da região na escala de 1:250.000, e os contornos geológicos definidos pelos autores foram mantidos no mapa geológico do estado de Minas Gerais, este elaborado por Pedrosa *et al*. (1994), e no mapeamento geológico na escala de 1:100.000, realizado por Seer (1999). Nas Figuras 6 e 7 são representadas a litologia e as cidades que compõe a Serra da Canastra.

A idade de deposição das rochas do Grupo Canastra ainda não foi determinada, mas de acordo com datações de U-Pb realizadas em zircões detríticos na região de Araxá por Valeriano *et al*. (2004) e Paracatu (Rodrigues *et al*., 2010), nos permitem deduzir essa idade em aproximadamente 1040 Ma.

Figura 6 - Litologia presente na Serra da Canastra

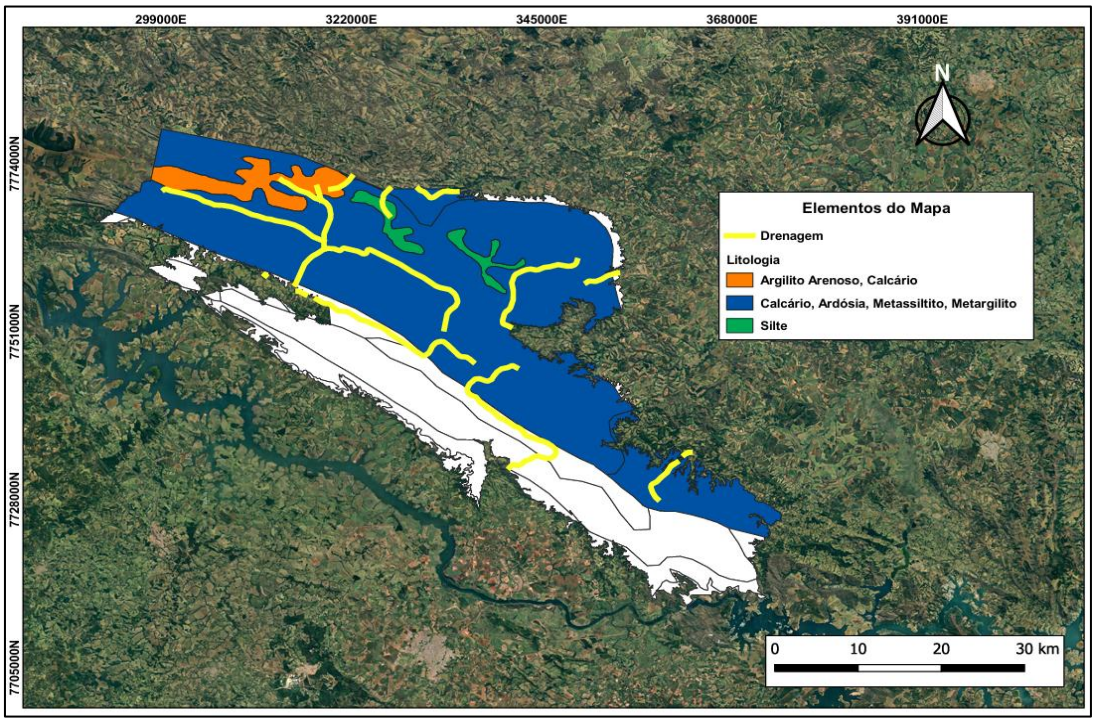
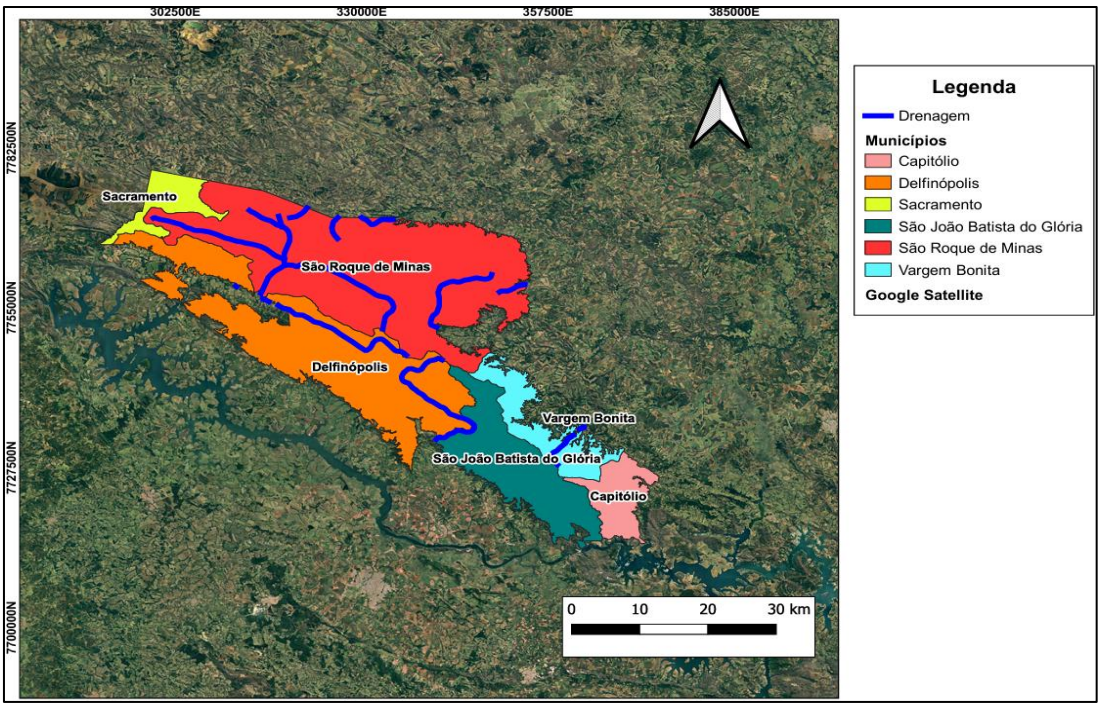


Figura 7 - Limite de municípios na Serra da Canastra



2.6 HISTÓRICO DO DIAMANTE NO BRASIL

A primeira extração de diamantes no Brasil aconteceu por volta do início do século XVIII em Minas Gerais (Reis, 1959; Barbosa, 1991; Chaves e Cardoso, 2003) com lavras realizadas em fontes secundárias. Dois séculos depois descobriram-se os primeiros kimberlitos brasileiros na porção oeste do estado.

De acordo com Guimarães (1955) e Barbosa (1991), a primeira rocha teria sido recuperada em 1714 por Francisco Machado da Silva nas lavras de ouro do rio Pinheiro, no Arraial do Tejuco, hoje a atual Diamantina. Barbosa (1991) ainda afirma que outros diamantes teriam sido encontrados posteriormente em vários garimpos de ouro da região, próximo dos córregos Mosquito e Morrinhos. Reis (1959), ressalta que esses minerais eram diamantes legítimos, pois alguns conhecedores de tal gema, Sebastião Leme do Prado e um frade (monge) confirmaram, ambos que estiveram nas minas de diamante de Golconda, na Índia. Todavia, Barbosa (1991) sugeriu que essa confirmação só foi possível após uma das rochas ter sido lapidada, a qual foi presenteada ao capitão João de Almeida e Vasconcelos.

Após se confirmar a legitimidade da rocha, a extração de diamantes começou a ser praticada de forma clandestina por escravos, seus senhores e garimpeiros. De acordo com Barbosa (1991), Chaves e Cardoso (2003), os diamantes recuperados eram contrabandeados para Europa e comercializados como se procedessem da Índia. Lima (1945) apud Barbosa (1991) mencionam que a Coroa Portuguesa só teve real conhecimento da extração de diamantes em Minas Gerais por volta de 1730, quando as lavras já tinham se espalhado e a produção era tão grande que a clandestinidade se tornava insustentável.

Nessa época, a Coroa Portuguesa na tentativa de combater às lavras e garimpos ilegais, criou o Distrito Diamantino do Serro Frio, o qual possuía administração independente e era reportado diretamente a Lisboa (Chaves e Cardoso, 2003). E consequentemente a essa fiscalização, muitos escravos e garimpeiros foram buscar novas áreas garimpáveis, alguns deles partiram ainda na primeira metade do século XVIII para o oeste, descobrindo diamantes nos rios Abaeté, Indaiá e Borrachudo, afluentes da margem oeste do rio São Francisco (Barbosa, 1951). Entre

1745 e 1772 vigorou o regime de Contratos, que de acordo com Chaves e Cardoso (2003), uma pessoa com grandes posses em Portugal, conhecida como contratador de diamantes, tinha privilégio do monopólio da lavra, pagando a Coroa por número de escravos que trabalhavam em suas jazidas. Mesmo assim, a corrupção e o contrabando continuavam em grandes proporções.

No ano de 1772, a Coroa Portuguesa criou a companhia estatal denominada Real Extração, a qual seria responsável pelo controle quase total da lavra de diamantes na região de Serro Frio, de forma a diminuir ou acabar com a extração ilegal e o contrabando dessas gemas. Nessa segunda metade do século XVIII, o Brasil atingiu seu pico de produção, se destacando no cenário mundial como maior produtor de diamantes e assim permanecendo até meados do século XIX. Segundo Chaves e Cardoso (2003), garimpeiros e escravos que trabalhavam nas lavras do Arraial do Tejuco migraram para norte e descobriram diamantes na região de Grão Mogol. Eles também relataram um artigo publicado em 1792 de José Bonifácio de Andrada e Silva, o Patriarca da Independência brasileira, mencionando a ocorrência de diamantes no rio Itacambiruçu, nessa mesma região. Vale salientar que foi nessa região onde foram descobertos pela primeira vez no mundo diamantes em uma rocha, a tal Pedra Rica que corresponde a conglomerados monolíticos diamantíferos intercalados aos itacolomitos de Grão Mogol (Chaves e Cardoso, 2003). Já em 1832, a Real Extração paralisou suas atividades, com a população local assumindo o controle da extração de diamantes na região.

Durante a década de 1850, descobriram-se grandes rochas como a Estrela do Sul em 1853, e o Dresden inglês em 1857, cujos pesos brutos determinados foram de aproximadamente 52,3 e 24 gramas relativamente. Ambos impactaram positivamente a imagem dos diamantes brasileiros no comércio exterior, no entanto, segundo Chaves e Cardoso (2003), eles ainda eram vistos com qualidade inferior aos de outras partes produtoras no mundo. No ano de 1870, foi descoberto o primeiro pipe kimberlítico na África do Sul, e logo iniciou-se a produção de diamantes em fontes primárias, levando ao declínio dos garimpos em fonte secundária no mundo, incluindo as lavras no Brasil. Mesmo com o declínio na comercialização, importantes descobertas de depósitos e grandes gemas foram realizadas no Brasil nos anos que se seguiram, uma delas foi a descoberta e exploração do depósito de Romaria no

oeste mineiro durante o ano de 1888, região conhecida como antiga Água Suja (Chaves e Cardoso, 2003). Esse depósito foi ativamente explorado até a década de 1980.

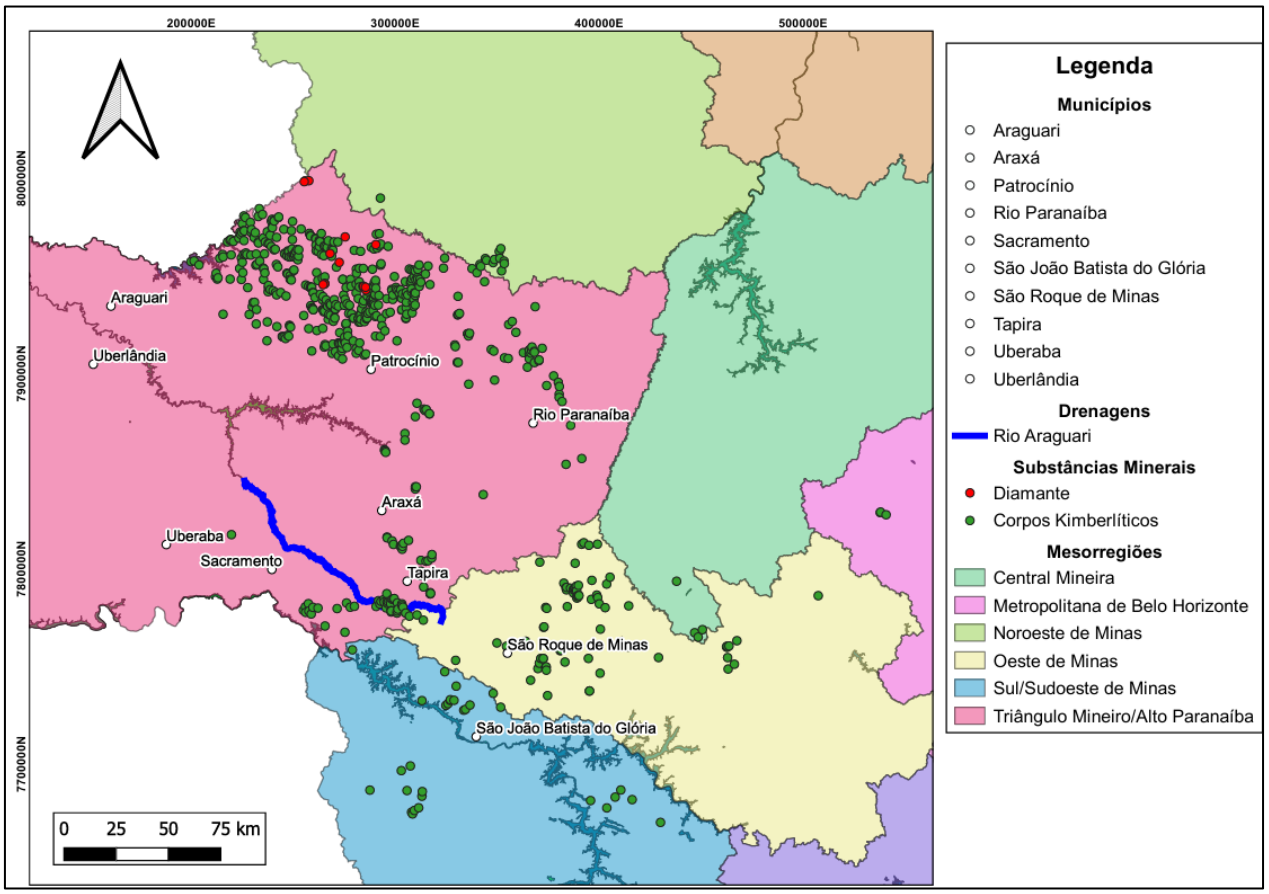
Durante a primeira metade do século XX, houve frequentes descobertas de gemas grandes (acima de 20 gramas) e de alta qualidade, principalmente os seguintes diamantes: Presidente Vargas (1453,2 gramas), maior diamante brasileiro (Figura 8) e um dos maiores do mundo, Darcy Vargas (92 gramas), Presidente Dutra (8153,6 gramas), e vários outros maiores que 20 gramas, os quais atraíram garimpeiros e empresas de exploração e mineração para Minas Gerais. Segundo Barbosa (1951), em 1967 começou a extração em grande escala no leito do rio Jequitinhonha, no norte de Diamantina, através das dragas da empresa Tejucana, empresa que explorava aluviões recentes e sub-recentes no trecho de 110 km a jusante da vila de Mendanha.

Figura 8 - Réplica do diamante Vargas

Fonte: em.br

A Figura 9 apresenta a distribuição espacial das principais drenagens diamantíferas e ocorrências de diamante conhecidas próximas da região de estudo, na escala 1:1.500.000 atualmente.

Figura 9 - Principais corpos kimberlíticos em MG



Atualmente no Brasil, a ocorrência de diamantes tem representação em todas as regiões políticas, com cerca de 29 áreas diamantíferas desde Roraima ao Paraná, e de Rondônia a Minas Gerais (Svisero, 1995). Essas áreas representam predominantemente depósitos sedimentares, antigos ou recentes, podendo ocorrer próximos a corpos kimberlíticos na maioria dos casos. Minas Gerais tem um papel essencial papel na história do diamante no país, devido a imensa quantidade de rochas encontradas e sua produção, sendo um consenso entre os pesquisadores, a combinação da ocorrência de depósitos sedimentares pré-cambrianos diamantíferos, com o intenso e anômalo magmatismo de afinidade alcalina-carbonatítica de idade cretácea, este o principal motivo para tal concentração de diamantes secundários no estado. As duas regiões com maior concentração de diamantes no estado são: o Arco do Alto Paranaíba e a Serra do Espinhaço Meridional. Colocando em ênfase o estudo das populações de diamantes, Chaves *et al*. (2008) e Benitez (2009) distinguiram

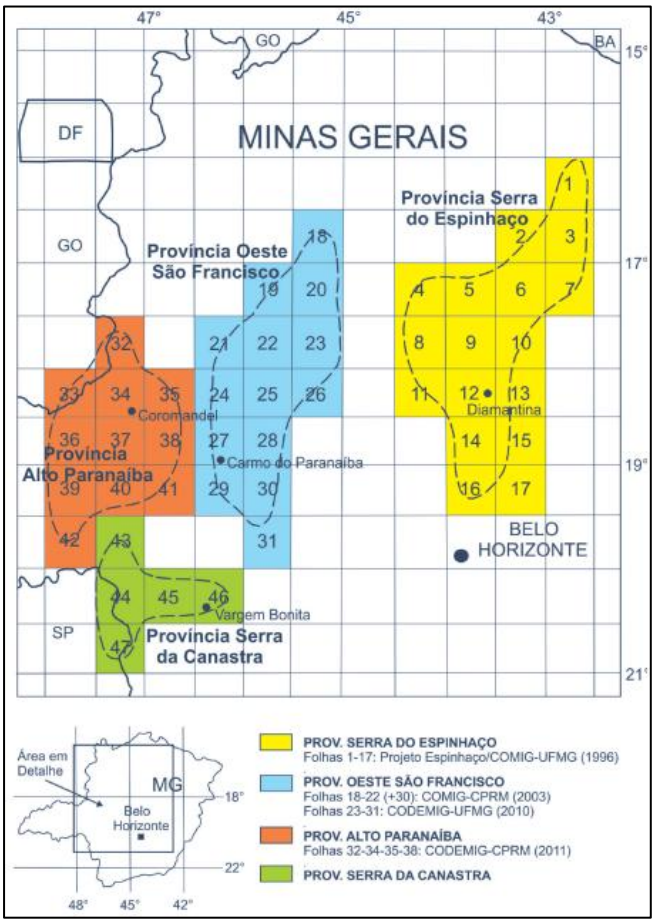
quatro províncias diamantíferas no estado, sendo elas o Alto Paranaíba, Noroeste do São Francisco, Serra da Canastra e Serra do Espinhaço (Figura 10). A subdivisão dessas províncias em distritos e campos diamantíferos resulta do conhecimento geológico acumulado acerca de cada região, ao mesmo passo que esse conhecimento ainda é deficiente para a maioria, com exceção da Província da Serra do Espinhaço.

Hoje o estado conta com aproximadamente 775 ocorrências, sendo o primeiro do Brasil em quantidade de corpos de afinidade máfica-ultramáfica alcalina, representados por kimberlitos, kamafugitos, lamproítos, lamprófiros e metavulcânicas, e dentre eles há diversas intrusões que são portadoras de diamantes.

As regiões diamantíferas do estado abrangem extensas áreas distribuídas nas porções centro-norte, estas junto à Serra do Espinhaço, região a qual foi responsável pelo Brasil ter atingido o posto de maior produtor de diamantes do mundo durante os séculos XVIII e XIX, centro-sul na região da Serra da Canastra e oeste próximo a Coromandel. Na região oeste, o destaque se dá por apresentar as maiores concentrações de diamantes grandes (cerca de 10 gramas) e de corpos kimberlíticos conhecidos no país.

Há diversos registros de trabalhos de pesquisa em áreas kimberlíticas e diamantíferas do estado, os quais vem sendo desenvolvidos seja por empresas privadas, universidades e instituições de pesquisa. O foco desses grupos de pesquisas é pela motivação e entendimento do modelo genético que melhor explique a origem do diamante nessa região, além de levar a descoberta da sua fonte primária.

Figura 10 - Províncias Diamantíferas em Minas Gerais



Fonte: CHAVES.

2.7 PROVÍNCIA DIAMANTÍFERA DA CANASTRA

Província Mineral é um conceito que envolve regiões extensas em termos de metalogenia, geralmente na ordem de dezenas de milhares de quilômetros quadrados, onde um determinado bem mineral pode ser encontrado em relação a de que seus depósitos possuam afinidades geográficas, temporais e de ambiência tectônica (Kun, 1963; Petrascheck, 1965; Clifford, 1966). Para o diamante, há outra característica fundamental para a constituição geográfica de uma província, relacionando os aspectos mineralógicos ou a assinatura mineralógica (segundo

Chaves e Benitez, 2005) das populações de diamantes, integralmente ou em parte, encontradas sobre tal contexto. A província ainda comporta subdivisões menores, constituindo os distritos minerais, com extensões da ordem de milhares de quilômetros quadrados, e os campos minerais, com extensões de centenas de quilômetros quadrados.

A Província Diamantífera Serra da Canastra ocorre sobre os metassedimentos da porção sul da Faixa Brasília, a oeste e sudoeste do Cráton São Francisco (Chaves *et al*., 2008). Englobando a área que vai da Serra da Canastra até o município de Franca (SP), esta Província pode ser dividida em dois distritos diamantíferos principais: Alto São Francisco e Médio Rio Grande (Chaves *et al.,* 2008; Benitez, 2009). Diversas áreas diamantíferas são identificadas em depósitos aluvionares no Distrito Diamantífero do Alto São Francisco, destacando-se as de: Vargem Bonita, rio Santo Antônio e rio Samburá (São Roque de Minas), na própria bacia hidrográfica do São Francisco. O maior diamante foi encontrado 3 km a jusante da Casca d'Anta e pesou 22 gramas; 12 km a jusante foi achada uma pedra com 15,2 gramas; outras, com 8 e 4,6 gramas, foram recuperadas nos arredores de Vargem Bonita (Barbosa *et al*., 1970).

A região foi palco no Cretáceo Inferior, de importante evento magmático alcalino-ultrabásico, ao qual se associam numerosas intrusões kimberlíticas e de rochas parentais, formando um cluster (substrato geológico) com cerca de 40 corpos. Tal província se ressalta ainda no contexto geoeconômico do diamante no Brasil, por abranger a primeira reserva comprovada e dimensionada em uma rocha-fonte primária, no kimberlito Canastra-1, município de São Roque de Minas, assim como um outro corpo próximo, o kimberlito Canastra-8 em Delfinópolis, com grande potencial de aproveitamento econômico imediato, ambos no Distrito do Alto São Francisco. Essa importância tem estimulado diversos novos estudos, efetuados neste século depois do anúncio de tais descobertas (eg., Garcia, 2004; Cookemboo, 2005; Pereira e Fuck, 2005; Bologna *et al*., 2006; Benitez e Chaves, 2007; Chaves e Benitez, 2007; Menezes e Garcia, 2007).

Há pelo menos cinco populações distintas de diamantes que foram verificadas nesta província, sendo a mais característica e com maior valor agregado, presente nos kimberlitos Canastra-1, Canastra-8, e na zona do Rio São Francisco até as

imediações de Vargem Bonita, assim como nos depósitos dos rios Santo Antônio em Delfinópolis e Misericórdia-Santa Tereza em Ibiá, que tipificam o diamante do tipo Canastra. No Rio Santo Antônio em São Roque de Minas, a ocorrência de diamantes coloridos (fancies) como os da região do Rio Abaeté, inexistentes na área anterior, indica que os corpos kimberlíticos amostraram sítios diferenciados do manto superior.

No Rio Quebra-Anzol ao norte, a tipologia dos diamantes é muito semelhante à da região de Coromandel, sendo rombododecaédricos altamente dissolvidos constituindo mais de 80% dos lotes. Uma quarta população refere-se à do Rio Samburá, local onde ocorre o predomínio absoluto de diamantes pequenos (<0,04 gramas) e de forma rombododecaédrica moderadamente dissolvida, de grande semelhança com a da Serra do Espinhaço, região de Diamantina, no norte de Minas Gerais, onde os diamantes foram reciclados em vários ciclos geológicos (Chaves, 1997). Por fim, a população do Distrito do Médio Rio Grande corresponde a uma grande diversidade de tipos e tamanhos, provavelmente porque se originou dessas regiões anteriormente descritas.

A assinatura dos minerais indicadores de kimberlitos diamantíferos na Faixa Brasília contrasta com a da maioria das outras áreas produtoras de diamantes, devido a ocorrência muito restrita de granadas G-10, subcálcicas e ricas em cromo. Embora incomuns, tais assinaturas de piropo são encontradas em algumas outras províncias diamantíferas, como nos clusters de Banankoro e Bouro, no Mali, Oeste Africano (Skinner *et al*., 2004). Com a explotação do kimberlito Canastra-1, deve-se também possibilitar e incentivar a pesquisa científica em relação ao manto superior sob o Brasil, praticamente desconhecido e de grande importância para o conhecimento da evolução global.

Segundo Chaves *et al.* (2008), embora esta região fosse um dos centros produtores mais antigos do Brasil, são poucas as descrições sobre os diamantes desta área na literatura. De acordo com Etchbehere *et al*. (1991) e Perdoncini (2003), entre os principais minerais satélites do diamante nos depósitos da região de Franca, destacam-se minerais típicos de rochas xistosas e graníticas, como: almandina, anatásio, calcedônia (e sílex), cianita, coríndon (incluindo suas variedades gemo lógicas rubi e safira), crisoberilo, epídoto, estaurolita, goethita (com quartzo), gorceixita, granada, ilmenita, limonita, magnetita, monazita, rutilo, turmalina (e

turmalinito) e zircão. Esses dados sugerem a ausência de minerais indicadores de fontes primárias. Apesar da atividade garimpeira intensa na região, longos trechos de terraços e aluviões recentes permanecem intactos, com teores entre 0,02-0,18 ct/m³, com 70% gema e 30% industrial (Etchbehere *et al*., 1991; Benitez, 2009).

Na região, a prospecção aluvionar de fontes primárias através de minerais indicadores foi iniciada à mesma época que em Coromandel, levando à descoberta do kimberlito Canastra-1, em 1974, pela empresa francesa BRGM. Entretanto, conforme Chaves *et al.* (2008) a pesquisa nessa época se limitou a um setor do corpo que possuía teores desprezíveis de diamantes. Passaram-se duas décadas até que uma nova fase de estudos voltasse a ser efetuada, agora pela SAMSUL, do grupo De Beers. Assim, pesquisas de detalhe foram realizadas durante a década de 1990 e, em 2001, foi protocolado junto ao DNPM (atual ANM) o Relatório Final de Pesquisa que concluía sobre a viabilidade técnica e econômica para a mineração de diamantes no local. De tal modo, estava descoberto o primeiro kimberlito do país com teores economicamente viáveis, no município de São Roque de Minas. Pelo menos outras 45 intrusões kimberlíticas foram sendo progressivamente achadas nesta região, várias delas altamente promissoras de serem mineralizadas, como os kimberlitos Canastra-3 e Canastra-8 (Chaves *et al.,* 2008b). Não obstante, a lavra e as pesquisas sobre estes e outros corpos encontra-se inviabilizada por problemas junto a órgãos ambientais, com base em discussões a respeito dos reais limites do Parque Nacional da Serra da Canastra, situado logo a norte da faixa de ocorrência desses kimberlitos.

Conforme Pinto e Silva (2014), as rochas mais antigas da região pertencem ao Grupo Piumhi, uma sequência xistosa arqueana que é sobreposta pelos grupos Canastra e Araxá, de idades proterozóicas mas de relacionamentos ainda duvidosos. Na área do kimberlito Canastra-1, ocorrem quartzitos finos, de coloração branca, com intercalações métricas locais de filitos sericíticos do Grupo Canastra. No Grupo Araxá, estão presentes micaxistos variados quanto à composição. Os metapelitos do Grupo Bambuí (Neoproterozóico), complementam a sucessão de rochas pré-cambrianas. A idade do kimberlito Canastra-1 foi determinada (K/Ar em flogopita) em 120 ±10 Ma (Pereira 2007). Nenhuma outra foi determinada para intrusões deste campo kimberlítico.

A paragênese kimberlítica das intrusões que compõem esse campo é marcada

por uma ou mais das seguintes fases minerais: Cr-espinélio, picroilmenita, granada mantélica (peridotítica e/ou eclogítica), clinopiroxênio e flogopita. Cr-espinélio e picroilmenita são as fases mais comumente encontradas associadas às intrusões do CKSC, ocorrendo em abundância em ambos os grupos, Canastra e Cássia. Granadas kimberlíticas ocorrem principalmente associadas às intrusões Canastra, muito embora o Cássia-1 também se apresente enriquecido nesse mineral. Cr-diopsídio ocorre de maneira inversa às granadas, sendo mais comumente encontrados junto às intrusões Cássia, embora sejam também encontrados nas intrusões Canastra em menor quantidade (Neto *et al*., 2017).

Pelo menos cinco corpos deste campo kimberlítico foram analisados para microdiamantes, são eles: Canastra-1, Canastra-2, Canastra-5, Canastra-9 e Cássia-15. Apenas os dois primeiros apresentaram resultados positivos. O Canastra-1, considerado um depósito em fonte primária, apresenta teor médio de 16 cpht – quilates por cem tonelada (Chaves *et al*., 2008). Apesar de viabilidade econômica constatada, a produção de diamantes neste corpo encontra-se paralisada devido a impasses ambientais/legais. Esse corpo está localizado nas cabeceiras do rio São Francisco, na localidade chamada Vargem Bonita, na periferia do Parque Nacional da Serra da Canastra. Além dessas, diamantes também têm sido recuperados em aluviões do rio São Francisco, logo à jusante do Canastra-1.

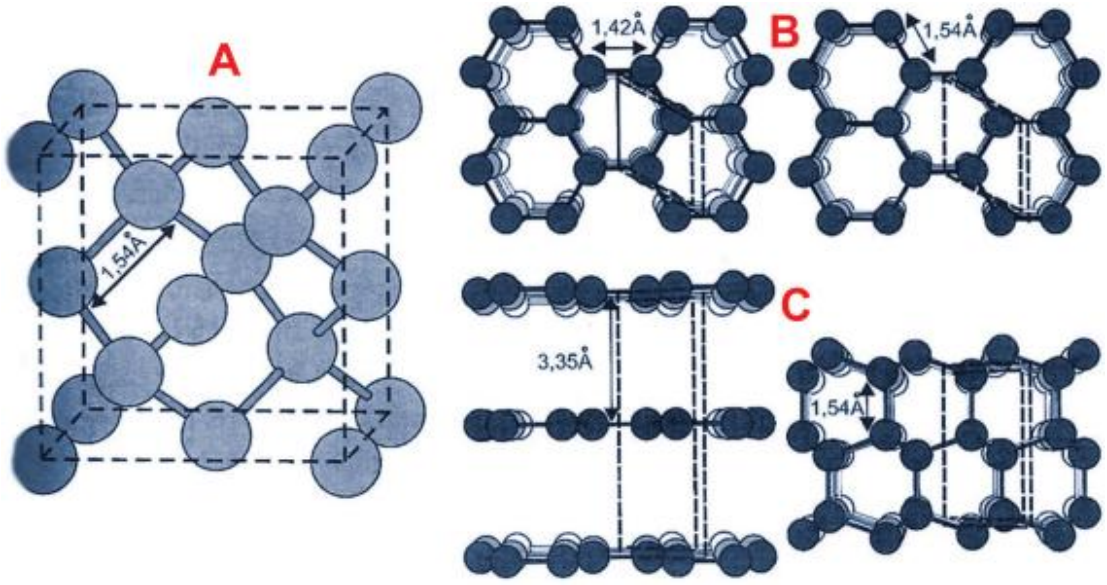
2.8 MINERAIS VALIOSOS - DIAMANTE

O diamante é um elemento nativo muito raro, sendo importante como pedra preciosa e mineral industrial. As ligações covalentes entre os átomos de carbono dos tetraedros da estrutura cúbica do elemento são responsáveis pelas suas propriedades físicas, e combinado com os baixos índices de contaminação entre boro/nitrogênio, obtém alto índice refrativo e de transparência, formando cristais incolores e límpidos de alto brilho. Na Figura 11 observamos as estruturas do carbono.

O mineral também possui a maior dureza e condutividade térmica de todas as

substâncias conhecidas, é fosforescente e triboelétrico (tem facilidade em doar e receber elétrons). Os polimorfos do diamante são a chaoita, a grafita e a lonsdaleita, e alguns materiais (por exemplo, zircônia cúbica) semelhantes a ele são usados como imitações, dentre eles a zircônia cúbica e moissanita. A tabela 5 apresenta suas características.

Figura 11 - Estruturas do carbono na natureza, com suas distâncias Inter atômicas



Fonte: Harlow, 1998.

Tabela 5 - Diamante e suas propriedades

Características do Diamante			
Sistema Cristalino	**Cor**	**Hábitos**	**Clivagem**
Cúbico, hexaoctaédrico	Amarelo, marrom ou cinza a incolor	Cristais octédricos até 10 cm, cúbicos, tetraédrico, dodecaédricos	Perfeita em 4 direções Pode conter faces estriadas e curvas
Tenacidade	**Fratura**	**Dureza (Mohs)**	**Partição**
Quebradiço	Conchoidal	10	Não tem
Traço	**Brilho**	**Diafaneidade**	**Densidade (g/cm³)**
Incolor	Adamantino a gorduroso	Transparente	3,52

Fonte: adaptado de UFRGS, 2021

O diamante também é encontrado na natureza associado a forsterita, flogopita, diopsídio, granada piropo, rutilo, brookita, anatásio, ilmenita, hematita, magnetita, ouro e topázio em *placers*, além de outras associações minerais. Sendo a granada piropo, diopsídio e ilmenita magnesiana, minerais conhecidos como KIMs (kimberlite indicator minerals), os principais utilizados em campanhas de rastreamento e pesquisa de kimberlitos (Mitchell, 1986).

2.9 DEPÓSITOS PRIMÁRIOS

Os diamantes primários podem ser encontrados em dois tipos de rochas, conhecidas como kimberlito e lamproíto, que se originam em ambientes de grande pressão e temperatura no manto terrestre. Essa origem foi confirmada quando se encontraram as primeiras chaminés vulcânicas em Kimberley, na África do Sul. Depois que a erosão causa a desagregação dessas rochas, os diamantes são integrados aos ambientes secundários, podendo ser encontrados em areias e cascalhos dos leitos de rios, embora sempre preservando perfeitamente todas as suas propriedades físicas originais.

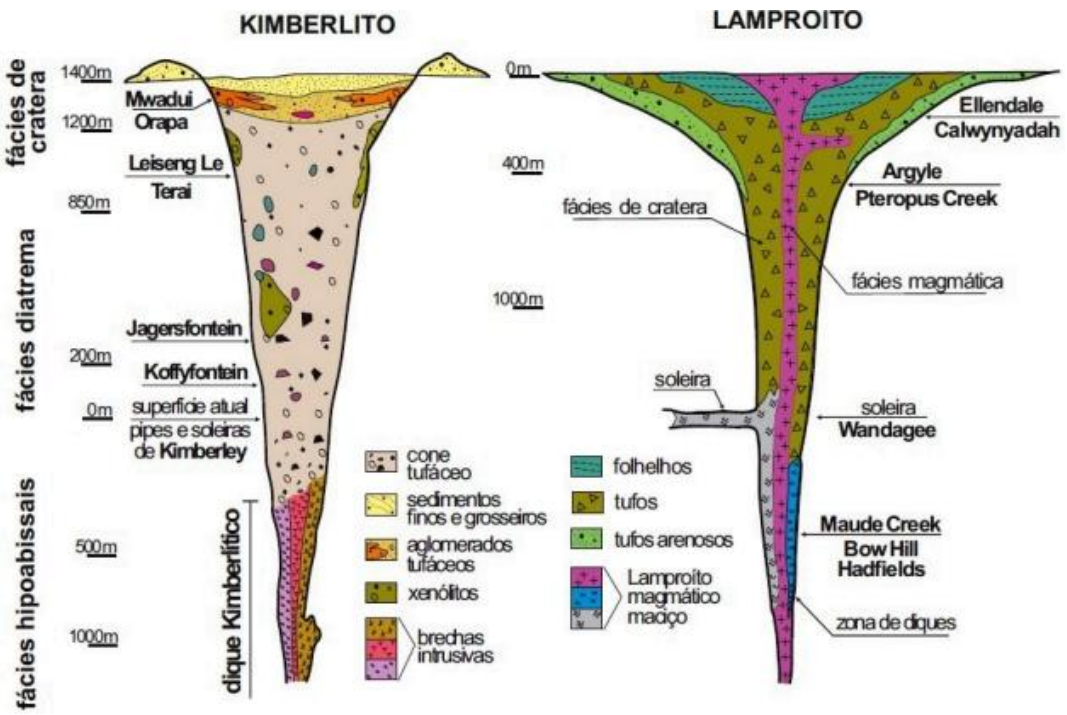
Os kimberlitos (Figura 12) são muito mais abundantes no mundo, sendo que essas rochas ígneas se constituem de uma matriz composta essencialmente de olivina, flogopita, serpentina e carbonato, contendo minerais acessórios como a granada piropo, diopsídio e ilmenita magnesiana, constituindo o diamante uma fase acessória muito rara.

Figura 12 - Exemplos de kimberlitos encontrados em MG

Fonte: Adaptado de Mineropar

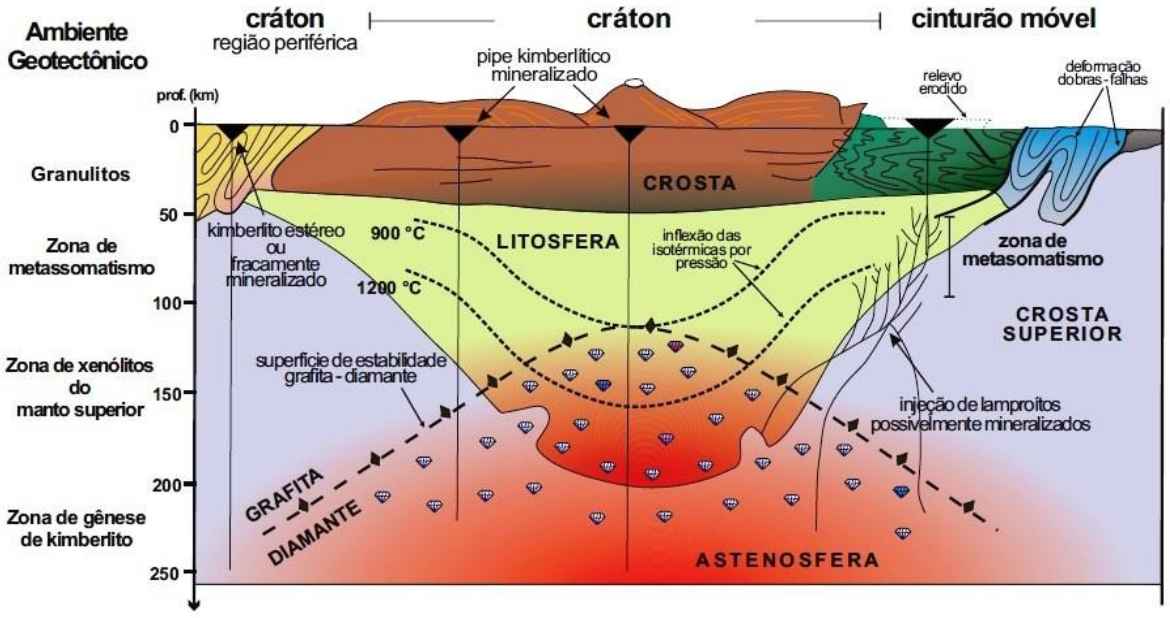
Os pipes ou chaminés kimberlíticos (figura 13) são circulares a ovais em planta e alcançam de algumas dezenas de metros até cerca de 1 km de diâmetro. Essas rochas podem conter fragmentos conhecidos como xenólitos (Figura 14), por onde a intrusão passou até chegar à superfície terrestre, principalmente de eclogito e peridotito, os quais provêm de grandes profundidades no manto, onde o diamante é formado, ou até xenólitos de rochas da crosta terrestre, coletados em profundidades mais próximas da superfície (Mitchell 1986).

Figura 13 - Formação do Kimberlito x Lamproíto



Fonte: Campos, 2020

Figura 14 - Ambiente geotectônico dos limites de geração e cristalização de diamantes



Fonte: Campos, 2020

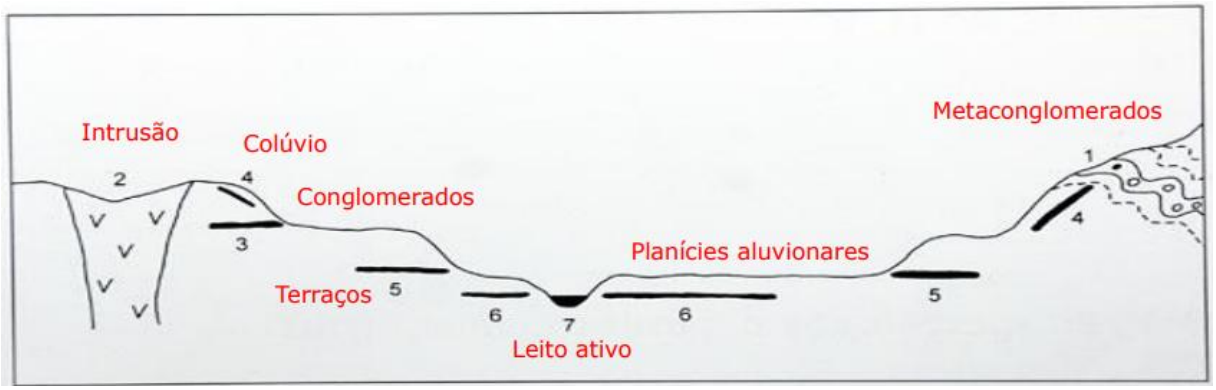
Os kimberlitos têm natureza predominantemente intrusiva, e na maior parte, formam agrupamentos de dezenas de corpos em áreas cratônicas continentais como

escudos antigos e plataformas estáveis, que são aparentemente controlados por fraturas muito profundas da crosta. Essas rochas possuem idades desde proterozóicas até cretácicas, a maioria pertencente a era cretácea, parecendo que estão geneticamente associadas ao rompimento do paleocontinente Gondwana (Helmstaedt *et al*., 2010, Stachel e Luth 2015).

2.10 DEPÓSITOS SECUNDÁRIOS

Os depósitos secundários de diamante consistem em aluviões e coluviões, recentes ou muito comumente antigos, que abrigam diamantes liberados a partir da alteração e desagregação dos corpos kimberlíticos. Os diamantes são resistentes ao intemperismo e passam aos depósitos coluvionares e aluvionares (Figura 15), de onde podem ser recuperados por processos de garimpagem ou de lavra mecanizada. Os minerais associados nos aluviões são mais resistentes, como quartzo, ouro, cianita, rutilo, magnetita e hematita, e além destes, a granada piropo, a ilmenita magnesiana e o diopsídio são minerais típicos de depósitos diamantíferos.

Figura 15 - Tipologia dos depósitos diamantíferos continentais.



Fonte: GEOTURISMOBRASIL

2.11 METAIS NOBRES - OURO

O ouro é um elemento nativo constituinte do minério de ouro e alguns outros elementos. Ele sempre forma cristais de mistura, e em alguns jazimentos ele é visível ao microscópio, já em outros, mesmo muito ricos, não são visíveis. Normalmente, ele ocorre em grãos anédricos e seus cristais chegam a aproximadamente 5 cm, sendo capaz de formar associações macladas e paralelas. Na tabela 6 abaixo segue algumas características do elemento em questão:

Tabela 6 - Características do Ouro

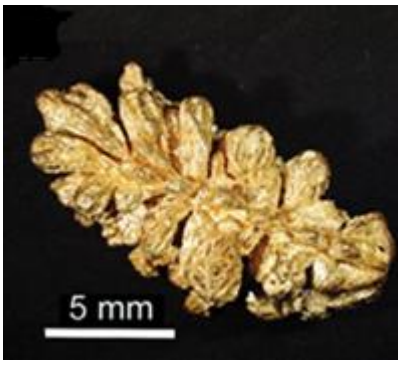
Sistema Cristalino	**Cor**	**Hábitos**	**Clivagem**
Cúbico hexaoctaédrico	**Puro:** amarelo-ouro com tom vermelho **Impuro:** branco (prata) a vermelho (cobre) **Pó:** marrom	Cristais raros, dendrítico, granular, pepitas etc.	Não possui
Tenacidade	**Fratura**	**Dureza Mohs**	**Partição**
Muito dúctil e maleável	Rugosa	2,5 - 3	Não possui
Traço	**Brilho**	**Diafaneidade**	**Densidade (g/cm³)**
Amarelo-claro brilhante	Metálico máximo	Opaco, folhas finas translúcidas	15,6 – 19,3
Magnetismo	**Condutividade**	**Reatividade Química**	**Hidrofobicidade**
Diamagnético	Elétrica	Baixa	Natural

De acordo com Palme e O'Neill (2003), o ouro elementar é relativamente raro, com cerca de 1 ppb no manto terrestre e na crosta continental, sendo um constituinte

residual de aproximadamente 1 ppm em alguns meteoritos. Como metal, ele possui alto ponto de fusão, é macio, denso, altamente maleável e dúctil, além de ser um excelente condutor. Como mineral, possui uma fase isométrica, cúbica de face centrada, com uma estrutura atômica compacta, assumindo diversos hábitos cristalinos, incluindo cubos, octaedros, dodecaedros, triângulos e hexágonos.

O ouro nativo é encontrado predominantemente como partículas e grãos pequenos de micrômetros a milímetros, finamente disseminados, principalmente policristalinos e raramente como monocristais. Pode ocorrer também como dendritos, fios, placas, folhas e pepitas policristalinas (Figura. 16).

Figura 16 - Ouro policristalino, multiplamente geminado



Fonte: International Magazine.

O ouro também ocorre como componente em outros minerais, incluindo teluretos como calaverita, petzita, selenetos e sulfetos, e como componente traço em pirita, pirita arseniana e arsenopirita. Em algumas situações, o ouro pode se encontrar invisível, podendo ser visualizado diretamente por microscopia eletrônica de transmissão de alta resolução como nanopartículas de Au metálico (Palenik *et al*., 2004). As nanopartículas de ouro são componentes importantes dos sistemas hidrotermais de ouro, as quais ainda faltam estudos.

O ouro nativo quase sempre ocorre como uma liga com Ag, já as ligas naturais com Cu, platinoides, Hg, Pb, Sn, Sb e Bi são mais raras. Devido o ouro e prata ter o mesmo raio atômico, acabam formando uma série contínua de ligas, e quando o teor de Ag excede 20% em peso, a liga é denominada eletro. A variação na relação Au/Ag do ouro nativo levou a composição a ser descrita em termos de espessura, sendo

representada pela equação:

$$\frac{\mathbf{1000}\ x\ \%\ \boldsymbol{peso\ de\ Au}}{(\%\ \boldsymbol{em\ peso\ de\ Au}+\%\boldsymbol{peso\ de\ Ag})} \quad (2)$$

Na prática, isso descreve o teor de ouro da liga em partes por mil e é um parâmetro chave usado para caracterizar ouro em ambientes hipogênicos, aluviais e supergênicos. De alguns por cento em peso até aproximadamente 50–60% em peso de Ag, a liga mantém sua maleabilidade e ductilidade, mas propriedades como cor, microestrutura, dureza, encruamento durante a deformação e resposta ao aquecimento são alteradas.

Normalmente, a maior parte da literatura sobre depósitos de ouro acerca de prospecção mineral não tem foco no elemento em si, exceto por sua análise química, sendo a composição discutida em alguns contextos, no entanto, a cristalografia e metalografia são pouco consideradas.

2.12 GEOLOGIA E TIPOS DE DEPÓSITOS DE OURO

Os jazimentos primários de ouro podem ser de dois tipos. Um deles através de veios hidrotermais de quartzo e depósitos relacionados contendo grãos, dendrites e agregados aramados ("*wire gold*") de ouro de forma disseminada, sendo associados a rochas ígneas e metamórficas. Também há os depósitos vulcano-exalativos, em que o ouro ocorre associado a sulfetos. (Groves *et al*., 1998) Já os jazimentos secundários de ouro são os depósitos eluviais e aluviais (cascalhos, areias), onde o ouro se concentrou devido à sua alta densidade.

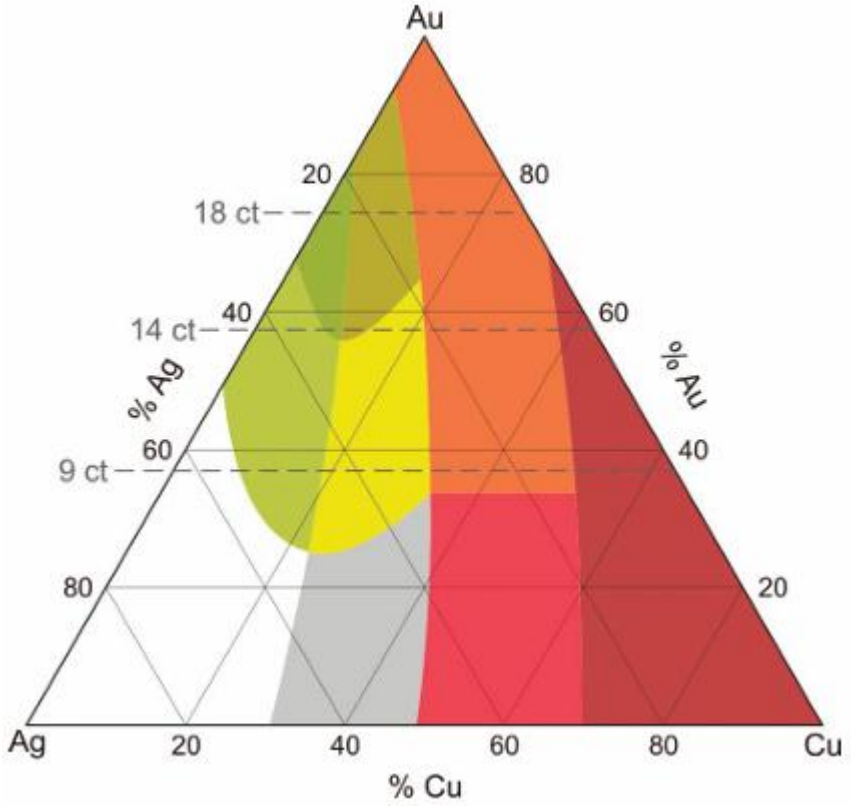
O ouro primário (hipógeno) é aquele que foi depositado/precipitado por fluidos hidrotermais de alta temperatura, os quais se originaram nas profundezas da crosta terrestre ou circularam por águas meteóricas aquecidas em níveis mais rasos. Os corpos de minério formados a partir desses sistemas, ou os *placers* derivados deles,

são os depósitos mais comumente minerados. A maior parte do ouro primário é uma liga de Au e Ag, com uma relação Au-Ag >1.

Normalmente o ouro contém 5-20% de Ag, mas em alguns depósitos é essencialmente puro e em outros, o teor de Ag pode exceder 50%. Mas em termos gerais, a relação Au/Ag do ouro primário tem sido pouco estudada. Boyle (1979) comenta que a maioria das relações Au/Ag relatadas são menores que 1 porque derivam do minério ou de lingotes de mina, assim incluindo contribuições de outros minerais contendo Ag.

A Figura 17 apresenta variações de cor no sistema ternário Au-Ag-Cu (modificado após Grimwade 2000). As cores mostradas são indicativas das cores reais do ouro, enquanto as linhas tracejadas referem-se ao teor de ouro da liga em quilates.

Figura 17 - Variações de cor do ouro no sistema ternário



Fonte: Adaptado de Grimwade, 2000

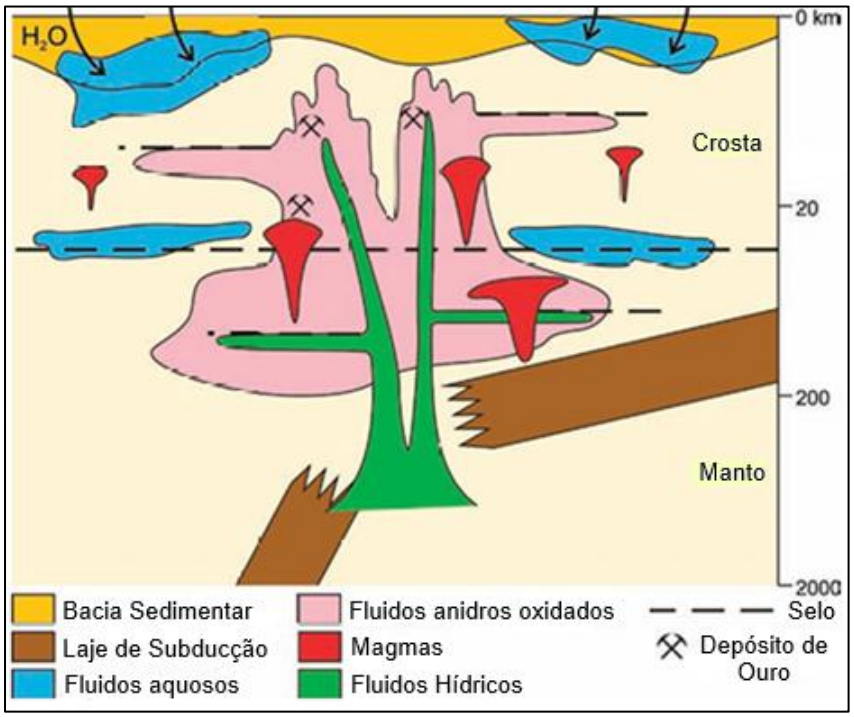
As concentrações de ouro em depósitos lavráveis variam entre 1 e 100 partes

por milhão (ppm), ou maiores em depósitos de alta no valor, em comparação com uma abundância crustal média de aproximadamente 1,3 ppb (John *et al.*, 2009). Os elementos encontrados são diversificados, e aqueles que podem estar associadas são: La, Ce, U, V, Cr, Mo, W, Fe, Co, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Zn, Hg, B, Tl, C, Si, Pb, As, Sb, Bi, S, Se, Te.

Uma associação mineralógica comum é a relação entre ouro e quartzo, mas há também acumulações encontradas com carbonatos, carbono, feldspatos, sulfetos e óxidos de Fe, sulfetos de metais básicos, arsenetos de Fe-Co-Ni e silicatos de Fe-Mg-Ca-V-Cr. Depósitos classificados como depósitos epitermais de ouro-prata, depósitos de pórfiro de cobre-ouro, depósitos de skarn de ouro, depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro e depósitos de Au relacionados à intrusão apresentam alguma afinidade espacial/temporal com a atividade magmática intrusiva, comumente em ambientes crustais rasos nas margens de placas ativas. Tais depósitos são inferidos ou assumidos como geneticamente ligados à atividade magmático-hidrotermal.

A Figura 18 apresenta a geodinâmica e a arquitetura que restringem a liberação de fluidos do manto para a crosta, além da mobilidade do ouro. Depósitos significativos se desenvolveram onde gradientes termoquímicos como redox, pH e atividade de água, que foram sustentados por fluxos concentrados de voláteis anidros, oxidados (CO_2-SO_2) e hidrídicos (H_2, CH_4, HCl) do manto/crosta, desencadeados por eventos de deformação em escala de placas.

Figura 18 - Perspectiva crosta-manto sobre os sistemas de mineralização de ouro



Fonte: adaptado de Hough e Butt, 2009

Sulfetos massivos hospedados em vulcões ricos em ouro estão relacionados a processos vulcânico-hidrotermais submarinos, enquanto depósitos sedimentares-exalativos ricos em ouro estão associados à expulsão de salmouras basinais para o fundo do mar em sistemas de *rift* intracratônicos e epicratônicos. Já depósitos sindeformacionais, principalmente apenas em terrenos metamórficos e *greenstone belts*, são comumente classificados como depósitos de Au de veios orogênicos. Os depósitos de Au do tipo Carlin, economicamente significativos, caracterizados por ouro invisível na pirita, recebem seu nome de uma área geograficamente restrita do norte de Nevada, que é o tipo e a principal localização desses depósitos. Da mesma forma, os depósitos de Au-U hospedados por conglomerados são definidos pelos depósitos da Bacia de Witwatersrand, do Arqueano Superior, na África do Sul, e representam impressionantes 45% da produção total de ouro.

Muitas das características usadas para classificar os depósitos podem não ser particularmente significativas em termos dos processos que os formaram. Associações elementares e mineralógicas muito diferentes podem surgir em cenários

geológicos bastante distintos a partir de processos subjacentes semelhantes. Observações em diversas escalas sugerem que um número limitado de processos, alguns não totalmente compreendidos, controlou a distribuição de ouro na crosta terrestre.

Barnicoat (2008) criou uma abordagem de sistemas minerais que pode ser usada para ajudar a entender onde, quando e por que os depósitos de ouro se formam, contendo perguntas e abordagens relacionadas a:

1) história geodinâmica;
2) arquitetura;
3) fontes e reservatórios de fluidos;
4) vias de fluidos e forças motrizes, e;
5) transporte de metais e mecanismos deposicionais de um sistema mineral.

Para estabelecer as características salientes dos sistemas auríferos, é necessário considerar as cinco respostas no contexto mais amplo possível, em diferentes escalas de tempo e extensão do sistema. Alguns períodos da história da Terra produziram mais depósitos de ouro do que outros, sendo os mais importantes:

- o Arqueano Superior, de aproximadamente 2,6 a 2,7 Ga com depósitos hospedados em greenstone,
- o Paleoproterozóico com cerca de 2,0 a 1,6 Ga, com depósitos de óxido de Fe-Cu-Au e filões de ouro e,
- após um intervalo de bilhões de anos, o Fanerozóico, com aproximadamente 0,6 Ga até o presente, contendo depósitos porfíricos e epitermais.

Se há um tema comum que possa unificar a gênese dos depósitos de ouro, ele pode residir na natureza dos reservatórios de fluidos no manto e nas forças que impulsionam a liberação de fluidos. O armazenamento de fluidos anidros ricos em voláteis no manto e sua liberação subsequente são concebíveis sem produção significativa de magma. A abundância de SO_2 em gases vulcânicos implica que os fluidos anidros nas poucas centenas de quilômetros externos do manto são altamente

oxidados como fluidos CO_2SO_2.

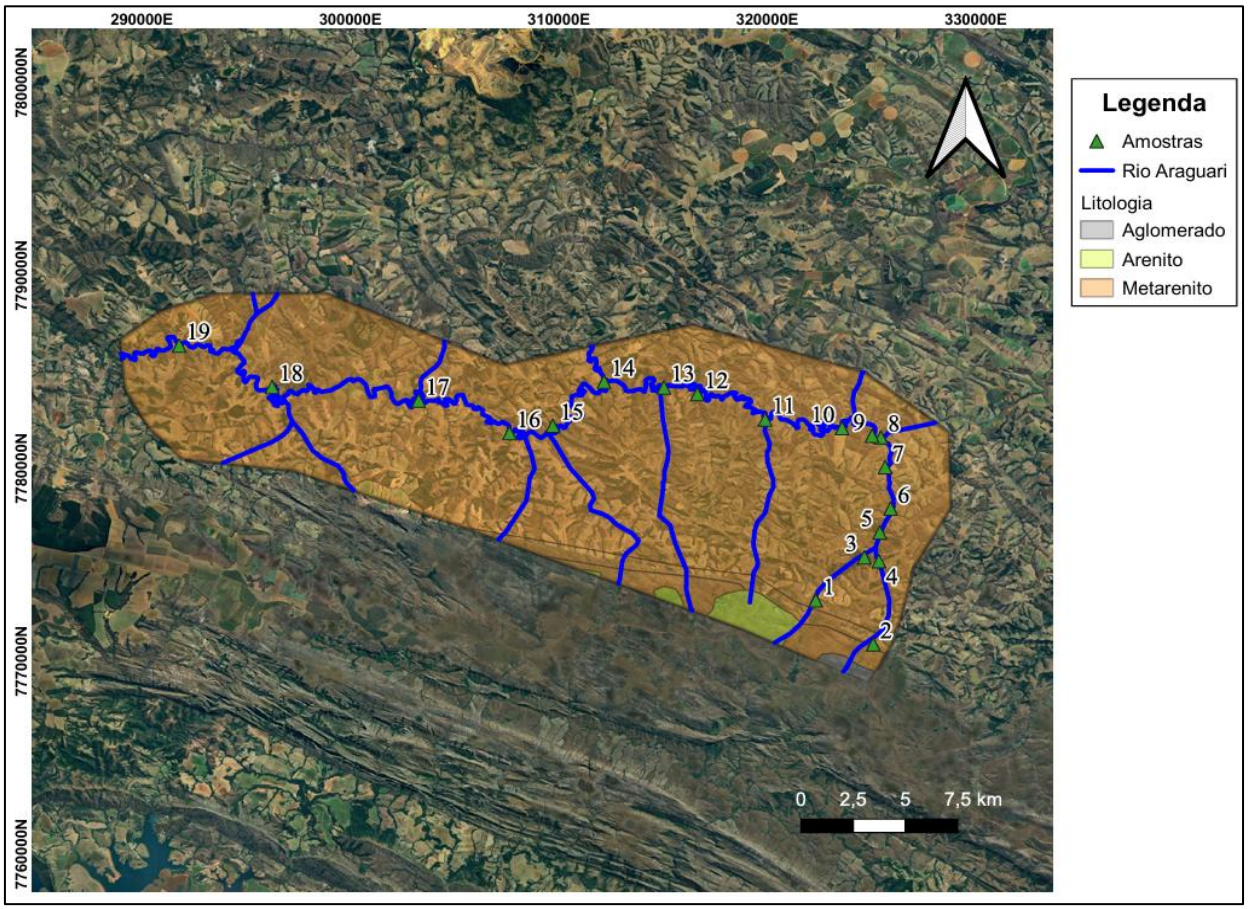
No entanto, estudos termodinâmicos e a mineralogia de inclusões em kimberlitos diamantíferos sugerem que fluidos hídricos, ricos em H_2 podem dominar em profundidades superiores a 300–400 km. Fluxos de voláteis reduzidos e oxidados, de origem mantélica ou crustal, poderiam sustentar gradientes termoquímicos (a exemplo, redox e acidez), promover o transporte de metais e impulsionar o metassomatismo em escala de terreno. Os sistemas minerais de ouro podem ser vistos como motores termoquímicos com raízes profundas no manto, já apresentados na Figura 18. Tal modelo vincula a metalogênese a mudanças seculares na arquitetura e geoquímica do planeta ao longo de sua história de 4,5 bilhões de anos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste presente trabalho foram realizadas algumas etapas referentes as amostras que foram custeadas e coletadas a cargo da empresa Cincal Cia Industrial de Calcário LTDA.

Neste sentido foi estabelecido em laboratório uma malha de amostragem para coletar, ao longo do curso do rio Araguari, de sua nascente até o distrito de Desemboque (Figura 19), amostras de sedimento ativo de corrente e de aluvião, em pontos situados logo após o desague dos afluentes das margens norte e sul do rio. Assim, em havendo fontes anômalas de ouro e/ou diamante no entorno da bacia do rio Araguari, as amostras coletadas indicariam o entorno das possíveis fontes.

Figura 19 - Malha de amostragem das amostras coletadas ao longo do curso do rio Araguari



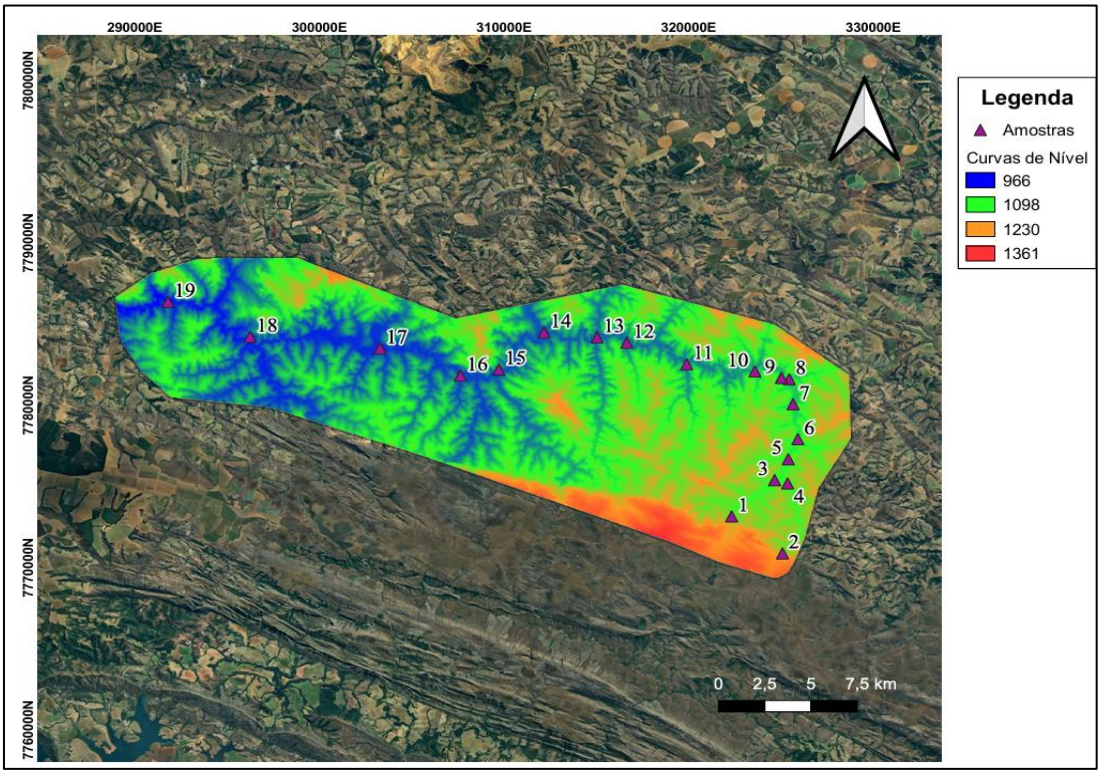
Foi utilizado o software QGIS para mesclar os dados das amostras, aliado ao

mapa topográfico (figura 20) e camadas georreferenciadas da hidrografia e geologia da região, de forma a possibilitar os estudos sobre o projeto.

Para melhor interpretação e visualização da área de coleta das amostras, foi consultada uma base cartográfica da região, situada na folha Franca, obtida pelo site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Do mesmo modo, foi feita uma compilação dos dados referente aos pontos de coordenadas das amostras, incorporando os mapas geológico e topográfico num único sistema de arquivos. A seguir são apresentadas as etapas do processo:

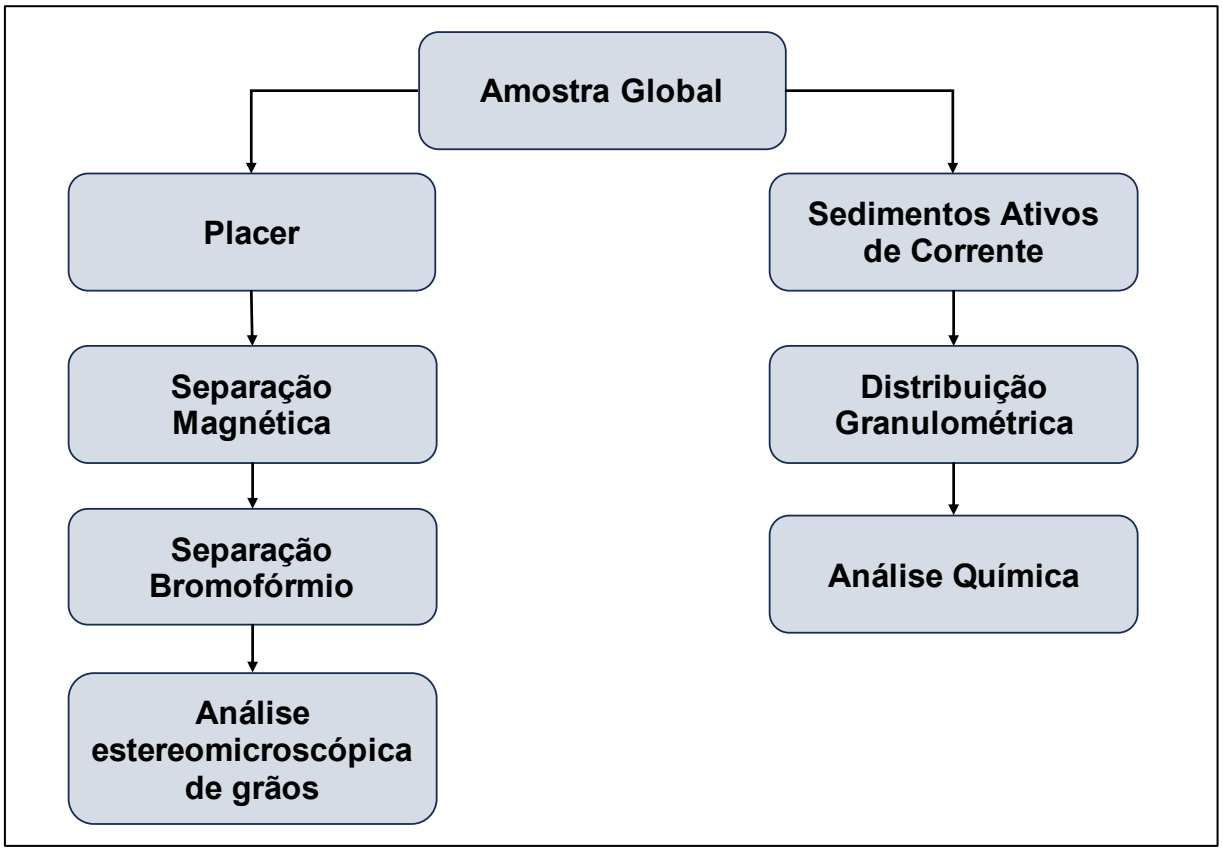
- Folha Franca e camadas georreferenciadas fornecidas pelo site do IBGE;
- Imagens de satélite e base cartográfica obtidas no software QGIS;
- Base hidrográfica obtida pelo site do IBGE;
- Coordenadas das amostras recebidas pela empresa fornecedora do financiamento do projeto.

Figura 20 - Topografia da região em estudo



Em sequência, serão apresentados os materiais e métodos que foram utilizados para incorporar o projeto, com a Figura 21 apresentado o fluxograma das etapas. Inicialmente foi realizada a coleta de amostras referente a uma área alvo, de modo a obter materiais sobre a região de pesquisa, assim como os dados geográficos das amostras. Posteriormente, foram realizados testes laboratoriais para separar as amostras de elevada densidade, com relação as de baixa densidade, todas provenientes da região do Rio Araguari.

Figura 21 - Fluxograma das etapas do presente projeto



Assim, esta pesquisa se enquadra como quantitativa, onde foram utilizadas técnicas estatísticas e descrição dos dados aliados ao método hipotético-dedutivo e raciocínio lógico, de modo a levantar hipóteses sobre o problema e buscando formular resoluções para ele.

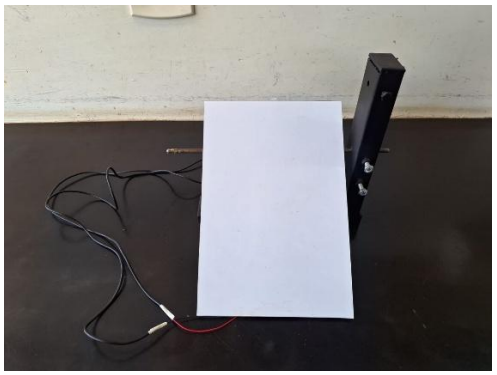
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Os seguintes equipamentos e materiais (Figuras 22 e 23) foram utilizados para os trabalhos de laboratório de tratamento de minérios e de química do CEFET-MG, unidade Araxá:

- Amostras identificadas e empacotadas
- Caderno de anotações
- Estufa
- Quarteador tipo Jones
- Série de peneiras
- Mesa vibratória Wilfley
- Pratos, bandejas e pás
- Bastão magnético 10.000 gauss
- Equipamento próprio para redução de micas
- Sacos plásticos
- Balão volumétrico
- Funil de vidro
- Papel de filtro
- Pinça de Mohr
- Bastão de vidro
- Béquer
- Mangueira de silicone
- Acetona
- Bromofórmio
- Água destilada

Figura 22 - Bastão magnético.

Figura 23 - Equipamento para separar minerais



3.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Primeiramente, as amostras tiveram que ser secadas em estufa para que se avançasse para as etapas posteriores.

3.3 FRACIONAMENTO GRANULOMÉTRICO

Todas as amostras foram submetidas a separação em faixas granulométricas. As faixas foram referentes a 20, 35, 60, 80 e 100 mesh (#) (Figura 24). Todas as

amostras maiores que se enquadraram nas faixas acima de 35 mesh, voltaram para a amostra original, enquanto as amostras entre 60 e 80 mesh foram armazenadas para etapas posteriores do projeto. Já as amostras abaixo de 100 mesh foram enviadas para análises químicas (método digestão com água régia), no laboratório ALS através de métodos semiquantitativos (anexo 2).

Figura 24 - Série de peneiras utilizadas na distribuição

3.4 ANÁLISE QUÍMICA

Foi feita a análise química das amostras abaixo dos 100 mesh para determinação da porcentagem em ppm dos elementos químicos alvos do projeto, todas custeadas pela empresa financiadora do projeto. Continuamente, um banco de dados das amostras foi construído para interpretação e discussões acerca dos resultados. A tabela 7 representa os resultados das análises químicas, com a área destacada em vermelho onde os valores ultrapassaram ou se aproximaram dos valores de Clarke (Mason e Moore, 1982).

Tabela 7 - Dados referentes a análise química das amostras

SAMPLE	Au	Ag	As	Bi	Cd	Ce	Co	Cr
DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SAC-01	0,0015	0,043	6,33	0,146	0,019	33,8	3,85	37,4
ARA-02	0,0008	0,057	1,79	0,0674	<0.001	9,22	1,53	22,2
ARA-03	0,0023	0,084	2,6	0,197	0,001	53,7	13,3	66,5
ARA-04	0,0012	0,034	1,13	0,1735	0,025	37,5	7,66	39,7
ARA-05	0,0009	0,03	2,17	0,1295	0,012	33,7	8,23	45,4
ARA-06	0,0011	0,202	0,54	0,1955	<0.001	29,1	8,01	59,9
ARA-07	0,0008	0,027	0,7	0,197	0,007	36,8	8,59	63,8
ARA-08	0,001	0,02	0,49	0,252	0,03	42,5	8,77	70,3
ARA-09	0,0004	0,022	0,42	0,262	0,008	38,8	6,32	54,6
ARA-10	0,0004	0,026	0,54	0,312	0,017	84,7	6,23	34,2
ARA-11	0,0006	0,021	1,45	0,224	0,02	42,3	5,66	35,3
ARA-12	0,0009	0,223	0,74	0,241	0,084	34,5	9,76	92,7
ARA-13	0,0004	0,023	0,5	0,283	0,019	56,4	5,96	33,9
ARA-14	0,0005	0,09	0,79	0,216	0,044	42,8	4,85	29,8
ARA-15	0,0003	0,023	0,98	0,215	0,018	66,9	5,41	30,9
ARA-16	0,0006	0,022	1,2	0,1675	0,019	50,3	5,49	30,7
ARA-17	0,0006	0,027	1,91	0,1795	0,022	58	6,43	35,6
ARA-18	0,0008	0,033	2,74	0,1935	0,028	73,7	10,55	41
ARA-19	0,0004	0,018	1,06	0,184	0,029	60,7	5,66	28,3

Cs	Cu	Ga	Ge	Hf	In	La	Mo	Ni	Pd
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0,924	26,3	8,25	0,053	0,033	0,032	12,55	0,97	30,8	<0.001
0,287	773	2,84	0,023	0,179	0,005	3,99	1,4	14,65	0,001
1,85	702	7,07	0,085	0,082	0,039	20,9	0,43	39,8	<0.001
1,21	21,6	5,69	0,056	0,099	0,016	13,05	0,57	33,2	<0.001
1,375	291	5,72	0,057	0,049	0,016	11,3	0,98	25	<0.001
1,225	2750	4,87	0,049	0,131	<0.005	10,4	0,38	27,4	<0.001
1,165	32,1	5,18	0,053	0,136	0,018	12,85	0,4	30,9	<0.001
1,295	22,4	5,67	0,069	0,137	0,025	15,1	0,58	28	0,002
0,896	30,6	4,8	0,073	0,228	0,025	15,05	0,28	19,3	0,001
0,594	15,9	5,92	0,089	0,314	0,032	34,1	0,67	16,25	0,001
0,877	16,15	7,3	0,056	0,099	0,029	12,8	0,94	13,95	<0.001
1,22	644	5,31	0,046	0,222	0,026	12,05	0,37	26,5	<0.001
0,575	14,9	4,92	0,067	0,26	0,03	20	0,58	17,1	<0.001
0,525	89	4,45	0,055	0,21	0,021	14	0,8	11,4	<0.001
0,68	15,15	4,97	0,081	0,265	0,025	28	0,82	12,25	0,003
0,583	12,5	4,02	0,058	0,304	0,022	19,85	0,9	19,3	<0.001
0,819	17,5	5,86	0,067	0,215	0,029	20,5	1,21	15,85	0,001
1,09	62,3	7,15	0,081	0,237	0,033	26,2	1,23	19,1	<0.001
0,565	13,05	3,61	0,075	0,41	0,021	24,9	0,72	17,45	<0.001

Pt	Sc	V
ppm	ppm	ppm
0,008	3,58	50,7
0,008	1,215	14,9
0,002	7,24	52,2
0,005	4,58	37,2
0,005	4,95	37,7
0,008	5,22	36,3
0,004	5,68	39,8
0,005	5,85	42,4
<0.002	5,14	35,8
0,004	5,12	37,9
0,005	5,97	44,3
0,002	6,07	43,3
0,003	4,57	33,2
0,003	3,97	30,8
0,004	4,94	39,5
0,005	4,12	32,7
0,004	5,88	42,5
0,004	7,25	51,8
0,005	3,63	29,8

Em comparação aos valores de Clarke (Mason & Moore, 1982), o resultado geoquímico dos elementos escolhidos da Tabela 2, apresentaram para algumas amostras valores acima do Clarke. É o caso da prata (amostras ARA-03, 14), do arsênio (amostras ARA-01, 03, 05, 17, 18), bismuto (amostras ARA-08, 09, 11, 12, 13, 14, 15), cério (amostra ARA-10, 15, 18, 19), cobre (amostras ARA-02, 03, 05, 06, 12, 14, 18), lantânio (amostra ARA-10) e platina (amostras ARA-01, 02 e 06).

É notável a abundância relativa de bismuto que mostrou várias amostras com teores acima do Clarke e destaca-se, excepcionalmente, os valores de cobre, muito acima do Clarke para esse elemento (e.g. 2750 ppm), indicando que na região existe forte ocorrência de sulfetos. Os resultados também indicam uma boa correlação entre prata, arsênio cobre e platina. Reforçando a percepção da presença de sulfetos nas rochas do grupo Canastra que dominam a geologia da região estudada (Figura 4).

Notavelmente, observa-se que a platina apresenta valores mais elevados que ouro e, por outro lado, os valores mais elevados de elementos farejadores, como o

arsênio, não são acompanhados por valores elevados de ouro. Aparentemente esses resultados são incomuns para sedimentos ativos de corrente visto que a platina e os elementos do grupo da platina são menos abundantes que o ouro nesses locais. E que o arsênio é um indicador da presença de ouro. No entanto há que se destacar a incoerência desses resultados para ouro já que no passado foram extraídos 1500 kg de ouro dos aluviões desse rio. É surpreendente que as análises químicas ora realizadas não indicaram nenhum valor de ouro acima do Clarke. Ainda com relação a platina, os elementos do seu grupo em uma amostra de *placer* podem ser estudados pela produção de um concentrado de minerais pesados a partir de material já peneirado e concentrado pela natureza, a identificação desses elementos em amostras de leito rochoso requer estudos cuidadosos de lâminas finas polidas, cujas superfícies representam apenas uma pequena fração da rocha ou minério (geralmente apenas alguns cm²; Cabri *et al*., 2022).

3.5 FRACIONAMENTO GRAVIMÉTRICO

As amostras que se encontraram na faixa de 40 e 60 mesh, foram submetidas a uma separação em meio denso na mesa Wilfley, apresentada nas Figuras 25 e 26. No caso de algumas amostras, foi-se necessário realizar mais de uma separação devido à alta quantidade de material presente. As amostras nessa etapa foram divididas entre o material leve, o qual voltou para a amostra original, e o material pesado, que foi utilizado para etapas posteriores de separação magnética.

Figura 25 - Mesa concentradora Wilfley utilizada no experimento

Figura 26 - Diferença entre os minerais mais densos e magnéticos em relação ao mais leves

Após a separação magnética, as amostras foram enviadas para o laboratório de química, para separação em meio denso através do solvente bromofórmio, apresentado nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 - Processo de separação pelo bromofórmio

Figura 28 - Equipamentos da etapa do laboratório de química

A tabela 8 apresenta os dados referente a separação das amostras na mesa concentradora, assim como na separação magnética. Cada amostra teve um determinado grau de tempo na separação, devido os grãos minerais de cada uma possuírem diferentes propriedades e formas. Os ângulos utilizados na inclinação da

mesa foram de 5º, 7º e 9 graus para melhor separação, sendo que poucas amostras chegaram na 3ª etapa, referente aos 9 graus.

Tabela 8 - Relação das amostras separadas

Amostra	Peso Inicial (g)	Peso com Magnéticos (g)	Peso sem magnéticos (g)	Tempo na Mesa (min)
1	1114	72	70	145
2	228	112	107	45
3	554	99	89	85
4	372	79	67	90
5	682	127	108	160
6	188	51	42	40
7	285	103	98	35
8	590	105	93	135
9	692	117	102	120
10	912	100	75	200
11	86	49	45	30
12	330	104	92	90
13	227	97	83	50
14	675	40	13	180
15	606	138	124	85
16	707	62	52	135
17	536	64	57	165
18	623	57	51	155
19	222	90	83	45

Continuamente, os minerais mais densos que chegaram na etapa final, foram analisados por meio de um estereomicroscópio no laboratório de tratamento de minérios do Campus, de forma a identificar possíveis minerais satélites de diamante e demais, que são comumente encontrados em depósitos de *placer* e sedimentos ativos de corrente.

3.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS QUÍMICOS

Os dados químicos fornecidos foram organizados somente para os elementos de interesse industrial e suas anomalias. Ao mesmo passo, foi realizada a criação de uma curva graficamente representativa do *background* do ouro para a região, assim como as anomalias presentes nas amostras coletadas. As figuras 38 a 43, apresentam

os sumários gráficos para os elementos estudados, apresentando uma média para a região alvo, referente as análises químicas da área.

Também foi utilizados métodos de estatística Univariada e coeficiente de correlação de Pearson (r), o qual mede a correlação linear entre dois conjuntos de dados, sendo a razão entre a covariância de duas variáveis e o produto de seus desvios-padrão (Silva e Costa, 2015). Nesse contexto, ela é essencialmente uma medida normalizada da covariância, de modo que o resultado sempre tenha um valor entre −1 e 1 (tabela 9), sendo os valores mais próximos de 1 indicando maior força de correlação, enquanto valores mais próximos de zero indicam fraca correlação, e valores negativos, uma correlação inexistente.

Tabela 9 - Força do coeficiente de correlação de Pearson

Valor de r (+ ou -)	Interpretação
0	**Nula**
0,01 a 0,2	**Muito Fraca**
0,21 a 0,4	**Fraca**
0,41 a 0,6	**Moderada**
0,61 a 0,8	**Forte**
0,81 a 0,99	**Muito Forte**
1	**Perfeita**

3.7 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO ATIVO DE CORRENTE

As amostras que ficaram no fundo do peneiramento, foram submetidas a análise química com os resultados mostrados na tabela apresentada anteriormente (tabela 7) através do método semiquantitativo, devido apresentarem valores abaixo de 0,5 gramas. Ressalta-se que na análise química, tiveram duplicatas de laboratório que foram realizadas em duas amostras independentes, preparadas a partir da mesma amostra original, para verificar a repetibilidade do processo analítico e a precisão dos resultados.

4 RESULTADOS

4.1 INTERPOLAÇÃO POR IDW

Abaixo segue as imagens representativas (figura 29 a 39) com os mapas de cada elemento principal feitas pelo método de Interpolação IDW (Ponderação pelo Inverso da Distância, potência 2) no software QGIS versão 3.12, no qual as cores mais quentes representam os pontos com teores mais elevados, enquanto as mais frias os menores teores.

Figura 29 - Isoteores Arsênio

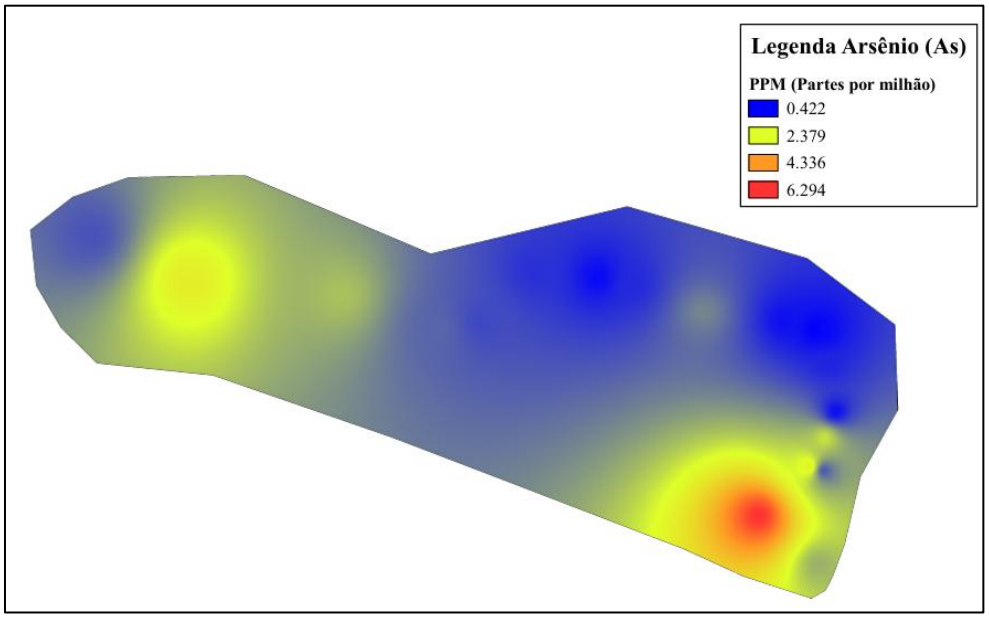


Figura 30 - Isoteores Prata

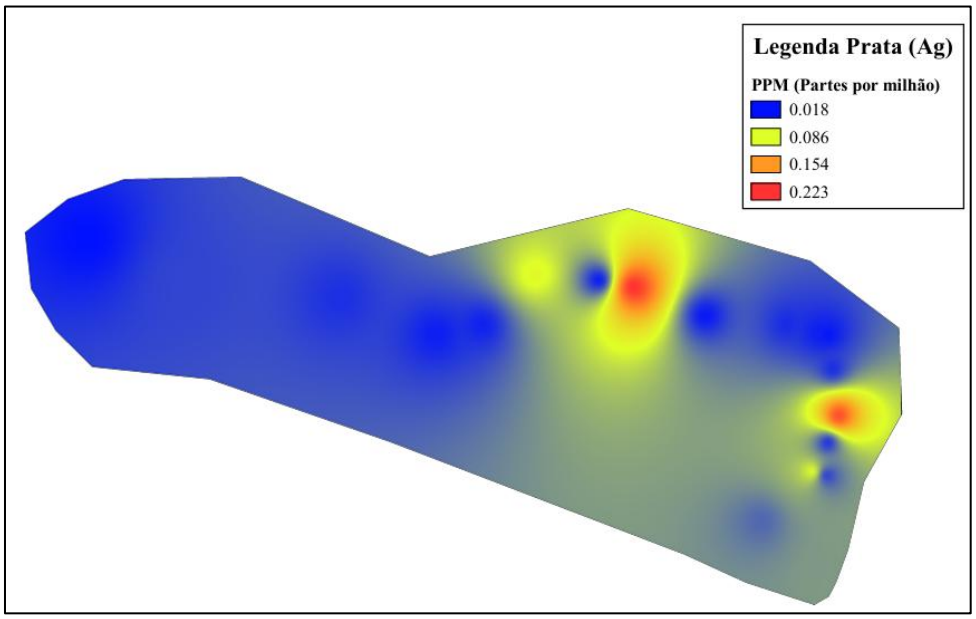


Figura 31 - Isoteores Ouro

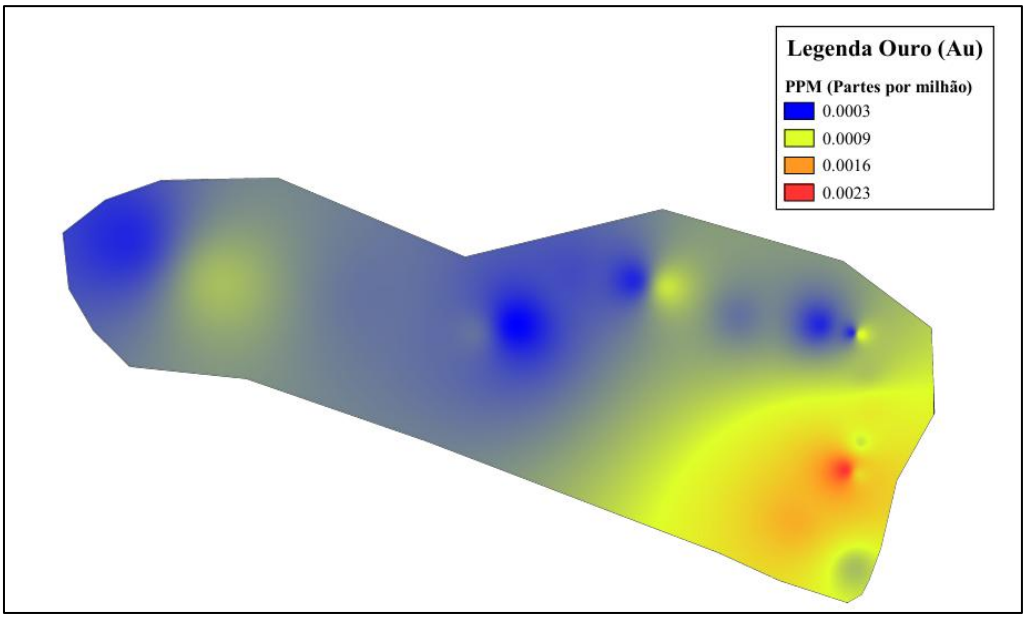


Figura 32 - Isoteores Bismuto

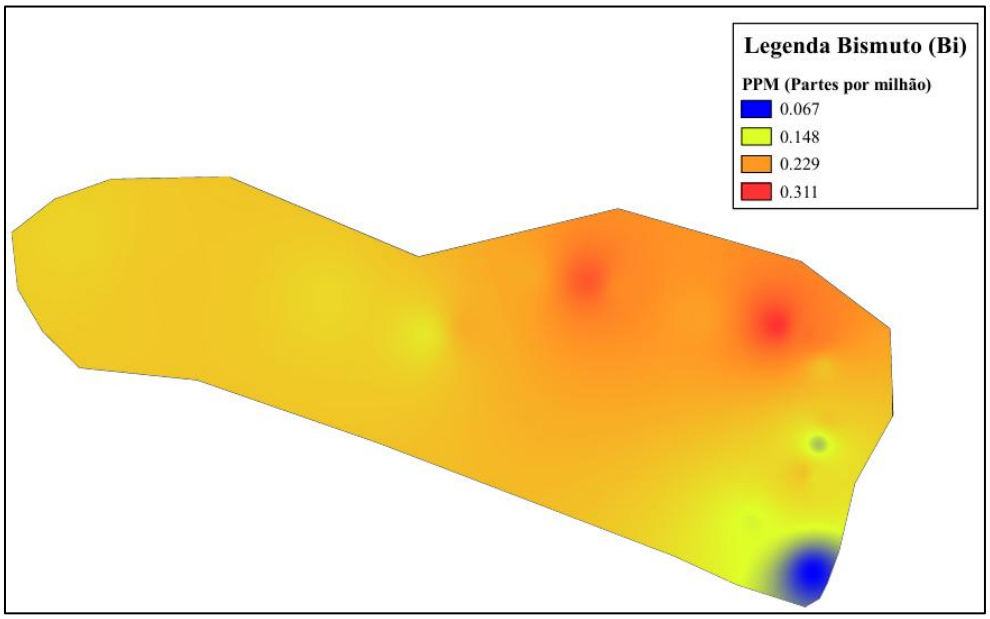


Figura 33 - Isoteores Cério

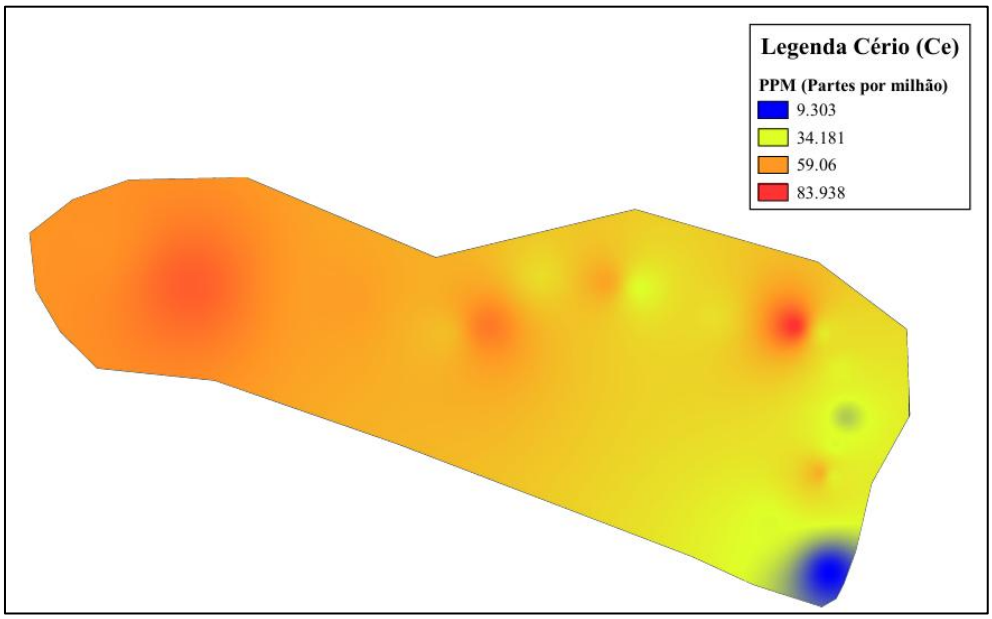


Figura 34 - Isoteores Cobre

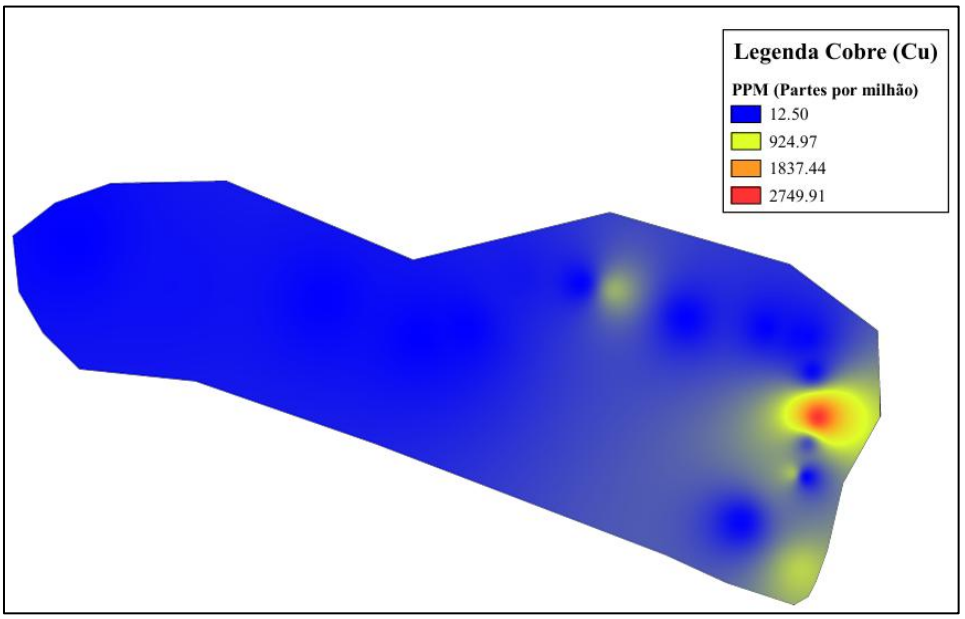


Figura 35 - Isoteores Lantânio

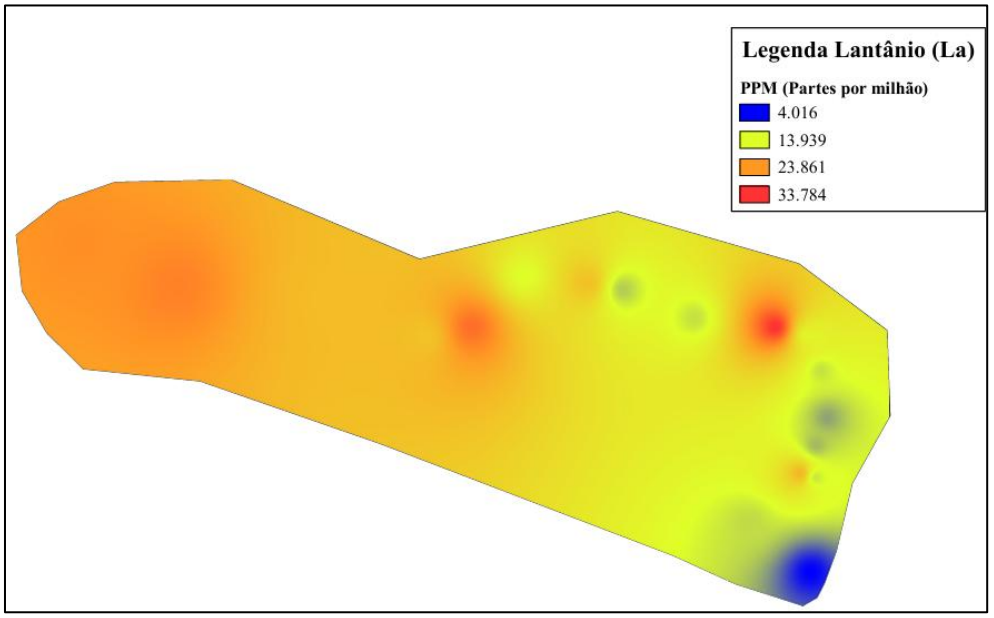
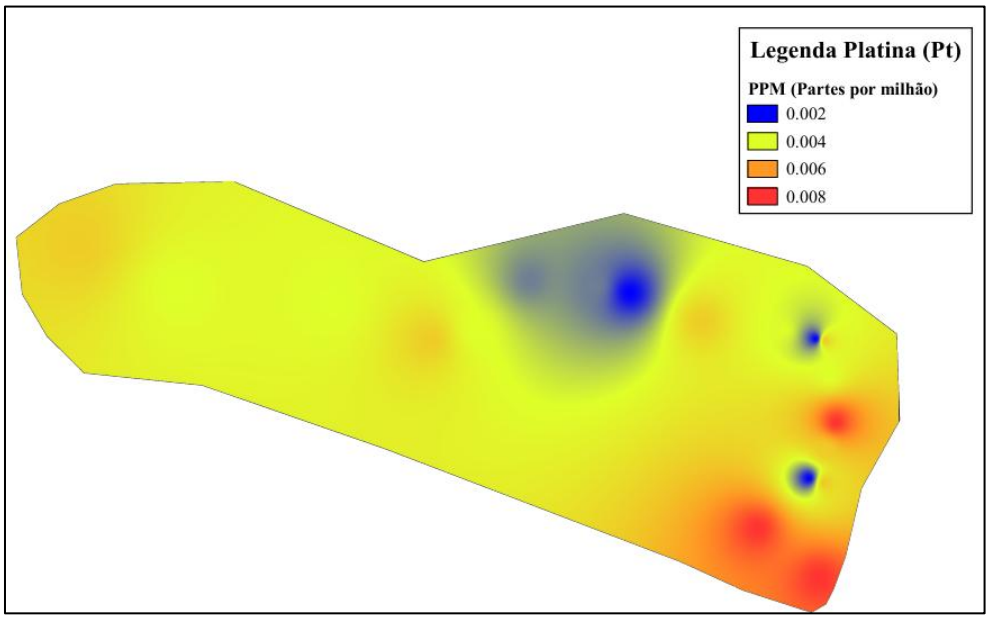


Figura 36 - Isoteores Platina



Analisando os resultados dos gráficos de isoteores, notamos uma boa semelhança entre cobre-platina, bismuto-cério, lantânio-prata e uma certa semelhança entre prata-platina-cobre-cério na região da área amostrada. Também se percebe que dentre esses elementos há algumas concentrações que se podem ser consideradas anormais nas amostras coletadas, as quais representadas pelas cores mais quentes.

Bismuto e cério estão representados com teores elevados numa região maior do Rio Araguari, o que nos infere analogamente que a região apresenta esses elementos distribuídos uniformemente no espaço amostral. Já em relação ao ouro e arsênio, ambos se encontram em determinados pontos, na região leste e uma pequena parte na região oeste da área, além de seus mapas serem semelhantes, o que é normal já que ambos têm afinidade de serem encontrados na natureza.

Segundo os mapas de Isoteores, infere-se que ouro e arsênio apresentam anomalias em certos pontos (mesmo que as análises para o ouro tenham sido abaixo do esperado), além de ser evidente que há boa presenças de elementos de terras raras e platina.

4.2 DISTRIBUIÇÃO LOCAL DOS ELEMENTOS

Abaixo serão apresentados os sumários gráficos (figuras 37 a 44) para os elementos estudados, de forma a visualizar o *background local* da área de estudo, identificando quais pontos obtiveram maiores proporções dos elementos em ppm.

Figura 37 - Distribuição do ouro

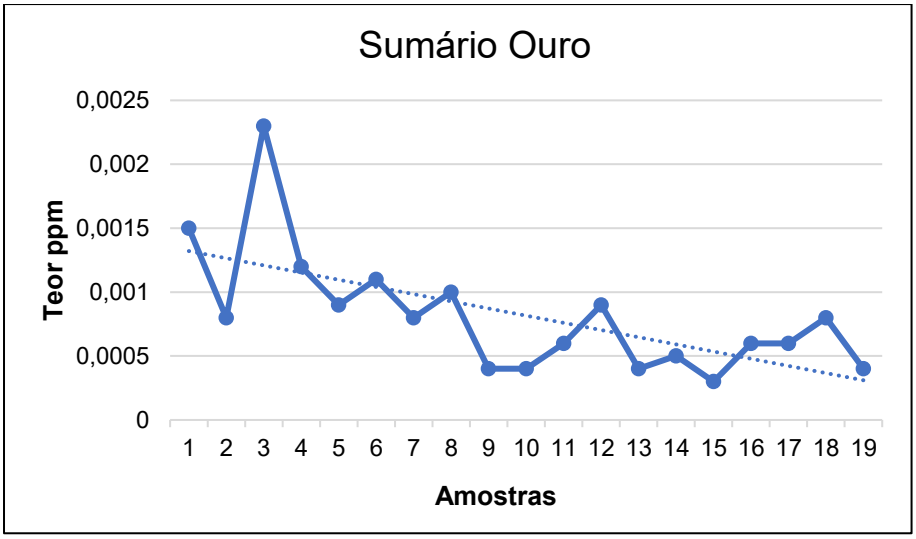
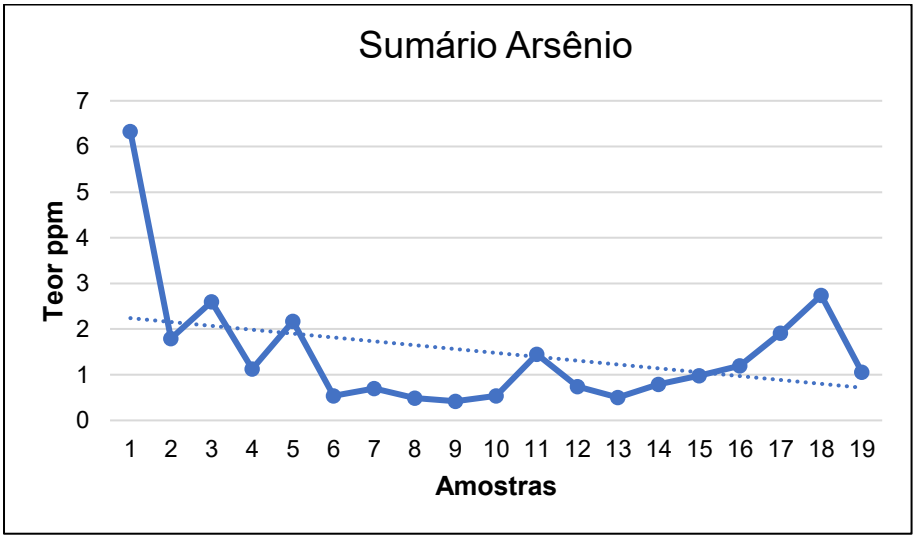


Figura 38 - Distribuição do arsênio



Nota-se que o ouro e arsênio (figuras 37 e 38) possuem semelhança na sua distribuição da região local, a exceção dos primeiros pontos, em que o arsênio apresentou um *outlier*. A média local para o ouro é de 0,0008 ppm e para o arsênio de 1,48 ppm (Tabela 10).

Figura 39 - Distribuição da prata

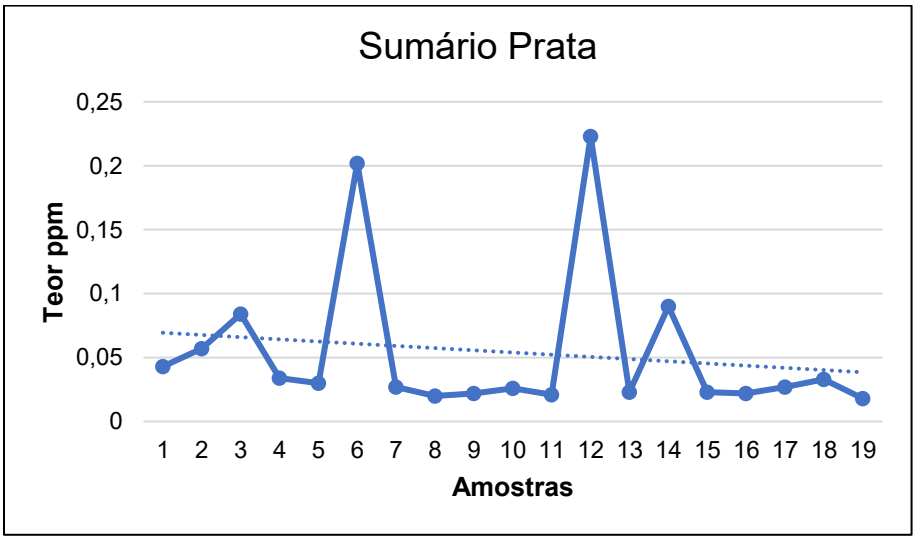
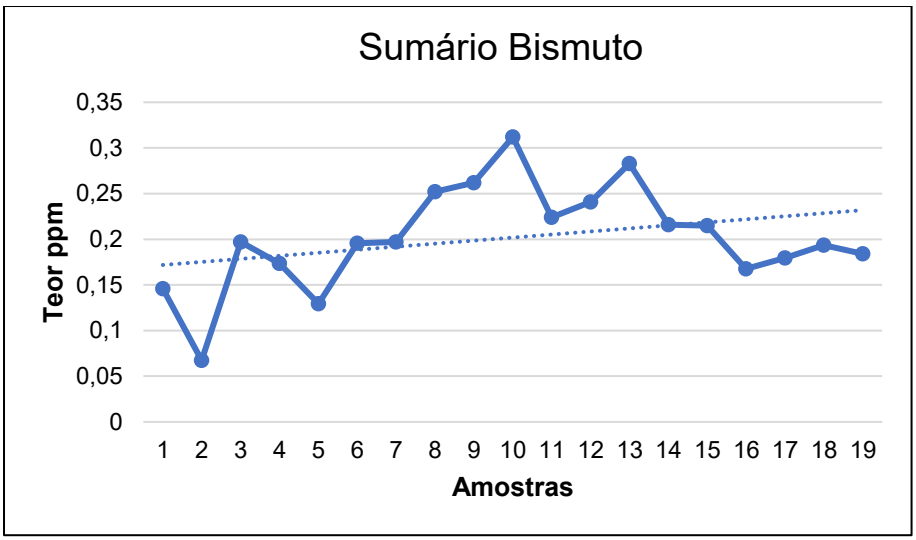


Figura 40 - Distribuição do bismuto



Pela visualização dos sumários gráficos, nota-se que a prata apresenta dois valores de *outliers* na região, nas amostras 5 e 12, sendo que cinco valores

ultrapassaram o Clarke. Ao passo que o bismuto, apresenta uma distribuição relativamente simétrica se compararmos as amostras centrais (entre 8 e 13) da região, o que corrobora com os resultados das análises químicas vistas anteriormente (tabela 7).

Figura 41 - Distribuição do cério

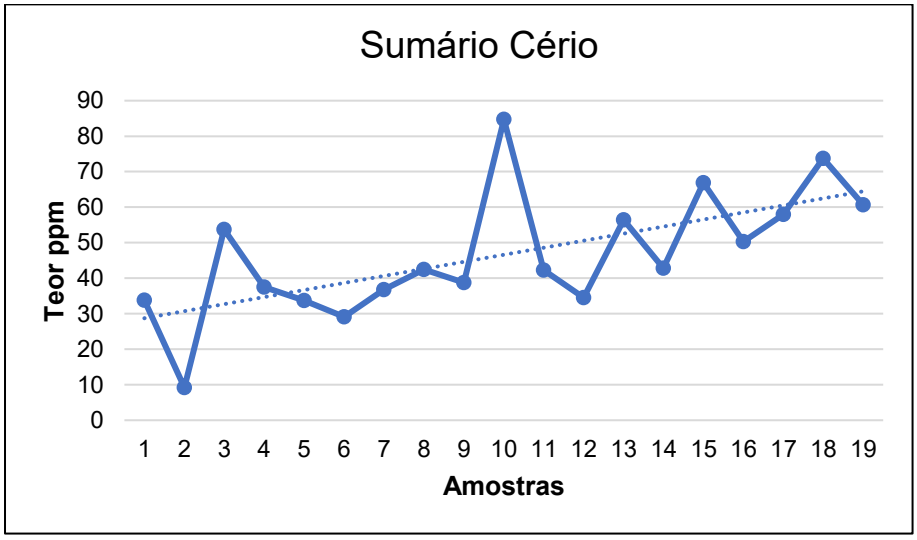
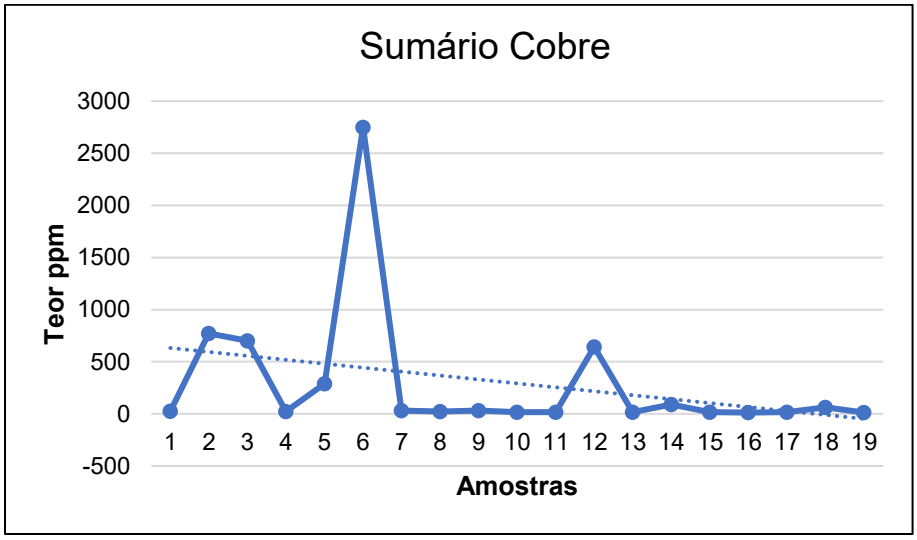


Figura 42 - Distribuição do cobre



O cério (figura 41), apresenta uma distribuição que vai aumentando a partir da montante do curso do rio Araguari rumo a jusante, indo da direção mais alta a mais baixa, além de um valor atípico em relação as demais amostras. Para o cobre (figura

42), devido elevados valores de suas análises químicas, nota-se uma grande diferença do outlier na amostra 6 para os demais nas amostras 2, 3 e 12, o que sugere que possa haver algum ponto na região com abundância deste bem mineral.

Figura 43 - Distribuição do lantânio

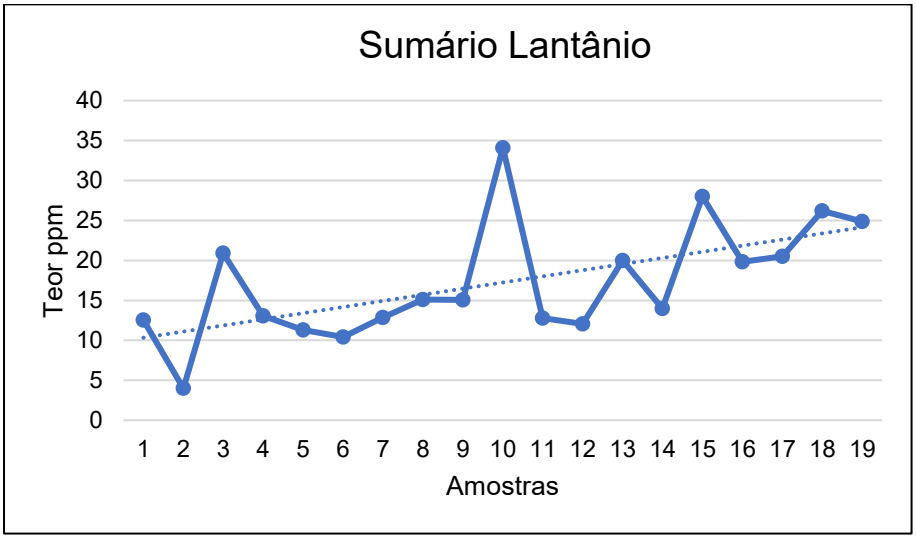
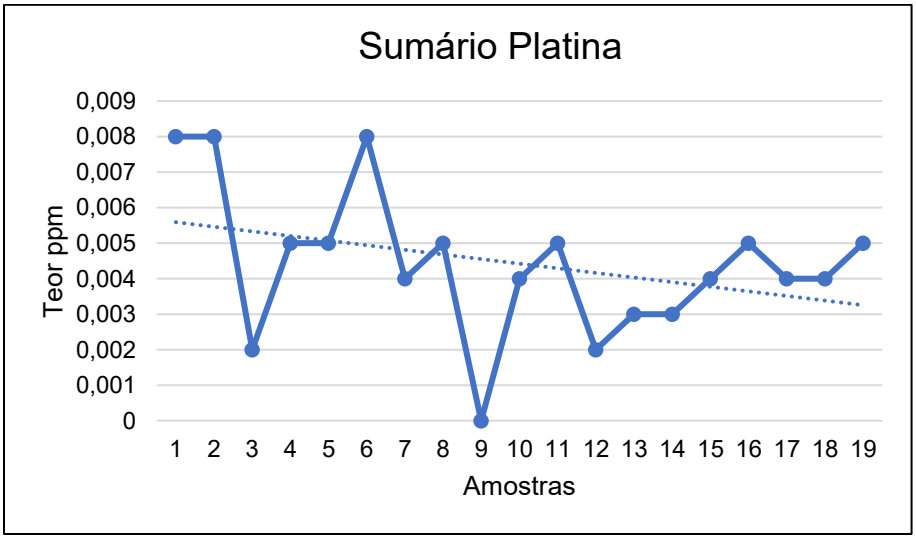


Figura 44 - Distribuição da Platina



O lantânio (figura 43) assim como o cério, apresenta uma distribuição que vai aumentando a partir da montante do curso do rio Araguari rumo a jusante, o que é bem comum, já que ambos fazem parte do grupo dos lantanídeos, além de ambos

apresentarem um valor acima do Clarke na amostra 10. No sumário da platina (figura 44), percebe-se que nas primeiras amostras da região a montante, os valores são mais elevados, ao passo que nas demais sofre algumas variações com o decorrer do curso do rio.

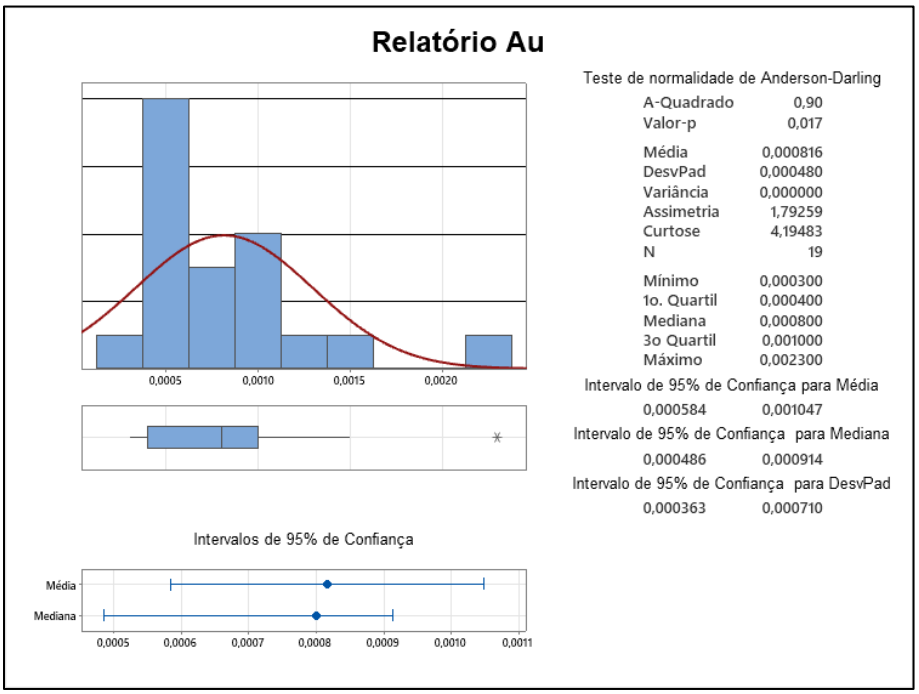
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA

Primeiramente na parte estatística, foi realizado um sumário gráfico a partir do software Minitab de forma a representar a análise univariada dos dados obtidos pela análise química, com índice de confiança de 95%. As Figuras 45 a 52 representam os resultados, constando entre eles os parâmetros utilizados neste estudo.

Na Figura 45, o histograma representa a distribuição do ouro em ppm, com uma curva em vermelho revelando uma assimetria na distribuição dos valores, devido a uma predominância de valores entre **0,0005** e **0,0010** ppm. Há um valor de **0,0023** ppm que foi considerado *outlier* dentre as amostras, o que corrobora com o método IDW utilizado anteriormente, e apesar de não estar acima dos valores de background Clarke, pode ser considerado uma anomalia presente na região.

Também podemos notar que a variância é próxima de zero, o que indica que os intervalos entre os valores máximo e mínimo não eram elevados, assim como outros pontos podem ter interferido nos resultados, como coleta das amostras, e demais testes em laboratório.

Figura 45 - Sumário gráfico para o ouro



Na Figura 46, notamos que a prata possui um gráfico semelhante ao ouro, com uma assimetria um pouco maior devido ter mais pontos com um mesmo valor em ppm, assim como uma variância mínima e a presença de dois *outliers* no estudo. Já na Figura 47, com os dados do arsênio, a assimetria e variância são maiores devido a inconformidade dos valores no espaço amostral, ao mesmo passo que também é apresentado um valor atípico.

Figura 46 - Sumário gráfico para a prata

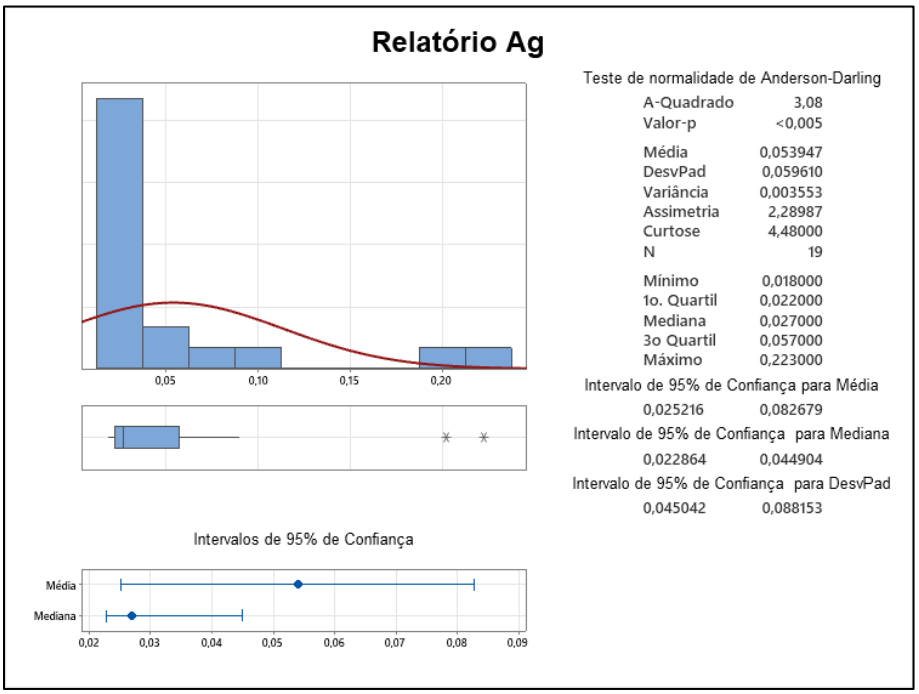


Figura 47 - Sumário gráfico para o arsênio

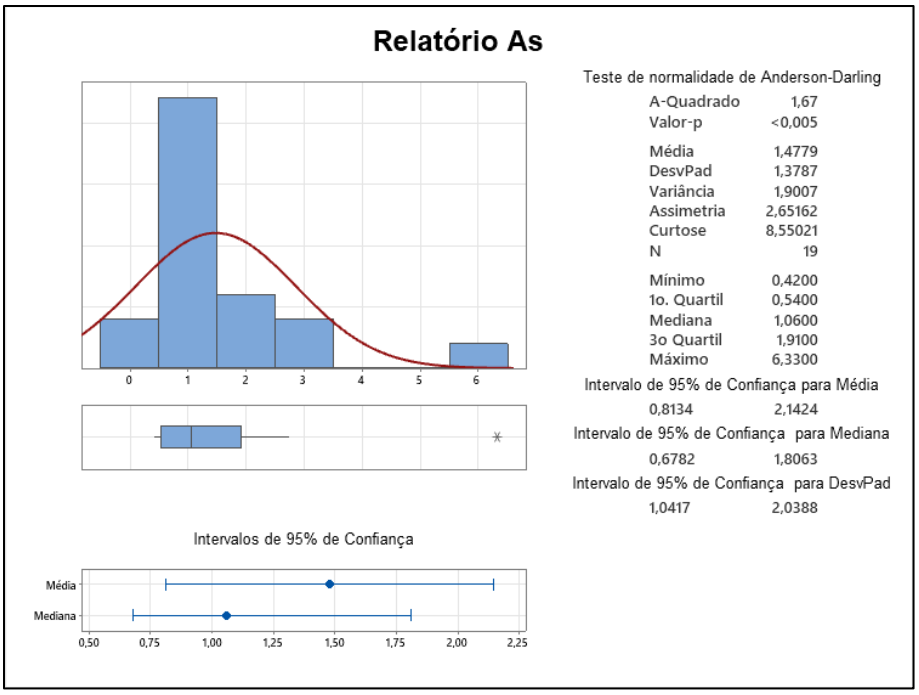


Figura 48 - Sumário gráfico para o bismuto

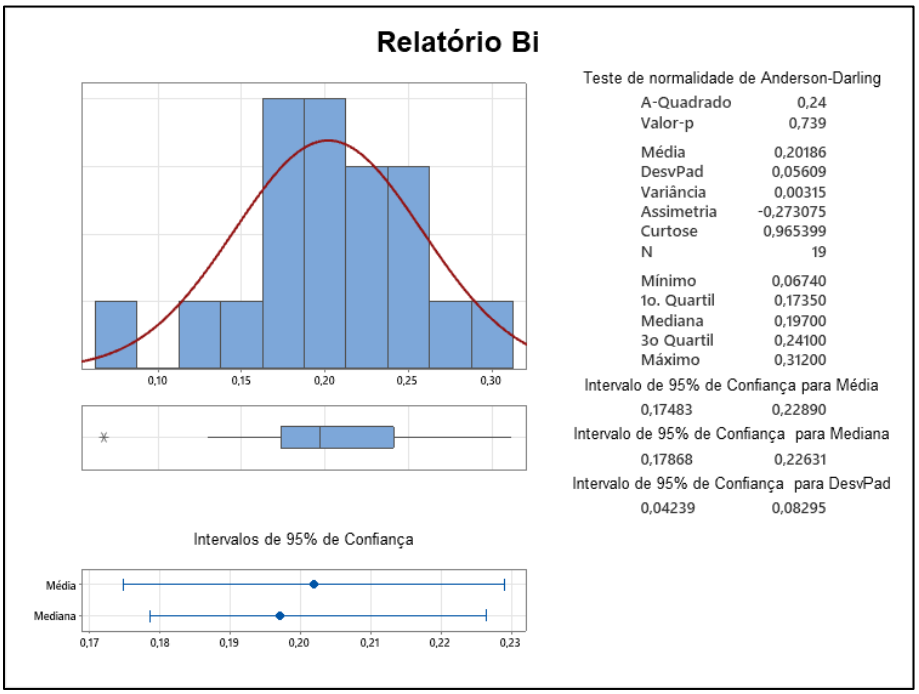


Figura 49 - Sumário gráfico para o cério

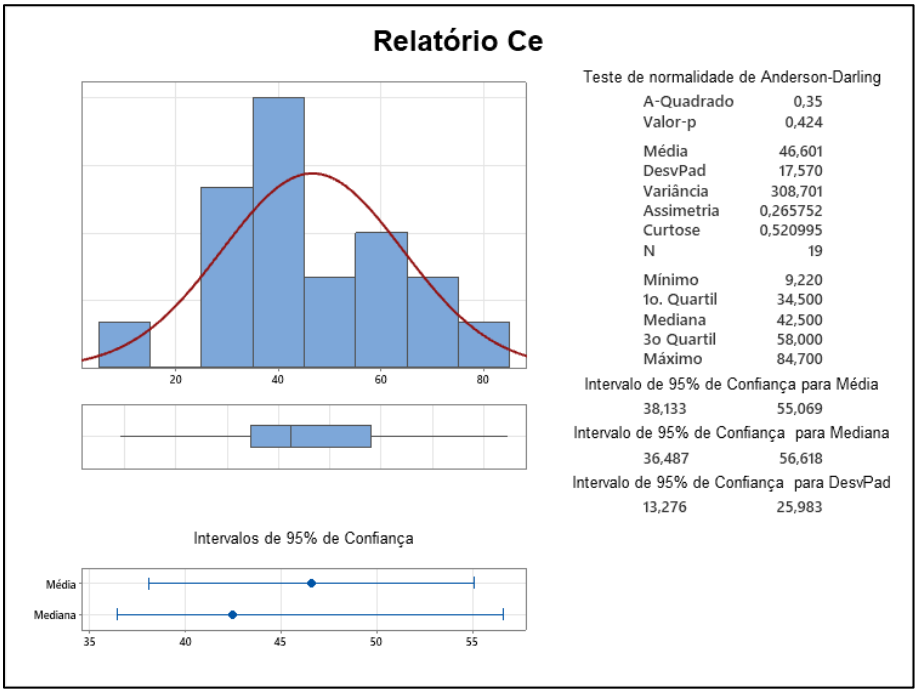


Figura 50 - Sumário gráfico para o cobre

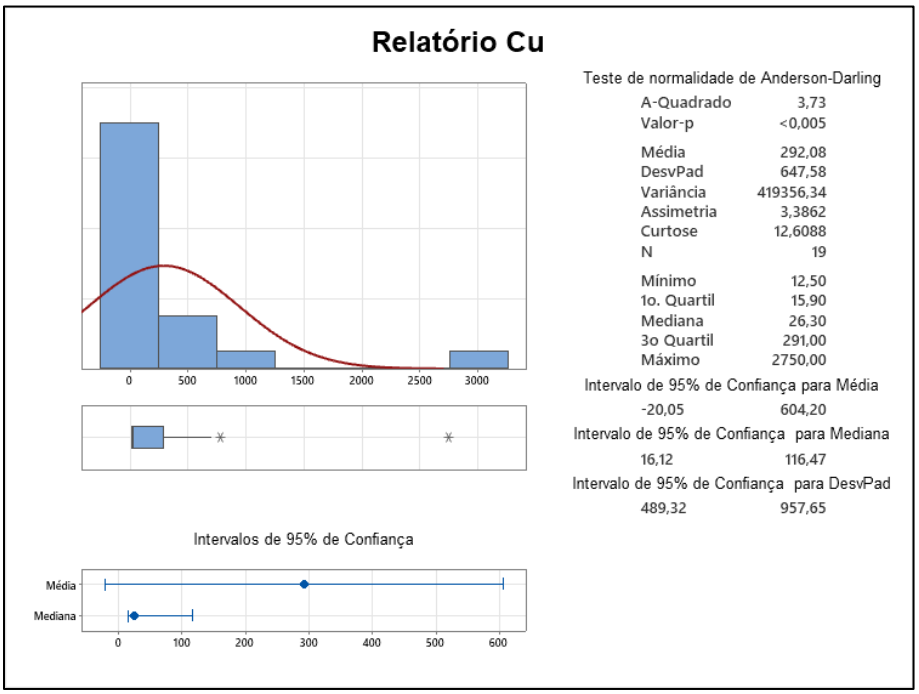


Figura 51 - Sumário gráfico para o lantânio

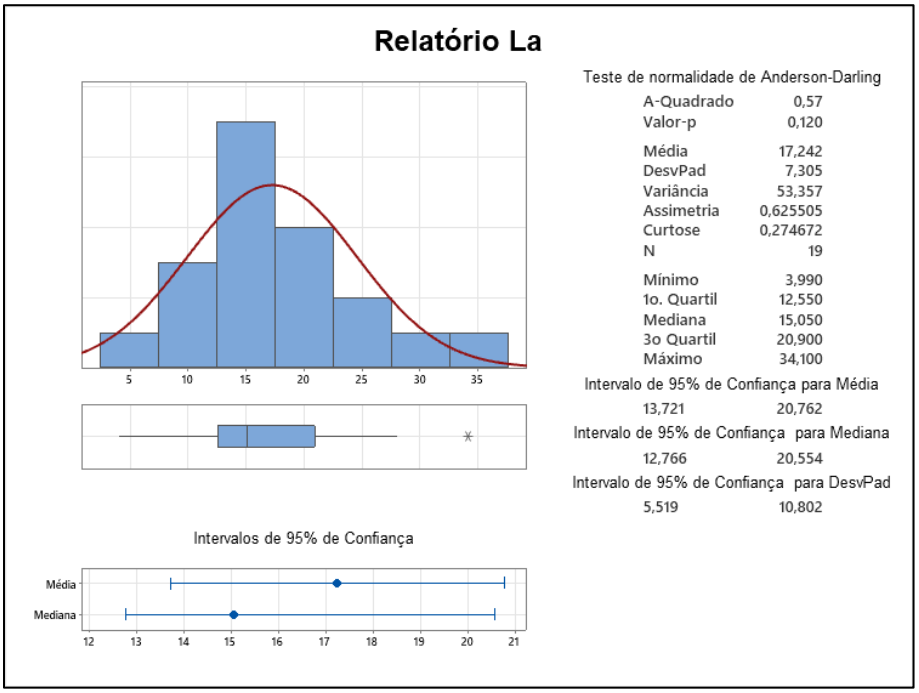
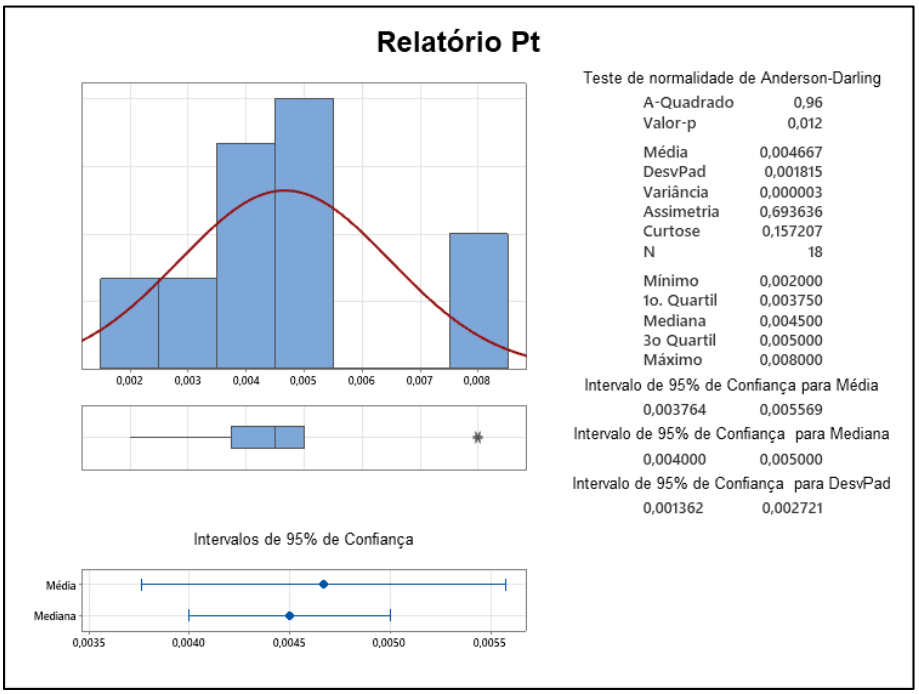


Figura 52 - Sumário gráfico para a platina



Na Figuras 50 são apresentados os dados do bismuto, com baixa variância e assimetria negativa, o que indica que há maior concentração de valores na zona com os maiores valores da amostra, além de estarem bem distribuídos espacialmente e conter apenas um valor atípico menor com relação aos demais. Na Figura 51 com os dados do cério, há uma elevada variância indicando que os valores encontrados no conjunto estão distantes do valor central, além de uma boa simetria no espaço amostral e nenhuma presença de valores anormais.

Na Figura 52 com os dados referentes ao cobre, há a presença de dois outliers, sendo um deles com um valor muito acima do background normal, acarretando numa assimetria no perfil e elevada variância do conjunto de dados. Na Figura 53, os dados do lantânio apresentam uma boa simetria, variância relativamente alta e uma boa distribuição das amostras, mesmo com a presença de um valor atípico.

Já na Figura 54, os dados da platina apresentam baixa assimetria e variância, com a presença de um valor atípico que apareceu duas vezes, o que pode indicar que nesses locais a presença do elemento pode ser mais frequente.

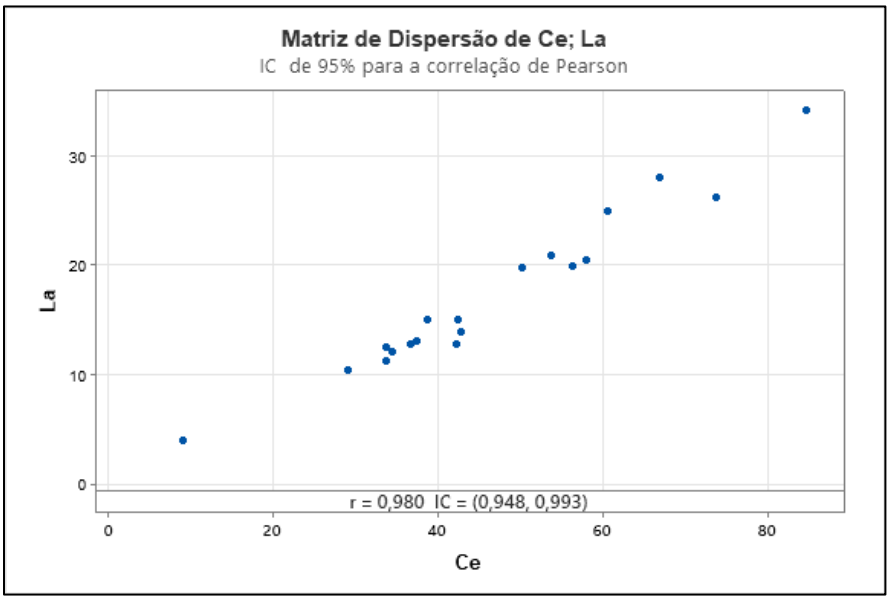
4.4 CORRELAÇÃO DE PEARSON

Foi realizada a correlação de Pearson para melhor entendimento dos resultados apresentados tanto nas análises químicas quanto na interpolação por IDW, além de melhor interpretação da relação entre esses elementos e a composição litológica da região (Tabela 10).

Tabela 10 - Correlação de Pearson para os elementos estudados

Matriz de Correlação							
	Au	Ag	As	Bi	Ce	Cu	La
Ag	0,3016						
As	0,5243	-0,1146					
Bi	-0,3101	0,0139	-0,4983				
Ce	-0,2858	-0,3578	-0,1073	0,5726			
Cu	0,3293	0,7597	-0,1123	-0,1786	-0,4004		
La	-0,2820	-0,3543	-0,1107	0,5289	0,9802	-0,3661	
Pt	0,0627	-0,0227	0,3657	-0,5763	-0,5130	0,3958	-0,4475

Figura 53 - Correlação gráfica entre Ce e La



Primeiramente percebe-se um índice de correlação relativamente baixo entre

Au-Ag, Au-Cu, As-Pt e Cu-Pt, que é natural devido a diversidade litológica presente na região enquadrando uma vasta gama de minerais e rochas, principalmente em depósitos do tipo *placer*. Vale destacar também, que mesmo não estabelecendo uma correlação entre Au-Bi, ambos elementos têm forte associação paragenética, sendo esta uma relação parcialmente atribuída a sobreposição na temperatura de formação dos depósitos de ouro e a fusão das assembleias nativas de bismuto e Au – Bi – Te – (S) (Ciobanu *et al*., 2010).

Há uma correlação de 0,52 entre Au-As, que é considerada natural partindo do ponto de vista que ambos são encontrados em conjunto na natureza, sendo o arsênio um elemento farejador (indicador) do ouro, assim como seus mapas de isoteores são bem similares. Também há duas correlações de 0,57 e 0,53 entre Bi-Ce e Bi-La, já evidenciadas nos mapas de isoteores entre Bi-Ce, e a outra estando relacionada a alta correlação analisada posteriormente.

Há uma correlação de 0,76 entre cobre e prata, devido ambos estarem frequentemente associados, o que pode ser um indicador da presença de calcopiritas, pirita e até outros tipos de minerais e rochas na região, seja também por elementos nativos, veios hidrotermais, minerais secundários de cobre, dentre outras possíveis mineralizações.

A maior correlação presente nas amostras coletadas é entre cério e lantânio (figura 53), ambos elementos leves de terras raras, conhecidos como lantanídeos. A forte correlação deles pode indicar a presença de Monazita (Ce, La, Th, Nd, Y)PO_4, que é um mineral encontrado em pegmatitos, veios, rochas metamórficas e sendo resistente ao intemperismo em depósitos de *placer* e em *paleopraias*. Também pode indicar a Bastnasita (Ce, La, Y)CO_3F, um fluorcarbonato encontrado em carbonatitos, pegmatitos de granitos alcalinos e corpos de minério formados por processos hidrotermais.

4.5 BACKGROUND LOCAL

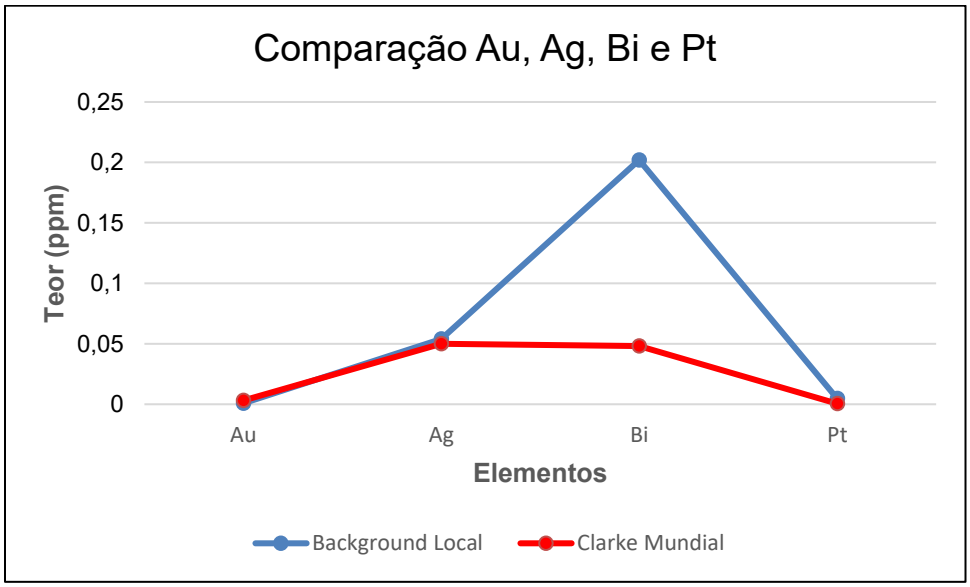
Foi realizada uma média das amostradas coletadas, de forma a inferir uma

Background local para a região com os elementos de interesse presentes, para efeitos de comparação com a abundância dos mesmos presentes na crosta terrestre.

Tabela 11 - Background Local e Clarke dos elementos em estudo

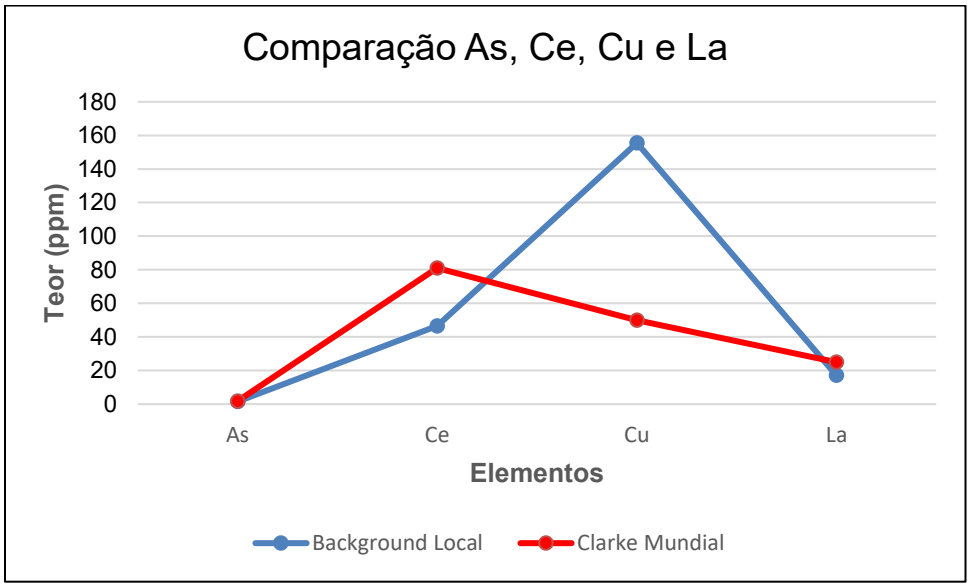
ppm	Au	Ag	As	Bi	Ce	Cu	La	Pt
Background Local	0,0008	0,054	1,48	0,202	46,6	155,5	17,24	0,0047
Clarke Mundial	0,003	0,05	1,8	0,048	81	50	25	0,0005

Figura 54 - Comparação dos elementos



De acordo com a tabela 11 e as Figuras 54 e 55, notamos que a prata, o bismuto e o cobre apresentam valores acima do clarke mundial, o que indica que em toda a área estudada, esses elementos estão presentes com valores anormais, sendo uma boa referência para mais estudos e busca de uma fonte primária deles.

Figura 55 - Comparação dos elementos

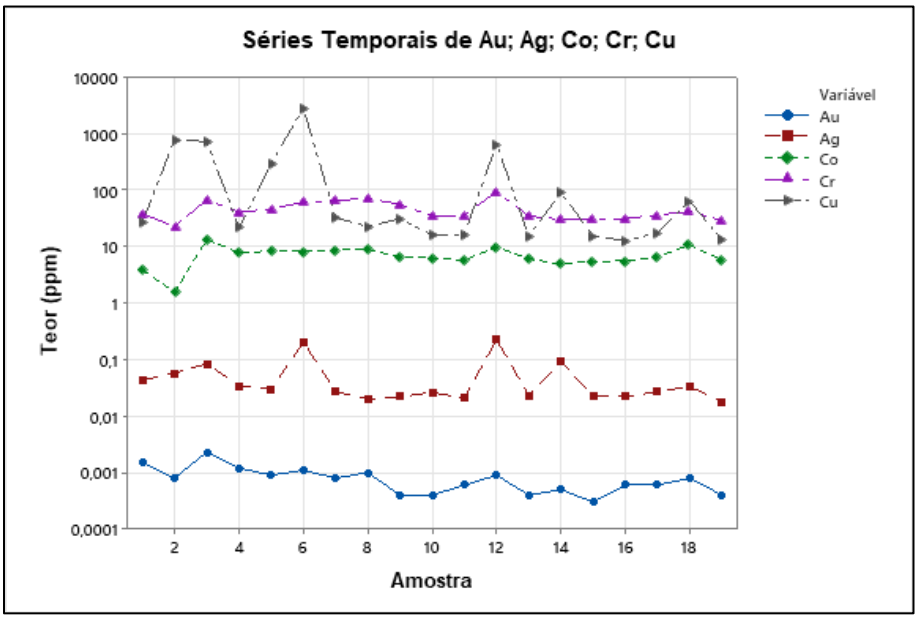


Já o ouro, arsênio, cério, lantânio e platina estão com valores abaixo do Clarke mundial, mas apesar disso, nos estudos anteriores todos os estes apresentaram valores anômalos, com exceção do cério. Sendo assim, há uma boa margem para mais estudos prospectivos acerca desses elementos nos locais chave, os quais apresentaram maiores valores que o teor de corte recomendado para extração mineral.

4.6 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS GEOQUÍMICOS

De acordo com as Figuras 56 a 64 abaixo, são apresentados os gráficos de séries temporais dos elementos estudados, de forma a padronizar e estabelecer uma relação entre eles.

Figura 56 - Curva gráfica metais de transição (ppm)



Nessa Figura 56, notamos uma semelhança entre o ouro e o cromo, que apesar de incomum, ambos podem ser encontrados juntos em rochas metamórficas de alto grau, como aquelas que sofreram deformação intensa ou em zonas de cisalhamento, que nestes casos, fluidos hidrotermais podem transportar metais e depositá-los em conjunto. O ouro também pode ser associado a cromita em depósitos aluviais onde ela é resistente, sobrevivendo a erosão e transporte.

Pela Figura 58, podemos notar alguns pontos onde há elevada concentração de zinco, em depósitos aluvionares pode indicar a presença de minerais como a esfalerita (sulfeto de zinco), smithsonita (carbonato de zinco) e calamina (silicato de zinco), devido estes minerais serem fontes comuns de zinco e podendo se concentrar em depósitos aluviais devido a sua resistência a erosão e transporte fluvial. Os principais minerais encontrados no Brasil contendo teores de zinco são willemita (Zn_2SiO_4) 58,5%, blenda/esfalerita (ZnFeS) 67% e calamina ($2ZnO.SiO_2.H_2O$) 54% (SANTOS, 2009).

Figura 57 - Curva gráfica metais de transição (ppm)

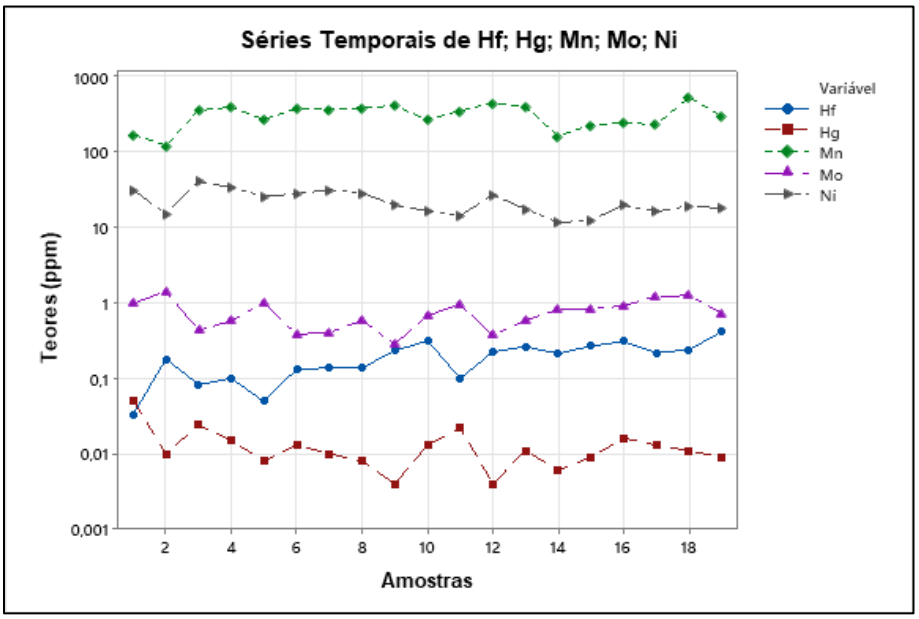


Figura 58 - Curva gráfica metais de transição (ppm)

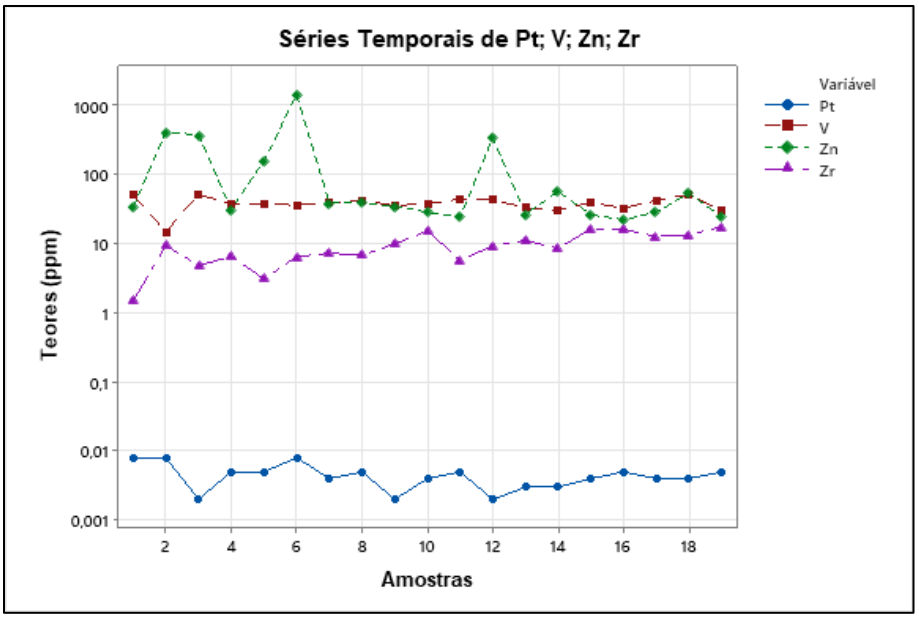


Figura 59 - Séries temporais dos metais alcalinos

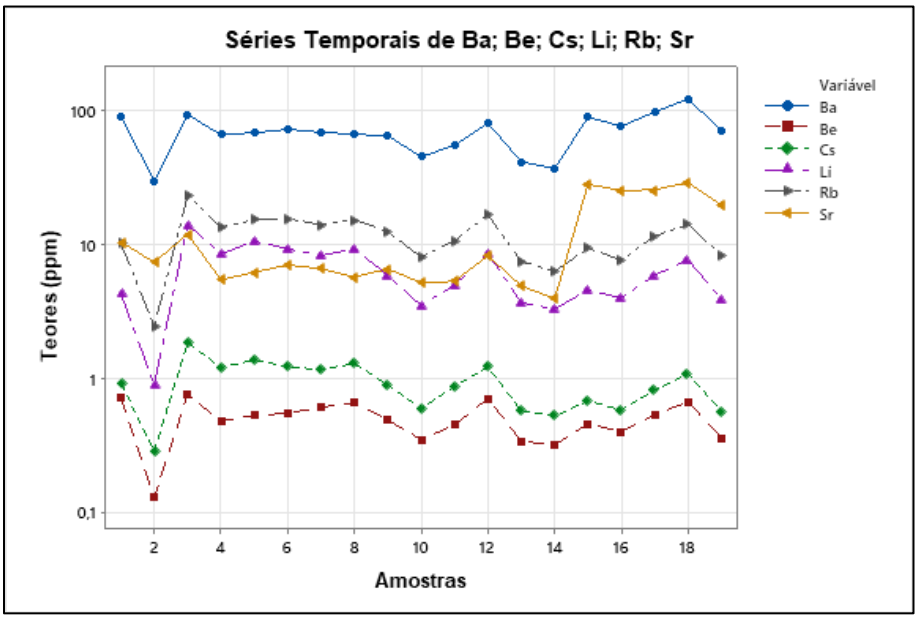


Figura 60 - Série gráfica dos semimetais

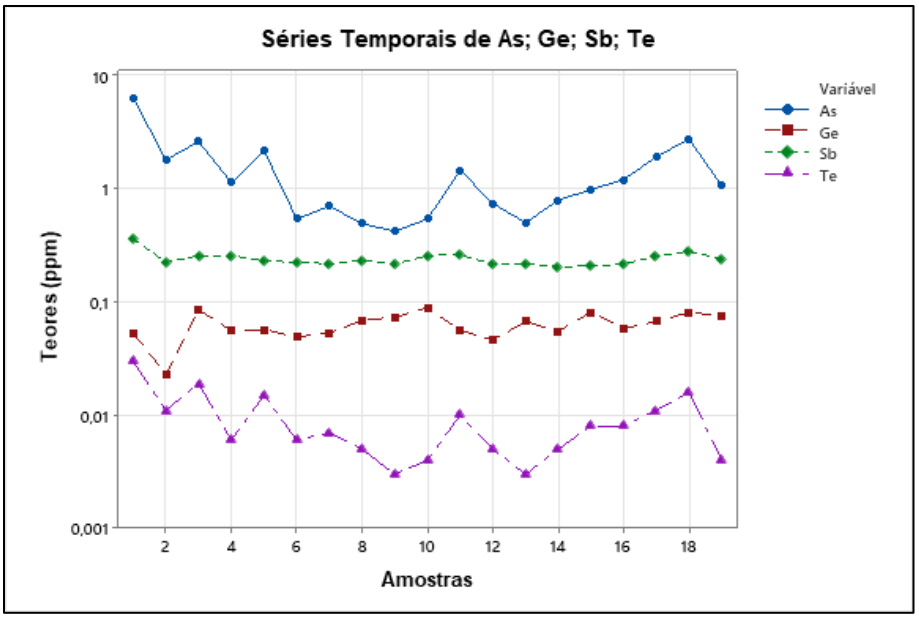


Figura 61 - Série gráfica dos elementos de terras raras

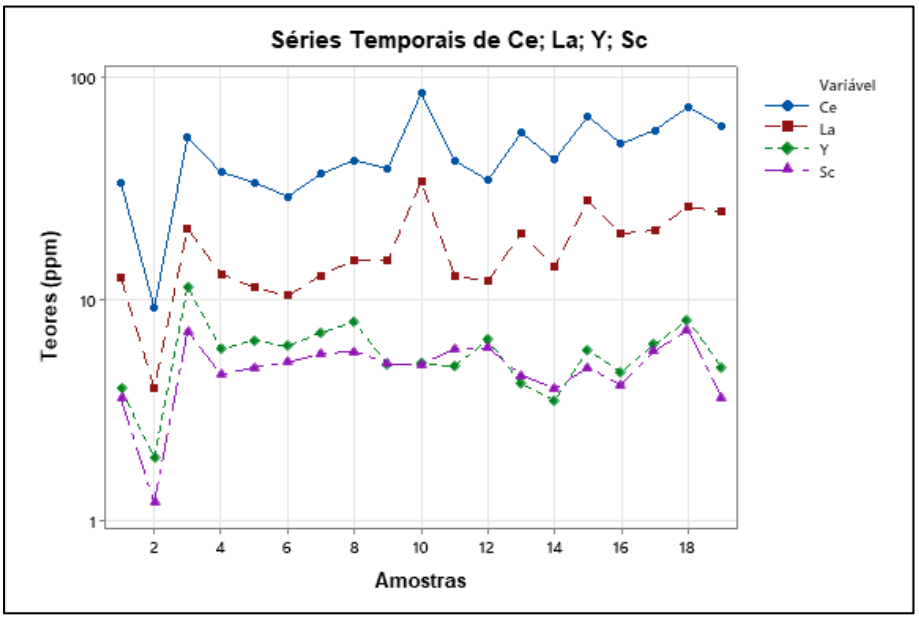


Figura 62 - Série gráfica de outros metais

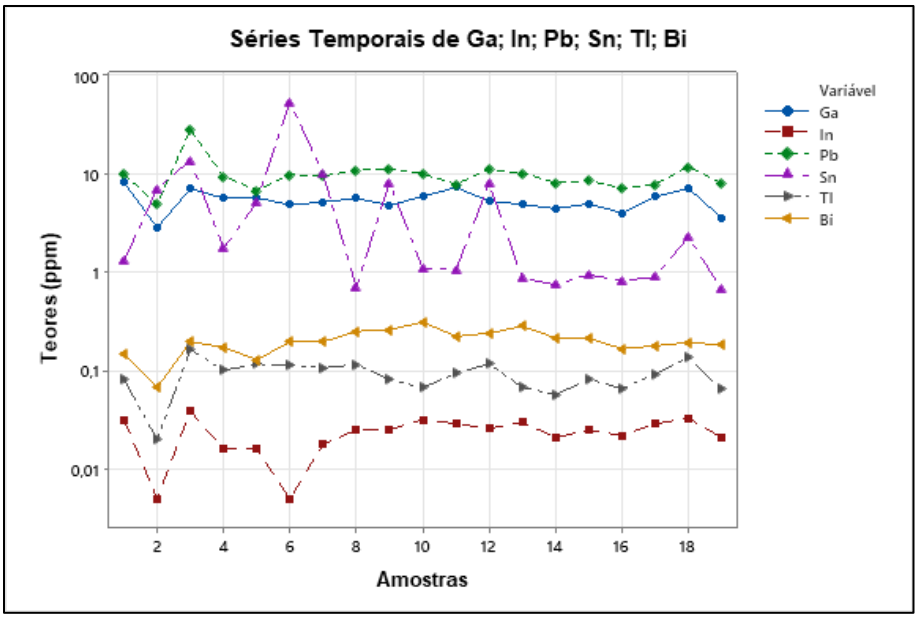


Figura 63 - Série gráfica de alguns elementos em %

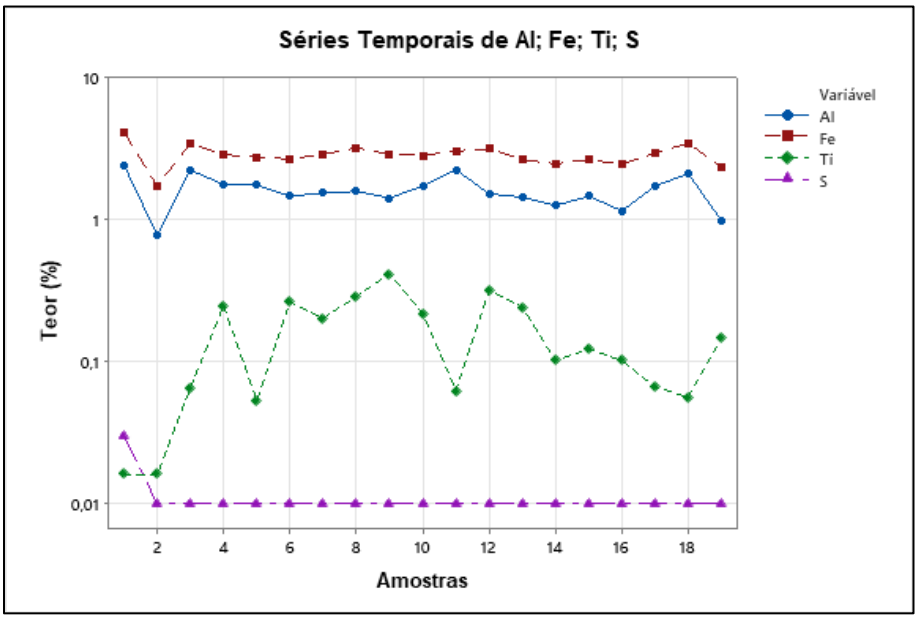
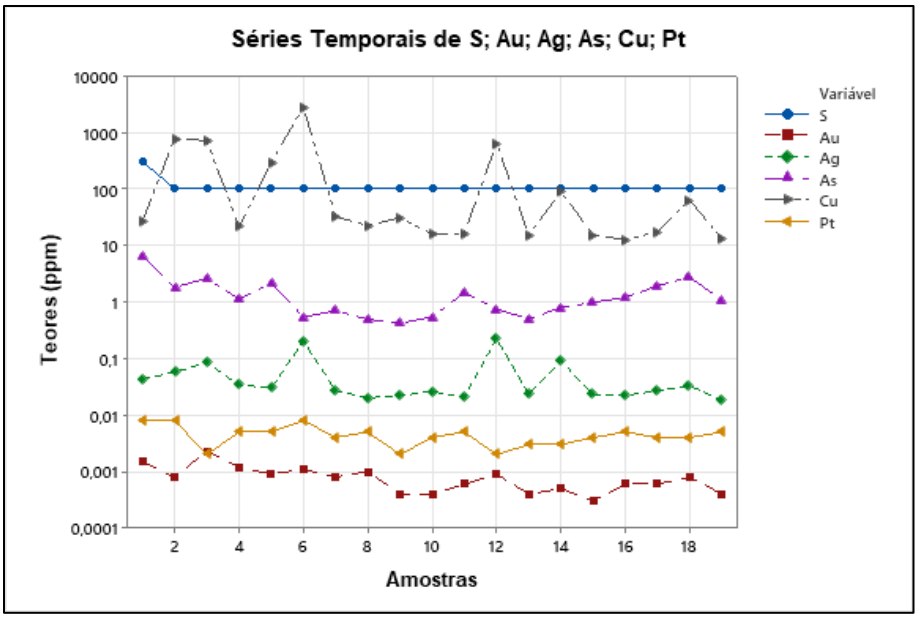


Figura 64 - Série gráfica de elementos estudados



Na Figura 59 observamos que os metais alcalinos e alcalinos terrosos apresentam curvas semelhantes, o que é plausível de acordo com suas propriedades com características semelhantes.

Na Figura 63 nota-se que há uma elevada presença do enxofre (S) e do titânio

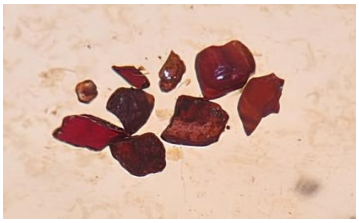
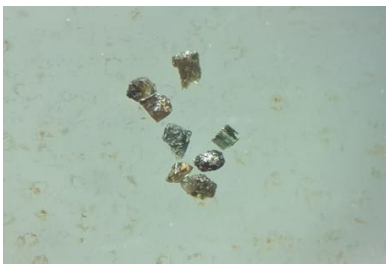
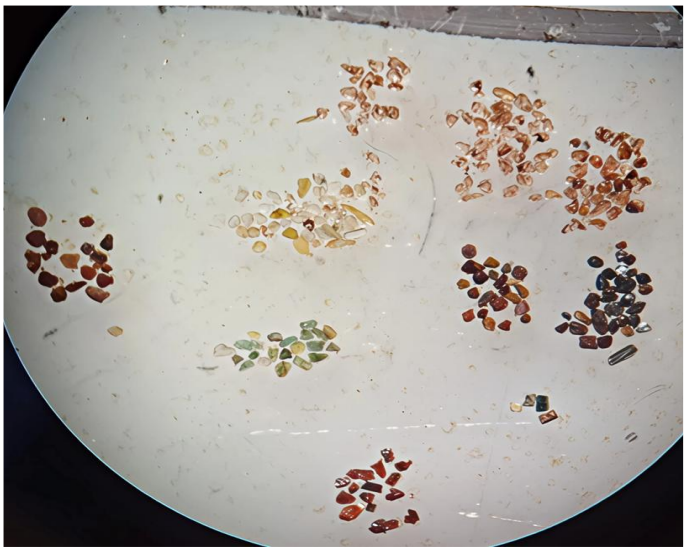
(Ti). No caso do enxofre, pode-se indicar a ocorrência de minerais como pirita (FeS_2), galena (PbS), esfalerita (ZnS), e sulfetos de cobre, além de minerais de sulfato como gipsita ($CaSO_4$) e barita ($BaSO_4$). Já para o titânio, indica-se ocorrência dos minerais ilmenita e rutilo, que são as principais fontes de titânio encontradas nesse tipo de ambiente geológico, mas também há leucoxênios que também podem ser encontrados, sendo um produto de alteração da ilmenita.

Nas figuras 58 e 64, há alguns detalhes interessantes como a curva do cobre se assemelhar a do zinco, indicando a ocorrência de minerais como a bornita (Cu_5FeS_4), calcopirita ($CuFeS_2$) e esfalerita (ZnS). Outro detalhe interessante é a presença de platina (figura 64) em maior quantidade em relação ao ouro, o que é bem incomum nesses ambientes geológicos, indicando presença da platina nativa, que ocorre na natureza geralmente misturada com ferro, irídio, paládio e níquel, ocorrendo em aluviões e em rochas básicas, como dunitos, piroxenitos e gabros (BRANCO, 2008). Ela também pode ocorrer associado a ligas Pt-Fe, calcopirita, cromita, magnetita, olivina, entre outras.

4.7 TRATAMENTO DOS MINERAIS DE ALUVIÃO EM LUPA ESTEREOMICROSCÓPICA

Como mencionado anteriormente, as amostras entre 40 e 60 mesh foram submetidas a diversas etapas, sendo que a fase final constou na classificação e visualização de alguns grãos minerais. A seguir será apresentada na tabela 12, alguns dos grãos minerais encontrados em grande parte na área amostrada, bem como alguns de menor abundância.

Tabela 12 - Grãos minerais do estudo

Granadas	Zircão
	
Opacos (contém ilmenitas)	**Anfibólios**
Anatásio	**Titanita e grãos verdes**
	
Diferentes espécies da amostra 8	
	

Considerando o âmbito geral das amostras estudadas, encontraram-se grãos de anatásio, anfibólio, ilmenita, granada, zircão, piroxênio, titanita, espinélio, leucoxênios e micas, sendo estes os de melhor identificação segundo as referências estudadas. Há também possíveis grãos de topázio, rutilo, estaurolita, apatita, cromita, pirita, diversas micas como clorita, muscovita e minerais que só seriam possíveis de identificar através da descoberta de sua composição.

Em toda a área amostrada, além de conter mica em todas as amostras, granadas avermelhadas, zircões e anfibólios estão presentes em toda a região, o que pode indicar um ambiente metamórfico, ou condições metamórficas de grau superior. A presença desses minerais sugere um protólito sedimentar que sofreu metamorfismo significativo, potencialmente envolvendo altas temperaturas e pressões.

Como a região tem predominância de metarenitos, e sendo as granadas minerais metamórficos comuns com sua presença em metarenitos, indica-se que a rocha experimentou temperaturas e pressões associadas a fácies anfibolita ou granulito.

Os anfibólios também são característicos do metamorfismo de fácies anfibolito, podendo se formar como resultado da quebra de outros minerais ou da cristalização direta de fluidos.

Já o zircão é durável e pode sobreviver ao metamorfismo, sendo útil para estudos de geocronologia (para datar o evento metamórfico) e a petrogênese. A presença dele pode indicar um protólito sedimentar original ou novo crescimento metamórfico de zircão.

O conjunto desses minerais no metarenito aponta para um ambiente metamórfico onde eles são estáveis. Geralmente estando dentro da fácies anfibolita, e ainda pode se estender em graus mais altos, como a fácies granulítica. Minerais como anfibólio, diopsídio, epídoto, plagioclásio, almandina, granada grossular, e wollastonita são tipicamente encontrados em rochas das fácies anfibolitas, o que pode apontar para alguns dos grãos não identificados das amostras (RAFFERTY, 2006, YOUNG, 2011).

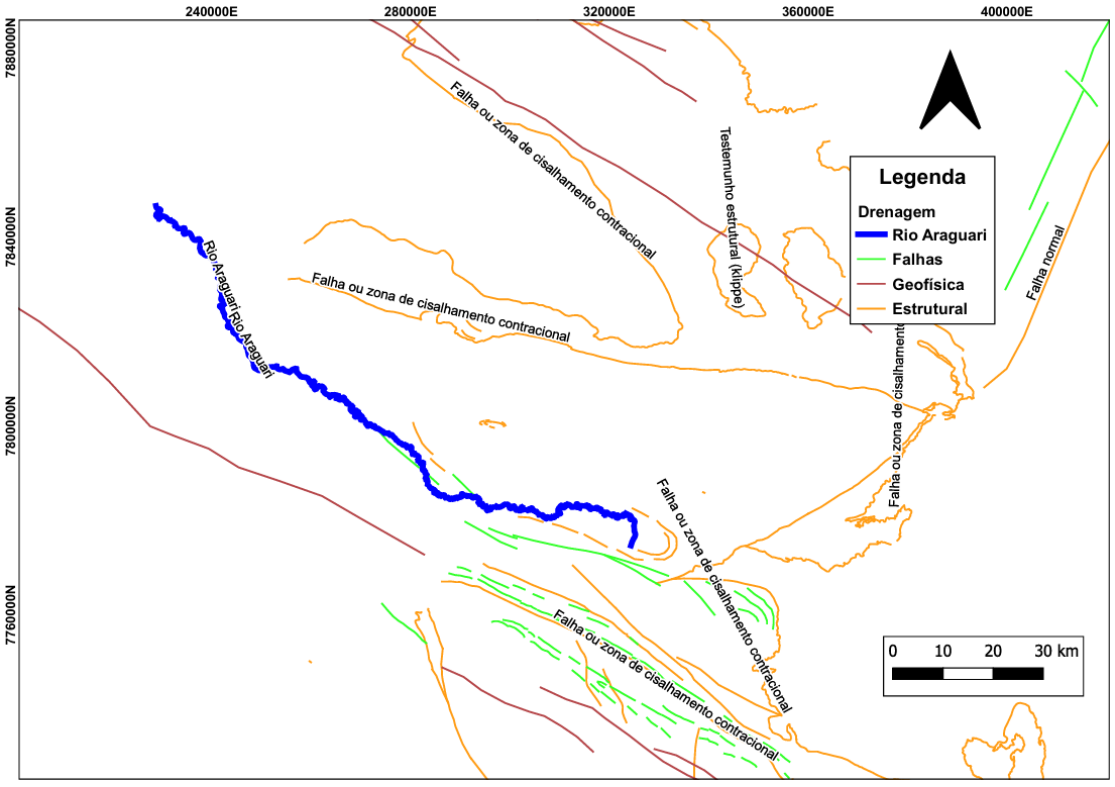
As condições específicas de pressão e temperatura, aliada a história metamórfica geral da rocha, podem ser investigadas posteriormente por meio de trabalhos futuros detalhados e estudos geocronológicos do zircão e de outros

minerais.

4.8 FALHAS E ZONAS DE CISALHAMENTO PRESENTES NA REGIÃO

De acordo com o mapa da Figura 65, nota-se falhas ou zonas de cisalhamento contracional (representado por laranja), falhas normais (verde) e anomalias geofísicas magnéticas, muitas preenchidas por diques básicos (vermelho). Essas zonas de cisalhamento contracionais podem ser importantes locais para a concentração de depósitos minerais, especialmente aqueles relacionados a fluidos hidrotermais que circulam ao longo dessas zonas (e.g., McCuaig and Kerrich, 1998), pois informam sobre a ocorrência de movimentos tectônicos que combinam componentes de cisalhamento (deslizamento horizontal) e compressão (aproximação).

Figura 65 - Mapa Estrutural da região no entorno do rio Araguari



Fonte: adaptado de Portal da Geologia

5 CONCLUSÃO

A seguir serão apresentadas as conclusões deste trabalho, sintetizando os resultados e utilizando-se de uma metodologia de comparação entre eles.

Segundo as análises químicas estudadas, a região contendo as amostras de 1 a 6 apresentam maiores teores de elementos pesados, dentre eles o ouro, a prata, o arsênio, o cobre e a platina. Estas se enquadrando numa região mais próxima do Parque da Canastra.

A partir da interpolação por IDW, nota-se que alguns elementos têm boa presença na área alvo, como os elementos de terras raras como cério e lantânio, além do bismuto, platina e ouro na parte leste. Sendo essa presença de ETR na região, relacionada provavelmente a depósitos minerais associados a atividades vulcânicas extintas e instrusões ígneas, além de ocorrências em áreas costeiras e de sedimentação.

Já o bismuto é encontrado em uma variedade de sistemas mineralizados, em que as fontes mais comuns são *skarns* ricos em W-, Pb- e, ocasionalmente Au, enquanto depósitos de veios de cinco elementos (Co-Ni-Bi-Ag-As ± U) foram historicamente uma importante fonte de Bi nativo. Também está presente em concentrações vestigiais na mineralização Mo-W hospedada em pórfiro e em alguns depósitos reduzidos de ouro relacionados à intrusão, e em alguns depósitos orogênicos. Há também os chamados depósitos VMS (Vulcanogênicos de sulfeto maciço), que podem hospedar mineralizações menores de Bi, normalmente associadas às partes ricas em Au do sistema mineralizado (Deady *et al.*, 2022).

Pelos gráficos de estatística univariada, notamos valores atípicos de ouro, prata, arsênio, cobre, lantânio e platina, o que indica uma anomalia importante de se estudar para a mineração, visto que não há didática disponível que afirme a ocorrência da platina em proporções maiores que o ouro nesses ambientes. Enquanto o cério e bismuto se apresentam amplamente espalhados na região, com maior concentração na parte central.

Através do estudo de correlação, cério e lantânio apresentaram uma forte semelhança, ambos fazendo parte do grupo dos lantanídeos e já usualmente

ocorridos juntos na natureza, assim como a boa correlação entre Ag-Cu, devido ambos estarem frequentemente associados, podendo indicar presença de calcopiritas, pirita e até outros tipos de minerais e rochas na região, além de outros elementos de fontes secundárias.

De acordo com o estudo de *background* regional, a prata, o bismuto e o cobre apresentaram valores mais altos em relação ao *Clarke* mundial, sendo que o bismuto e cobre tem valores muito acima, no caso do Bi, pode-se inferir que sua ocorrência na região pode ser constante, principalmente na porção central da região, ao passo que o cobre apresenta anomalias em determinados pontos da área, isto em comparação com os dados das análises químicas.

Analisando os gráficos de séries temporais, visualizou-se o comportamento dos elementos nos pontos estudados, os quais se assemelharam devido suas propriedades, como os elementos de terras raras (Ce, La, Y e Sc), os semimetais (As, Ge, Sb e Te), metais alcalinos (Ba, Be, Cs, Li, La e Sr) e metais de transição (Ag, Au, Co, Cr, Cu, Hf, Hg, Mo, Mn, Ni, Pt, V, Zn e Zr).

E através do estudo de grãos minerais, foram identificados minerais, tais como micas, anfibólios, piroxênios, leucoxênios, granadas, titanitas, zircões, ilmenitas, espinélios e diversos minerais que necessitam de mais técnicas para sua identificação.

Os resultados obtidos, embora tenham contribuído para o conhecimento prospectivo da região, indicam que são necessárias novas etapas de pesquisa e prospecção mineral porque importantes contrastes geoquímicos foram apurados na etapa ora concluída. É o caso por exemplo dos conteúdos de platina, cobre e bismuto presentes na região. Relativamente ao ouro, muito embora não tenha sido encontrado em valores acima do Clarke, as informações geológicas acerca do Grupo Canastra na região indicam a presença de falhas ou zonas de cisalhamento contracional, falhas normais, muitas delas preenchidas por diques básicos, além de anomalias geofísicas magnéticas (Portal da geologia, 2014). Essas zonas de cisalhamento contracionais podem ser importantes locais para a concentração de depósitos minerais, especialmente aqueles relacionados a fluidos hidrotermais que circulam ao longo dessas zonas (McCuaig e Kerrich, 1998). Além disso, com já dito anteriormente, o ouro já foi extraído dos aluviões do rio Araguari no passado e, recentemente, em

Queiroz (2022), esse elemento foi encontrado em drenagens da margem sul do rio, nas imediações do Distrito de Desemboque. Tais considerações abrem novas perspectivas à prospecção de corpos minerais na Bacia do Araguari, assim como pesquisas adicionais nos minerais identificados macroscopicamente no intuito de definir sua composição química.

Continuamente, recomenda-se estudos de datação geológica para determinar idade de alguns corpos mineralizados e técnicas analíticas para determinar a composição de minerais com exatidão, aliadas a estudos indiretos como os geofísicos da gravimetria para medir variações no campo gravitacional da Terra, possibilitando identificar bacias sedimentares e estruturas geológicas na região, assim como da magnetometria para revelar lineamentos, intrusões ígneas e falhas.

Sendo assim, trabalhos futuros são ainda necessários para determinar se esses aspectos, presentes em certos locais da região, podem ser aplicados para determinar fontes rentáveis para extração econômica de modo geral, através da quantificação dos corpos minerais ali presentes.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J.; GERHARDT, T. E.; MIGUEL, L. de A.; NETTO, C. G. A. M.; VERDUM, R.; BECK, F. de L.; ZANONI, M. **Pesquisa interdisciplinar na pós-graduação: (des)caminhos de uma experiência em andamento.** Revista Brasileira de Pós-Graduação, [S. l.], v. 1, n. 2, 2011. DOI: 10.21713/2358-2332.2004.v1.44. Disponível em: https://rbpg.capes.gov.br/rbpg/article/view/44. Acesso em: 26 nov. 2023.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. - 1968 - **Evolução tectônica do Centro Oeste Brasileiro no Proterozóico Superior**. An. Acad. Bras. Ciên. 40 (Suplemento): 285-295.

ANDRADE, R. G. **Prospecção geoquímica de elementos metálicos e farejadores de ouro no distrito de Desemboque, município de Sacramento/MG.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá.

BARBOSA O. 1951. **Contribuição à Origem do Diamante em Diamantina, Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: DNPM, Boletim nº 136. 37 p.

BARBOSA, O. **Guia das Excursões do IX Congresso da Sociedade Brasileiro de Geologia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1955. p. 3-5.

BARBOSA, O. **Diamante no Brasil: - Histórico, Ocorrência, Prospecção e Lavra**. 1991. Brasília. CPRM, Boletim. 136p.

BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; DYER, R. C.; CUNHA, C. A. B. R. **Geologia da Região do Triângulo Mineiro.** Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral, Rio de Janeiro: DNPM, 1970, v. 136.

BARNICOAT A. C. 2008. **The pmd*CRCs Mineral Systems approach**. In: Korsch RJ, Barnicoat AC (eds) New Perspective: The Foundations and Future of Australian Exploration. Conference, Perth, Geoscience Australia, 2008/09, pp 7-16.

BENITEZ L. 2009. **Províncias diamantíferas de Minas Gerais: uma proposta para a caracterização de populações de diamantes típicas como subsídio à Certificação Kimberley**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UFMG, 223 p.

BENITEZ, L. e CHAVES, M.L.S.C. **Província Diamantífera da Serra da Canastra (MG).** In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 13. Anais... Diamantina: SBG-MG, 2007. p.138.

BOLOGNA, M.S.; PADILHA, A.L.; VITORELLO, I.; FONTES, S.L. **Tectonic insight into a pericratonic subcrustal lithosphere affected by anorogenic Cretaceous magmatism in Central Brazil inferred from long-period magnetotellurics**. Earth and Planetary Science Letters, v. 241, p. 603-616, 2006.

BOYLE, R.W. Geochemistry overview. In: HOOD, P.J. **Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores**. Economic Geology Report, v. 31, p. 25-31, 1979. DOI: https://doi.org/10.1017/S0016756800028739.

BOYLE, R.W. (1979): **The geochemistry of gold and its deposits**. Geological Survey of Canada, Bulletin 280, 584 pages.

BRANCO, Pércio de Moraes. **Dicionário de Mineralogia e Gemologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 608 p.Il.

CABRI L. J., OBERTHÜR. T., KEAYS. R. R. **Origin and depositional history of platinum-group minerals in placers – A critical review of facts and fiction.** Ore Geology Reviews, Volume 144, May 2022, 104733.

CAMPOS, C. T. **A gênese dos diamantes e o histórico de ocorrências na**

província do médio rio Grande. https://www.linkedin.com/pulse/gênese-dos-diamantes-e-o-histórico-de-ocorrências-na-caio, 2020.

CAVALCANTI NETO, Mário T. de O. **Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração.** http://www.pesquisamineralcefet.hpg.com.br. DIETREN/IFRN, Natal/RN, 2008.

CAVALCANTI NETO, M. T. O. e ROCHA, A. M. R., **Noções de prospecção e pesquisa mineral para técnicos de geologia e mineração.** Natal/RN: Editora do IFRN-RN, 2010.

CHAVES, M.L.S.C. **Geologia e mineralogia do diamante da Serra do Espinhaço em Minas Gerais**. Belo Horizonte,1997. 289 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

CHAVES, M. L. S. C.; CARDOSO, L. M. C. F. **Diamante: a pedra, a gema, a lenda**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. E-book. ISBN 9788579750229.

CHAVES, M.L.S.C.; Benitez, L.; Veiga, B. N.; Moreira, L. A., 2005. **Microdiamantes da bacia do rio Douradinho (Coromandel): morfologia primaria e aspectos e dissolução**. In:SBG-MG, Simpósio Brasileiro de Geologia do Diamante. Diamantina. Boletim,14, p. 39-42.

CHAVES, M, L, S, C. *et al*. **Província Diamantífera da Serra da Canastra e o Kimberlito Canastras-1: Primeira Fonte Primária de Diamantes Economicamente Viável do País.** 2008. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha.

CHAVES M.L.S.C., BRANDÃO P.R.G., GIRODO A.C., BENITEZ L. 2008. **Kimberlito Canastra-1 (São Roque de Mi- nas, MG): geologia, mineralogia e reservas diamantíferas**. REM: R. Esc. Minas, 61(3): 357-364.

CLIFFORD, T. N. 1966. **Tectono-metalogenic units and metallogenic provinces of Africa**. Earth and Planetary Science Letters, 1:421-434.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

COOKENBOO H.O. 2005. **Exploration for diamond-bearing kimberlite in the Brasilia Belt of Minas Gerais**. IV Simpósio Brasileiro de Geologia do Diamante, SBG, Núcleo de Minas Gerais, Boletim nº14, p. 51-53.

COSTA, L. **Maior diamante das Américas é mineiro, mas não está em Minas.** Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2023/10/21/interna_gerais,1579672/maior-diamante-das-americas-e-mineiro-mas-nao-esta-em-minas.shtml

DARDENNE, M. A. **The Brasilia Fold Belt.** In: CORDANI, U. G. *et al*. **Tectonic Evolution of South America.** Rio de Janeiro: SBG, 2000. p. 231-263.

DEADY. E. *et al*. **Bismuth: Economic geology and value chains**. Ore Geology Reviews. Volume 143, 2022.

DENCKER, Ada de Freitas Maneti. **Métodos e técnicas de pesquisa em turismo.** 4. ed. São Paulo: Futura, 2000.

ETCHEBEHERE, M. L.; Ponçano, W. L.; Silva, R.B. 1991. **Garimpos de diamantes da região de Franca, SP**. revista IG-USP, 12:67-77.

GARCIA, M. D. M. 2004. **Prospecção mineral para kimberlito: Estudo de caso na Serra da Canastra, ênfase em magnetometria**. Dissertação de Mestrado de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 128 p.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5. ed. São

Paulo: Atlas, 2006.

GROVES, D. I.; GOLDFARB, R. J.; GEBRE-MARIAM, M.; HAGEMANN, S. G.; HEALING, R. A. **Orogenic gold deposits: a proposed new classification.** Econ. Geol. Monograph 10, 1998.

GRIMWADE M. 2000. **A plain man's guide to alloy phase diagrams: Their use in jewellery manufacture**. Part 2. Gold Technology 30: 8-15.

GUIMARÃES, D. 1955. **Princípios de metalogênese e geologia econômica do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, Boletim DNPM/DFPM, 121.

HELMSTAEDT H.H., GURNEY J.J., RICHARDSON S.H. 2010. **Ages of cratonic diamonds and lithosphere evolution: constraints on Precambrian tectonics and diamond exploration**. The Canadian Mineralogist, 48(6):1385-1408.

HOUGH R. M., BUTT C. R. M. and BÜHNER J. F. **Crystallography, Metallography and Composition of Gold.** 2009. 1811-5209/09/0005-0297$2.50 DOI: 10.2113/gselements.5.5.297.

JOHN L. WALSHE and JAMES S. C. **Gold Deposits: Where, When and Why.** October 2009.1811-5209/09/0005-0288$2.50 DOI: 10.2113/gselements.5.5.288

KUN, N. 1963. **The mineralogenetic provinces of Africa**. Economic Geology, 58:774-790.

MENEZES, P.T.L. e GARCIA, M.D.M. 2007. **Kimberlite exploration at Serra da Canastra province, Brazil**. Geophysics, 72: M1-M5.

MASON, B.; MOORE, C. B. **Principles of Geochemistry**. 1982. Fourth edition. John Wiley & Sons. 344 p.

MCCUAIG, C; KERRICH, R. **P-T-t-Deformation-Fluid Characteristics of**

Lode Gold Deposits: Evidence from Alteration Systematics. 1998. Ore Geology Reviews, 12, 381-453.

MITCHELL R. H. 1986. **Kimberlites: mineralogy, geochemistry, and petrology.** New York: Plenum Press, 442 p.

NASCIMENTO, R. **Bacia Hidrográfica Araguari-MG.** 2021. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/araguari-mg>. Acesso em: 4 jun. 2024.

NETO, I. *et al*. **Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado de Minas Gerais e Regiões Adjacentes.** 2017. Disponível em: < https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17615>. Acesso em: 4 jun. 2024.

PALENIK, C.S., UTSUNOMIYA, S., REICH, M., KESLER, S.E., WANG, L.M., and EWING, R.C., 2004, ‘‘**Invisible’’ Au revealed: Direct imaging of Au nanoparticles in a Carlin-type deposit: American Mineralogist**. v. 89, p. 1359–1366.

PALME, H.; O'NEILL, H. St C. **Cosmochemical estimates of mantle composition**. Treatise on geochemistry, Elsevier, v. 2, p. 568, 2003.

PAULSEN, S.; BOSUM, W.; HAGENS, D.; LACERDA, G. M.; LIMA, G. E. S. 1974. **Relatório de reconhecimento geológico-geotécnico.** Pratinha – Argenita – Tapira – Serra da Canastra, MG. DNPM / CPRM / BFB. 56p.

PEDROSA SOARES, A. C.; DARDENNE, M. A.; HASUI, Y.; CASTRO, F. D. C.; CARVALHO, V. A.; REIS, A. C.1994. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais.** Escala 1:1.000.000.

PENIDO, F. BRUMER. W. e HENRIQUE. P. **Exportação de minérios foi crucial para manter saldo da balança comercial positivo em 2021.** 2022.

Disponível em: < https://ibram.org.br/release/exportacao-de-minerios-foi-crucial-para-manter-saldo-da-balanca-comercial-positivo-em-2021>.

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

PEREIRA, L. F. **Relações tectono-estratigráficas entre as unidades Canastra e Ibiá na região de Coromandel, MG.** 2014. Dissertação Mestrado em Geociências. Departamento de Geoquímica e Recursos Minerais.

PEREIRA, L. F. *et al*. **Evolução Geológica dos Grupos Canastra e Ibiá na região entre Coromandel e Guarda-Mor, MG.** Periódicos, Geonomos - v.2 n.1 (1994).

PEREIRA, R. S. 2007. **Cráton do São Francisco, Kimberlitos e Diamantes**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 200p.

PEREIRA R.S. e FUCK R.A. 2005. **Archean Nucleii and the distribution of kimberlite and related rocks in the São Francisco Craton, Brazil**. Revista Brasileira de Geociências 35(3): 297- 310.

PERDONCINI, L.C. **Evolução tectôno sedimentar mesozóico-cenozóica da região de Franca**. Rio Claro, 2003.245 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

PETRASCHECK, W. E. 1965. **Typical features of metallogenic provinces**. Economic Geology, 60:1620-1634.

PINTO C.P. e SILVA M.A. 2014. **Estado de Minas Gerais: Mapa Geológico e Mapa de Recursos Minerais em Sistema de Informação Geográfica (SIG).** Escala 1:1.000.000. Belo Horizonte: CPRM/CODEMIG. (CD-ROM).

PONTES, H. **História de Uberaba e a civilização no Brasil central.** Uberaba: Academia de Letras do Triângulo Mineiro, 1978.

QUEIROZ, D. M. R. **Prospecção geoquímica na região do Desemboque/MG.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá.

RAFFERTY, J. P.; YOUNG, G. **Regional metamorphism in metamorphic rock: Amphibolite facies.** Britannica, 2006.

REINECK, H. E. e SINGH, I. B. **Depositional Sedimentary Environments**. (1973 (439 p.). Springer-Verlag. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-96291-2.

REIS, E. 1959. **Os grandes diamantes brasileiros**. Boletim DNPM/DGM, 191:1-66.

RODRIGUES, S; OLIVEIRA, P. **Hidrografia da Bacia do Rio Araguari.** Uberlândia, 2007.

RODRIGUES, S.C. **Mudanças ambientais na região do cerrado. Análise das causas e efeitos da ocupação e uso do solo sobre o relevo. o caso da bacia hidrográfica do rio Araguari, MG.** 2002. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, N° 12, pp. 105 - 124, 2002.

RODRIGUES J. B., Pimentel, M. M., Dardenne M. A., Armstrong R. A. 2010. **Age, provenance and tectonic setting of the Canastra and Ibiá groups (Brasília belt, Brazil): implications for the age of a Neoproterozoic glacial event in central Brazil.** JSA - Journal of South American Earth-Sciences, 29: 512-521.

SANTOS, J. F. dos MME – Ministério de Minas e Energia, Mineral. **Perfil do**

Minério de Zinco, 2010. Disponível em: http://www.mme.gov.br/.

SEER, H. J. **Evolução tectônica dos grupos Araxá, Ibiá e Canastra na Sinforma de Araxá, Araxá, Minas Gerais.**1999. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências daUniversidade de Brasília, Brasília.

SEER H.J., Moraes L.M, Junges S.L. 2010. **Novos dados U-Pb e Sm Nd de granitos intrusivos no Grupo Araxá, Faixa Brasília Meridional, entre a região de Araxá e Monte Carmelo**, MG. In: CONGR. BRAS. GEOL., 45, 2010. Belém, PA. Anais. SBG.

SEER, H. J.; MORAES, L. C.; SILVA, C. H. **Geologia da Folha Araxá**. 2015. (Cartas, mapas ou similares/Mapa).

SILVA, E. M.; COSTA, R. C. **Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r).** Revista Política Hoje*,* v. 24, n. 2, p. 119–137, 2015.

SIMÕES, L. *et al*. **Projeto Triângulo Mineiro.** Programa de Mapeamento Geológico do Estado de Minas Gerais, 2017. 106 pag.

SILVA, C. H. **Evolução Geológica da Faixa Brasília na Região de Tapira, Sudoeste de Minas Gerais.** 2003. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SILVA, C. H. *et al*. **O Grupo Canastra em sua área-tipo, região de Tapira, sudoeste do estado de Minas Gerais.** Revista do Instituto de Geociências - Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 12, n. 2, p. 8-9, Agosto 2012.

SKINNER, E. M. W.; APTER, D. B.; MORELLI, C.; SMITHSON, N.K. **Kimberlites of the Man craton, West Africa.** Lithos. Volume 76, Issues 1–4, September 2004, Pages 233-259.

SOUSA, A. O. B. **Minerais pesados nos aluviões do rio Araguari, na região de Desemboque, Minas Gerais.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá.

STACHEL T. e LUTH R.W. 2015. **Diamond formation – where, when and how?** Lithos, 220-223:200-220. doi: 10.1016/j.lithos.2015.01.028

SVISERO D.P. 1995. **Distribution and origin of diamonds in Brazil: an overview**. Journal of Geodynamics, 20(4): 493-514.

UFRGS. **OURO NATIVO – Au.** 2020. Acesso em: https://www.ufrgs.br/minmicro/Ouro.pdf.

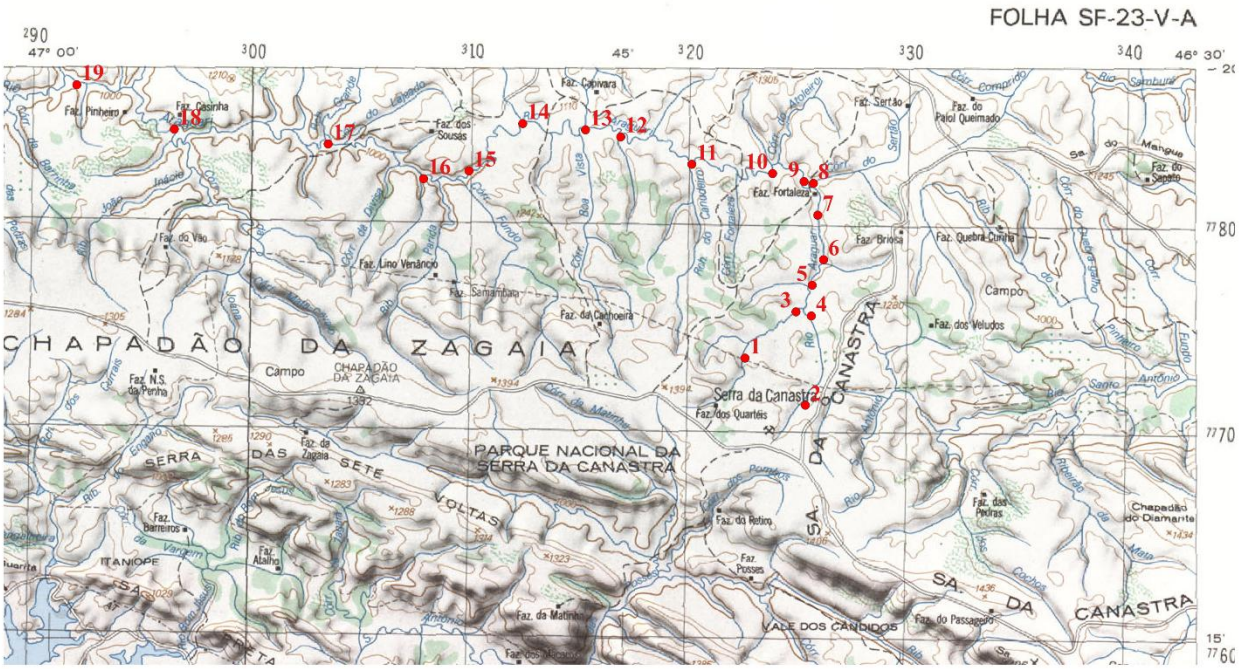
VALERIANO, C. M.; MACHADO, N.; SIMONETTI, A.; VALLADARES, C. S.; SEER, H. J.; SIMÕES, L. S. **A. U-Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana**. Precambrian Research, v.130, p. 27-55, 2004a.

WALKER, R.G. - 1984 - **Facies models**. Second edition, Geosciences Canada, Reprint Series 1, 317 p.

APÊNDICE

ANEXO 1 – FOLHA FRANCA

Área representada na Folha Franca



Geochemistry / Method Description
ME-MS41L
Super-Trace Aqua Regia Digestion with ICP-MS and

Sample Decomposition:
Aqua Regia Digestion (GEO-AR01L)

Analytical Method:
Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES)
Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS)

A prepared sample (0.50 g) is digested with aqua regia (hydrochloric and nitric acid) in a graphite heating block. After cooling, the resulting solution is diluted with deionised water, mixed and analysed by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry and inductively coupled plasma-mass spectrometry with results corrected for spectral or isotopic interferences.

Analitos e Intervalos (ppm)			
Au	0.0002-25	**Na**	0.001-10%
Ag	0.001-100	**Nb**	0.002-500
Al	0.01-25%	**Ni**	0.04-10000
As	0.01-10000	**P**	0.001-1%
B	10-10000	**Pb**	0.005-10000
Ba	0.5-10000	**Pd**	0.001-25
Be	0.01-1000	**Pt**	0.002-25
Bi	0.0005-10000	**Rb**	0.005-10000
Ca	0.01-25%	**Re**	0.0001-50
Cd	0.001-1000	**S**	0.01-10%
Ce	0.003-500	**Sb**	0.005-10000
Co	0.001-10000	**Sc**	0.005-10000
Cr	0.01-10000	**Se**	0.003-1000
Cs	0.005-500	**Sn**	0.01-500
Cu	0.01-10000	**Sr**	0.01-10000
Fe	0.0002-50%	**Ta**	0.005-500
Ga	0.002-10000	**Te**	0.003-500
Ge	0.005-500	**Th**	0.002-10000
Hf	0.002-500	**Ti**	0.001-10%
Hg	0.004-10000	**Tl**	0.001-10000
In	0.005-500	**U**	0.001-10000
K	0.01-10%	**V**	0.1-10000
La	0.001-10000	**W**	0.001-10000
Li	0.1-10000	**Y**	0.003-500
Mg	0.01-25%	**Zn**	0.1-10000
Mn	0.1-50000	**Zr**	0.01-500
Mo	0.01-10000		