



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ
ENGENHARIA DE MINAS

RODRIGO GERMANO DE ANDRADE

**PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS METÁLICOS E
FAREJADORES DE OURO NO DISTRITO DE DESEMBOQUE,
MUNICÍPIO DE SACRAMENTO / MG**

ARAXÁ/MG

2021

RODRIGO GERMANO DE ANDRADE

**PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS METÁLICOS E
FAREJADORES DE OURO NO DISTRITO DE DESEMBOQUE,
MUNICÍPIO DE SACRAMENTO / MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Dr. Maurício Antônio Carneiro

ARAXÁ/MG

2021

RODRIGO GERMANO DE ANDRADE

**PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS METÁLICOS E
FAREJADORES DE OURO NO DISTRITO DE DESEMBOQUE,
MUNICÍPIO DE SACRAMENTO / MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Data de Defesa: Araxá, 9 de setembro de 2021.

Orientador: Dr. MAURÍCIO ANTÔNIO CARNEIRO
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Avaliador: Dr. ARILDO HENRIQUE DE OLIVEIRA
VALE S.A.

Avaliador: Dr. NATAL JUNIO PIRES
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me possibilitou que tudo isso acontecesse, sempre me mantendo firme diante das dificuldades durante essa árdua jornada.

A minha família e amigos pela ajuda e apoio demonstrado ao longo desses anos me dedicando a este trabalho.

Ao meu professor Dr. Maurício Antônio Carneiro, pela orientação e suporte ao longo deste trabalho, assim como o conhecimento transmitido durante todo o curso.

A todos da empresa Ruscher Investimentos e Participações LTDA, pelo fornecimento dos dados fundamentais a realização deste trabalho.

E a todos que participaram da minha formação, direta ou indiretamente, muito obrigado.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver nossos problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

Albert Einstein

RESUMO

A prospecção geoquímica, também conhecida como exploração geoquímica, é uma aplicação da ciência geoquímica aos propósitos da exploração mineral. Ela se baseia no conceito de que os depósitos minerais representam concentrações anômalas de elementos na crosta da Terra e que estes podem ser explorados visando um retorno econômico. Neste sentido realizou-se um estudo de prospecção geoquímica nas rochas (pertencentes ao grupo Canastra) e solos (delas resultantes) que ocorrem no entorno do distrito de Desemboque, município de Sacramento, MG. Dessa região, no século XVIII, foi extraído uma razoável quantidade de ouro, por meio de um garimpo que impulsionou a economia local, de modo que o distrito chegou a erigir duas igrejas barrocas e várias moradias, além de uma população acima de 500 pessoas. No entanto, a fase do garimpo passou e a população diminuiu. Espera-se, com a realização desse trabalho de prospecção geoquímica, levantar a composição mineral das rochas e solos, do entorno do distrito de Desemboque, e avaliar o potencial econômico dessa região.

Palavras-chave: Geoquímica. Exploração Mineral. Concentrações Anômalas.

ABSTRACT

Geochemical prospecting, also known as geochemical exploration, is an application of geochemical science to the purposes of mineral exploration. It is based on the concept that mineral deposits represent the anomalous elements of Earth's crust and that these can be exploited as a basic economic return. In this sense, a geochemical prospecting study was carried out on the rocks (belonging to the Canastra group) and soils (present) that occur around the Desemboque district, municipality of Sacramento, MG. From this region, in the 18th century, a reasonable amount of gold was extracted, through a mining that boosted the local economy, so that the district even erected two Baroque churches and several mor, in addition to a population above 500 people. However, the mining phase has passed, and the population has decreased. It is expected, with the accomplishment of this geochemical prospecting work, to survey the mineral composition of the rocks and soils, from the surroundings of the Desemboque district, and to evaluate the economic potential of this region.

Keywords: Geochemistry. Mineral Exploration. Anomalous. Concentrations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa representativo da área de estudo.	12
Figura 2 - Ambientes tectônicos de depósitos auríferos.	17
Figura 3 - Compartimentação geotectônica de depósitos de sulfetos maciços relacionados a sistemas hidrotermais submarinos.	20
Figura 4 - Mapa Geológico da Folha Desemboque.	21
Figura 5 - Legenda folha Desemboque.	22
Figura 6 - Mapa ilustrando os principais compartimentos tectônicos da Folha Desemboque.	23
Figura 7 - Identificação e localização dos pontos de coleta das amostras.	28
Figura 8 - Seleção do método IQD (IDW) pelo ArcGis.	30
Figura 9 - Classes e cores utilizadas na interpolação.	30
Figura 10 - Estatística para o As (ppm)	31
Figura 11 - Estatística para o Ce (ppm)	32
Figura 12 - Estatística para o Co (ppm)	32
Figura 13 - Estatística para o Cr (ppm)	33
Figura 14 - Estatística para o Cu (ppm)	33
Figura 15 - Estatística para o Ga (ppm)	34
Figura 16 - Estatística para o La (ppm)	34
Figura 17 - Estatística para o Ni (ppm)	35
Figura 18 - Estatística para o P (ppm)	35
Figura 19 - Estatística para o Pb (ppm)	36
Figura 20 - Estatística para o Sc (ppm)	36
Figura 21 - Estatística para o V (ppm)	37
Figura 22 - Estatística para o Y (ppm)	37
Figura 23 - Estatística para o Zn (ppm)	38
Figura 24 - Curvas de isotores para arsênio (IQD)	40
Figura 25 - Curvas de isotores para cério (IQD)	40
Figura 26 - Curvas de isotores para cobalto (IQD)	40
Figura 27 - Curvas de isotores para cromo (IQD)	41
Figura 28 - Curvas de isotores para cobre (IQD)	41
Figura 29 - Curvas de isotores para gálio (IQD)	41
Figura 30 - Curvas de isotores para lantânio (IQD)	42
Figura 31 - Curvas de isotores para níquel (IQD)	42
Figura 32 - Curvas de isotores para fósforo (IQD)	42
Figura 33 - Curvas de isotores para chumbo (IQD)	43
Figura 34 - Curvas de isotores para escândio (IQD)	43
Figura 35 - Curvas de isotores para vanádio (IQD)	43
Figura 36 - Curvas de isotores para ítrio (IQD)	44
Figura 37 - Curvas de isotores para zinco (IQD)	44

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens da Litogeoquímica.....	16
Tabela 2 - Coeficiente de correlação de Spearman.....	29
Tabela 3 - Matriz de correlação dos elementos químicos estudados.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANM	Agência Nacional de Mineração
ETR	Elementos de Terras Raras
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQD	Inverso do Quadrado da Distância
SEDEX	Depósitos Exalativos Sedimentares
SHG	Sediment-hosted Gold
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
RT	Rocha Total
VMS	Volcanogenic Massive Sulfide

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	11
1.1 Introdução	11
1.2 Objetivos.....	11
1.3 Metodologia.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Conceitos Gerais.....	14
2.2 Geoquímica de Exploração.....	15
2.3 Depósitos de Ouro	17
3. ESBOÇO GEOLÓGICO DA FOLHA DESEMBOQUE	21
3.1 Geologia Regional	21
3.2 Geologia local.....	25
3.3. Ocorrências Minerais da Folha Desemboque	25
4. METODOLOGIA.....	27
4.1 Aquisição de base cartográfica e topográfica	27
4.2 Trabalho de Campo.....	27
4.3 Laboratório	28
4.4 Tratamento estatístico dos dados geoquímicos.....	28
4.5 Tratamento gráfico das amostras através da criação de mapas de Isoteores	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Análise estatística Univariada dos Dados Geoquímicos	31
5.2 Análise Estatística Bivariada	38
5.3 Curvas de Isoteores pelo método IQD.....	39
6 CONCLUSÃO.....	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
8. ANEXOS	51

1. APRESENTAÇÃO

1.1 Introdução

A geologia da região de Desemboque, situada no município de Sacramento, microrregião de Araxá - Minas Gerais, compreende rochas e minerais industriais, voltados para construção civil. Nesta região, verificou-se a existência de cadastros para ouro e diamante, em um histórico de exploração desses bens no século XVIII, principalmente para ouro, entre os anos de 1760 e 1770, nas proximidades do vilarejo.

Segundo PONTES (1978), foram extraídas das minas de Desemboque, cerca de 100 arrobas de ouro (aproximadamente 1500 kg), entre os anos de 1743 e 1781.

Em relação a estes dados, surgem algumas questões, tais como:

- Existe possibilidade de a região conter uma reserva de minerais valiosos, (e.g.) ouro, para exploração?
- A quantidade de elementos farejadores que indicam a presença de elementos valiosos (e.g. ouro) estão presentes em concentrações elevadas?

Para responder essas questões realizou-se uma prospecção geoquímica nos solos do entorno do vilarejo de Desemboque, onde operou o antigo garimpo, para identificar possíveis concentrações anômalas de elementos farejadores de ouro, a fim de determinar a existência de depósito mineral e/ou sugerir a continuidade do estudo, caso as evidências emanadas desse trabalho sejam factíveis.

Com todo o agrupamento de informações geoquímicas coletados na região de interesse, o presente trabalho apresenta e discute a compilação de dados geoquímicos e o tratamento estatístico deles através de ferramentas estatísticas e de geoprocessamento das informações reunidas para a produção de mapas de anomalia geoquímica para cada elemento químico de interesse, em acordo com as políticas informativas econômicas e ambientais.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi utilizar a prospecção geoquímica e as ferramentas geológicas necessárias para descobrir fontes anômalas de elementos farejadores que estejam relacionados ao ouro na região de Desemboque, distrito de Sacramento em Minas Gerais, possibilitando assim localizar e inferir áreas potenciais para exploração mineral. Assim, foram prospectados solos em diferentes pontos estratégicos próximos ao vilarejo de

Desemboque, para identificação geoquímica anômala de elementos que poderiam revelar indícios da presença de concentrações minerais de interesse.

Para atingir este objetivo, valeu-se de três objetivos específicos:

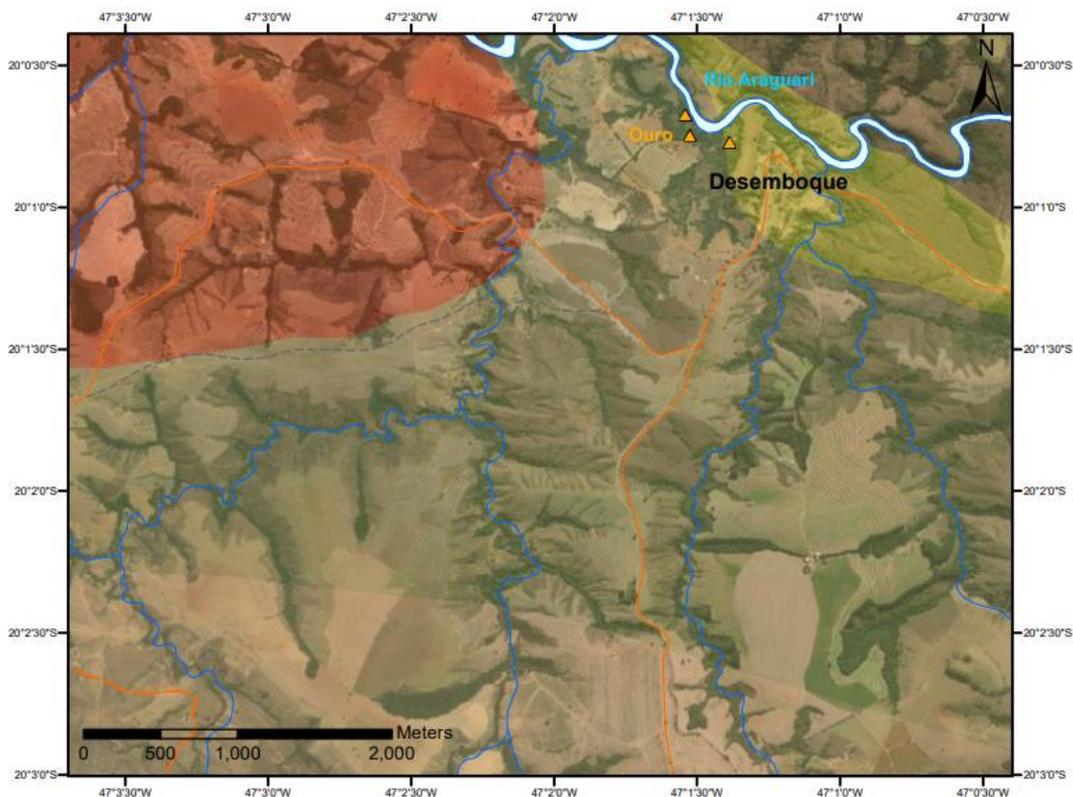
I. Identificação de alvos com teores elevados de elementos farejadores da ocorrência do ouro através da interpolação dos dados geoquímicos das amostras coletadas;

II. Tratamento estatístico dos dados geoquímicos, a definição dos teores anômalos dos metais em cada alvo estudado;

III. Correlação dos resultados com possíveis locais de ocorrência do ouro foram os objetivos específicos que nortearam este objetivo principal.

Para cumprir esse objetivo foi realizado um estudo de caso conduzido através do método hipotético-dedutivo, formulando a hipótese da existência de um depósito mineral e realizando estudos estatísticos para comprovar esta hipótese. Um banco de dados foi elaborado e analisado, adepto ao conhecimento geológico da região, visando identificar quais as etapas a serem adotadas para caracterização de um possível depósito contido na região, sendo representada na figura 1 a área de estudo.

Figura 1 – Mapa representativo da área de estudo.



1.3 Metodologia

A metodologia utilizada na realização deste trabalho consistiu em:

- revisão bibliográfica;
- coleta de amostras em pontos estratégicos no campo;
- divisão e quarteamento das amostras;
- análise geoquímica das amostras em laboratório;
- tratamento estatístico dos dados;
- análise e discussão dos resultados e conclusão.

A revisão bibliográfica foi compartimentada em quatro etapas para o melhor desenvolvimento do conhecimento que será utilizado neste trabalho:

- Pesquisa Mineral e Geoquímica;
- Tipos de Depósitos de Ouro;
- Geologia Local;
- Ocorrências Mineraias na região.

As obras utilizadas como base para este trabalho foram livros de pesquisa mineral, dissertações e materiais relacionados a prospecção geoquímica, contendo autores de livros sobre prospecção mineral (CAVALCANTI NETO; ROCHA, 2010) e autores do Projeto Triângulo Mineiro, que realizaram o Programa de Mapeamento Geológico e fizeram o relatório da região. Também foi consultado uma série de bibliografias relacionadas à geologia regional e gênese dos depósitos de ouro.

Para tratamento desses resultados, foi utilizado o software ArcGis, visando correlacionar graficamente a geologia e os dados geoquímicos, tornando visível a distribuição espacial das concentrações; auxiliando sua interpretação no sentido de evidenciar características geológicas responsáveis por anomalias, assim como a extensão dessas anomalias e a correlação dos elementos químicos de comportamento similar.

Sendo o ouro um metal raro com pequena quantidade existente no mundo, é de extrema importância a necessidade de estudos visando a identificação de novas ocorrências no distrito de Desemboque, que é uma área com histórico desse bem mineral, permitindo assim algum conhecimento sobre a área.

Adicionalmente, este estudo pode proporcionar considerável relevância não só para a comunidade acadêmica, mas também para os setores públicos e privados dos municípios envolvidos, justificando assim a realização desta pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceitos Gerais

2.1.1 Pesquisa Mineral

Segundo o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração), sobre Pesquisa e Prospecção Mineral se entende por “execução dos trabalhos necessários à definição da jazida mineral, sua avaliação e a determinação da exequibilidade do seu aproveitamento econômico”.

Estes trabalhos podem ser realizados em campo ou laboratório, sendo eles a determinar se há ou não a confirmação de uma jazida após todas as informações obtidas nos trabalhos de campo estarem correlacionados com os testes de laboratório. Logo, a pesquisa mineral é a primeira fase de início de qualquer atividade mineira, sendo essencial para a descoberta de jazidas.

Para dar início à pesquisa mineral é necessário arrebancar todos os relatos históricos, as informações geológicas prévias da região e, principalmente, mapas geológicos que serão enriquecidos com os resultados da prospecção mineral.

2.1.2 Mapa Geológico

Após a obtenção dos dados em pesquisa bibliográfica, vem a fase do trabalho de campo, para coleta de amostras e informações geológicas gerais para confecção do mapa geológico da região estudada e/ou aprimoramento de mapas existentes.

O mapa geológico é aquele que representa a topografia de uma determinada área, a distribuição das rochas resultantes do processo evolutivo, bem como a caracterização de suas estruturas e idades de formação.

Uma base para se realizar um mapeamento geológico consiste na escolha de sua escala, que deverá ser adequada para posteriores observações acerca da área. Nele conterá os registros dos afloramentos na região, as diferentes unidades geológicas, informações estruturais e estratigráficas, para que expresse as informações necessárias para fundamentar a pesquisa mineral.

Para elaborar um mapa geológico deve-se delimitar uma área física e uma escala de trabalho, consultar mapas geológicos antigos da região, artigos, qualquer documento com informação que possa fornecer dados para orientar a obtenção de novos elementos geológicos que serão introduzidas no novo mapa.

Este trabalho consiste em visitar o maior número possível de exposições rochosas, buscando identificar diferentes tipos e minerais constituintes, suas características, como estruturas, presença de fósseis e indícios de mineralizações.

Nos pontos mais estratégicos de acordo com a análise geológica da área, para o entendimento destas ocorrências, são coletadas amostras para análise em laboratórios.

Com equipamentos de laboratório, as amostras são examinadas em microscópios e analisadas quimicamente para medir concentrações de elementos químicos de interesse e, datar as idades de formação delas.

Estas informações são colocadas no mapa e interpretadas comparando-se com as regiões adjacentes e com os trabalhos já feitos anteriormente. Quanto mais quantitativa for a quantidade de informações mais completo e exato será o mapa posterior.

2.2 Geoquímica de Exploração

Um dos métodos mais utilizados da geoquímica de exploração é a prospecção geoquímica, segundo a qual através de métodos sistemáticos é possível determinar a composição de rochas e solos.

Os seguintes passos são necessários para compor a prospecção geoquímica:

1. Realizar a seleção dos métodos, elementos, precisão das amostras, considerando custos da operação, conhecimentos acerca do local, capacidade para análise laboratorial e investigação prévia;
2. Amostragem em superfície ou profundidade do subsolo, para determinar o nível de confiabilidade e avaliar os fatores para identificação de um depósito mineral;
3. Análise das amostras em laboratório para identificação dos elementos presentes;
4. Coleta e mensuração dos dados estatísticos e resultados da avaliação, utilizando os dados que foram coletados;
5. Confirmação de anomalias e realizar malha de amostragem em áreas menores com pouco espaçamento.

2.2.1 Geoquímica de Rochas e Solos (Litogeoquímica e Pedogeoquímica)

A Litogeoquímica é um método de exploração onde se utiliza rochas. Já a pedogeoquímica utiliza-se de solos. Para realização dessas técnicas, os dois tipos de amostragem existentes são: Amostragem de rocha (ou solo) e Amostragem de Canal (rocha ou solo em paredões, poços ou trincheiras abertas para pesquisa). Essas amostragens podem ser

utilizadas em campanhas de amostragens sistemáticas visando a Cubagem de Reservas Minerais, utilizando as Amostragens de Canal, conforme a espessura do minério e o coeficiente de variação.

Na amostragem de rocha do tipo “chip sample” as amostras não devem apresentar indícios de alteração, ou seja, rochas não afetadas pelo intemperismo. Rocha homogênea coleta-se uma lasca (fragmento – chip) de rocha por estação de amostragem → AMOSTRA SIMPLES. Para Rochas heterogêneas recomenda-se coletar várias lascas de rocha na estação de amostragem (CHIP SAMPLE ou amostragem de canal).

Na amostragem de canal equipamentos pontiagudos manuais ou mecânicos pneumáticos semelhantes a martelões, são utilizados para coleta de amostras. Uma lona é colocada abaixo do local de amostragem para que a rocha amostrada caia sobre ele, evitando contaminações. A largura e a profundidade do canal devem seguir as recomendações estatísticas e o comprimento do canal deve ser igual à espessura da camada. Assim os conceitos de Teor de Corte (cut-off), Crítico, Diluído ganham importância e à medida que os trabalhos evoluem, visam a quantificação do Depósito Mineral.

Geralmente as empresas de Pesquisa Mineral dispõem de um Galpão para armazenagem e Preparação das Amostras: Britagem, Moagem (pulverização) e Separação de minerais a qual é dispensada quando a análise é de Rocha Total (RT).

As análises químicas podem ser de rocha total ou minerais individuais. A apresentação dos resultados pode ser obtida através de mapas de isótopos, perfis, blocos diagramas ou qualquer outro método de representação.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens da Litogeoquímica.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> • Revelar depósitos do tipo “blind” utilizando-se dos halos primários • Na exploração regional, com um pequeno número de amostras pode-se identificar uma província química 	<ul style="list-style-type: none"> • O contraste das anomalias é baixo • O halo primário geralmente é bastante pequeno

Fonte: Adaptado de CAVALCANTI, ROCHA, 2010.

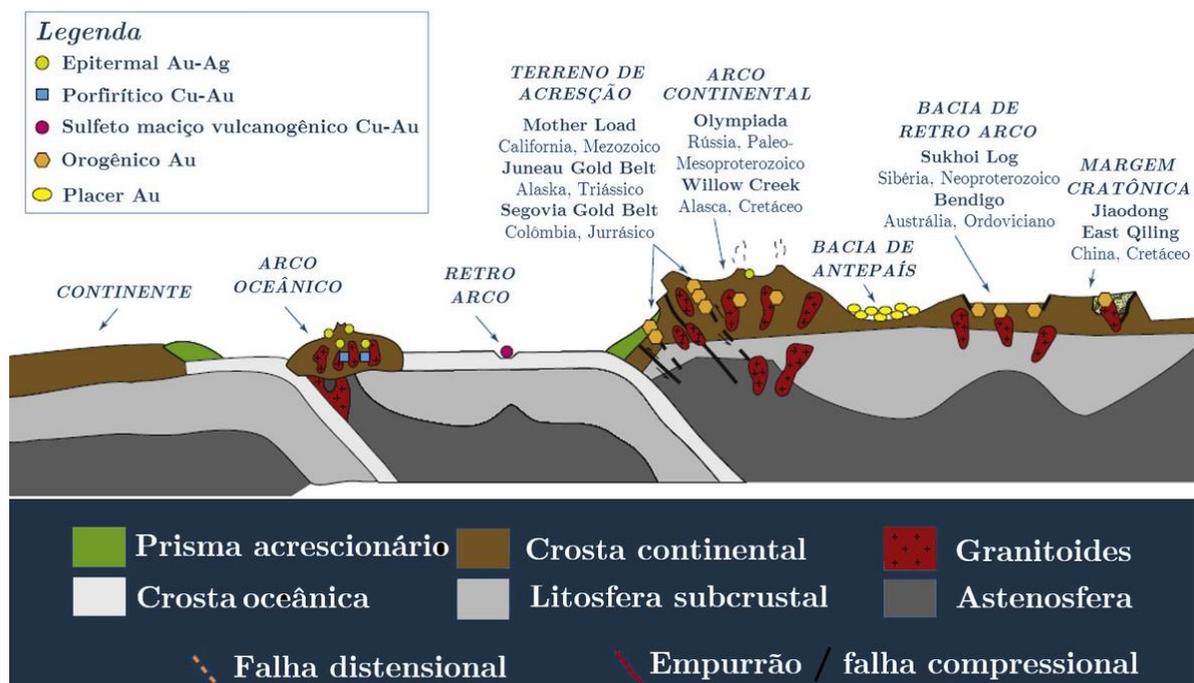
2.3 Depósitos de Ouro

Há três classes principais de depósitos de ouro, sendo elas formadas por:

1. veios e/ou brechas hidrotermais, comumente com quartzo, alojados em rochas metamórficas, ígneas e sedimentares;
2. sulfetos maciços vulcano-exalativos;
3. concentrações do tipo *placer*, consolidados ou não.

Essas três classes foram subdivididas em seis tipos principais (ROBERT *et al.*, 2007), representados de forma esquemática na Figura 2 (HOUGH & BUTT 2009; RIDLEY 2013; GOLDFARB & GROVES, 2015).

Figura 2 - Ambientes tectônicos de depósitos auríferos.



Fonte: GOLDFARB e GROVES, 2015.

O ouro ainda está presente em depósitos metamórficos de contato (e.g., *skarns*), e em sistemas epitermais rasos. Em geral ele ocorre disseminado em minerais de ganga (principalmente quartzo) e sulfetos (pirita), arredondado em grãos, plaquetas ou pepitas em *pláceres*. Nesses últimos, como está na forma de ouro livre, é facilmente separado com uso de bateia, em função de sua alta densidade.

2.3.1 Depósito de Ouro Orogênico

De acordo com GROVES *et al.* (1998), os depósitos de ouro Orogênico, também são conhecidos como depósitos auríferos em terrenos metamórficos, e estão em seqüências

metavulcano-sedimentares, incluindo *greenstone belts*. É o tipo de depósito mais comum, tanto no espaço como no tempo, sendo do tipo *gold-only*. Formaram-se por mais de 3 bilhões de anos na história terrestre, ocorrendo desde o Pré-cambriano.

A formação dos depósitos de ouro tem sido investigada há muito tempo. A gênese dos depósitos de ouro orogênicos (acima de 75% do ouro recuperado ao longo da história) (PHILLIPS, 2013) continua em grande parte porque é difícil identificar a origem com segurança. Segundo BÖHLKE (1982), depósitos de ouro orogênico formam-se predominantemente em rochas metamórficas na crosta média a rasa (5-15 km de profundidade), na faixa ou acima da transição frágil-dúctil, em configurações compressivas que facilitam a transferência de fluidos contendo ouro quente de níveis mais profundos (GOLDFARB *et al.*, 2005; GROVES *et al.*, 1998; PHILLIPS & POWELL, 2009).

O termo “orogênico” é usado porque esses depósitos provavelmente se formam em orógenos de acúmulo e colisão (GROVES *et al.*, 1998). A transferência de fluidos fracamente oxidados e de baixa salinidade para os locais de deposição de ouro é controlada por eventos de terremoto (COX, 2005; SIBSON *et al.*, 1988), permitindo que os fluidos percorram rapidamente grandes espessuras da crosta. Este rápido aumento leva os fluidos fora de equilíbrio com seus arredores, promovendo a desestabilização do transporte de ouro complexos de hidrossulfeto [Au (HS)₂⁻ e AuHS].

A causa química de precipitação de ouro, facilitada por uma diminuição de temperatura e pressão, varia de lugar para lugar, e mecanismos como reação de rocha fluido (EVANS *et al.*, 2006), ebulição (WEATHERLEY & HENLEY, 2013), mistura de fluido (BATEMAN & HAGEMANN, 2004), e quimissorção em superfícies de pirita e arsenopirita (por exemplo, MÖLLER e KERSTEN, 1994) foram propostas.

Pode-se investigar a causa da deposição de ouro por amostragem de rochas onde ocorreu a precipitação e estruturas através das quais os fluidos fluíram. Em contraste, a questão de onde o ouro vem é mais difícil, porque as fontes potenciais estão distantes dos depósitos de ouro amostrados.

Por isso há várias questões sobre a origem do ouro orogênico que ainda permanecem. Mas, de alguma forma do modelo contínuo pode permanecer válida, na faixa de temperatura de ~ 550–300 °C (PHILLIPS & POWELL, 2009), envolvendo a formação de depósitos dos níveis mais profundos da transição frágil-dúctil para os trechos rasos da falha do terremoto.

No entanto, os sistemas orogênicos formadores de ouro do Arqueano e Paleoproterozóico parecem ser diferentes dos fanerozoicos, em termos de tectônica, rochas

geradoras e configurações de depósito. Também não há resposta sobre o tempo necessário para formar depósitos de ouro orogênicos. Caso se formem rapidamente, as fontes ígneas podem ser mais prováveis, mas se se formarem por longos períodos, as fontes metamórficas que serão. Em termos de fontes metamórficas, GABOURY (2013) evidenciou que rochas metassedimentares parecem quimicamente mais favoráveis, embora as rochas máficas continuem sendo uma fonte plausível.

2.3.2 Depósito de Ouro Sedimentar

Depósitos de ouro hospedados em rochas sedimentares são assim caracterizados:

- Sediment-hosted gold (SHG) deposits ou ouro hospedado em sedimentos;
- Ouro disseminado hospedado em sedimentos;
- Depósitos de ouro de substituição hospedados em sedimentos;
- Ouro hospedado em rochas sedimentares distais (E);
- Depósitos de Au - Ag disseminados distais, utilizados para depósitos tipo Carlin.

Os depósitos de placer são provenientes de depósitos de ouro pré-existentes, que são secundários e são formados por processos aluviais em rios, riachos e praias. Se formam por gravidade, com a densidade do ouro fazendo com que ele afunde em locais de armadilha dentro do leito do rio ou onde a velocidade da água cai, como curvas em rios e atrás de pedras.

Frequentemente, os depósitos de placer são encontrados dentro de rochas sedimentares e podem ter bilhões de anos de idade. Também conhecidos como leads ou leads deep. Geralmente são trabalhados por fossilização e a extração de ouro é um passatempo popular (garimpos, catas etc.)

2.3.3 Depósito Vulcano-Exalativos de Sulfetos Maciços

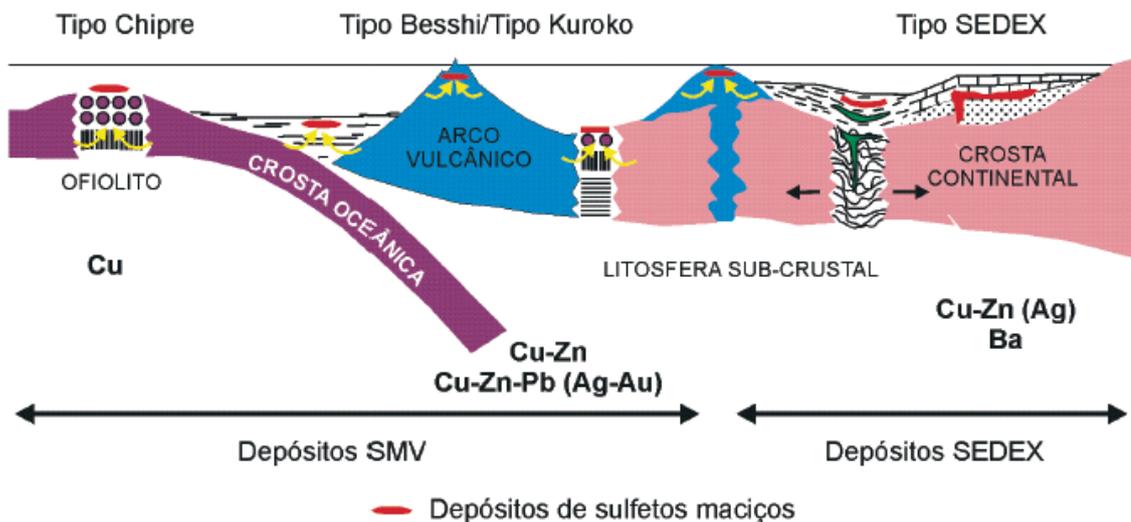
Também conhecido como Volcanogenic Massive Sulfide (VMS), este tipo de depósito é formado por sulfetos maciços e disseminados, que estão intimamente ligados a rochas vulcânicas, e em alguns casos com sedimentos em fundo oceânico. Eles possuem sulfetos variados, principalmente de cobre, chumbo e zinco, assim como anomalias referentes a prata e ouro.

Há também os tipos de depósitos conhecidos como SEDEX, que constituem corpos tipicamente tabulares, compostos principalmente por minérios de zinco, chumbo e prata contidos em esfalerita e galena e intercalados com níveis de sulfetos de ferro e com estratos de rochas sedimentares. Suas mineralizações são depositadas nos fundos dos mares,

e associadas com complexos exalativos de fluidos hidrotermais liberados em bacias sedimentares com ambiente redutor, dentro de riftes continentais.

Há uma distinção nestes depósitos devido a formação de minério ser feita em estreita associação temporal com o vulcanismo submarino, e assim serem formados por circulação hidrotérmica e exalação de sulfetos que são independentes de processos sedimentares, o que separa os depósitos VMS dos depósitos exalativos sedimentares (SEDEX).

Figura 3 - Compartimentação geotectônica de depósitos de sulfetos maciços relacionados a sistemas hidrotermais submarinos.



Fonte: GUIMARÃES, 2012.

Figura 5 - Legenda folha Desemboque.

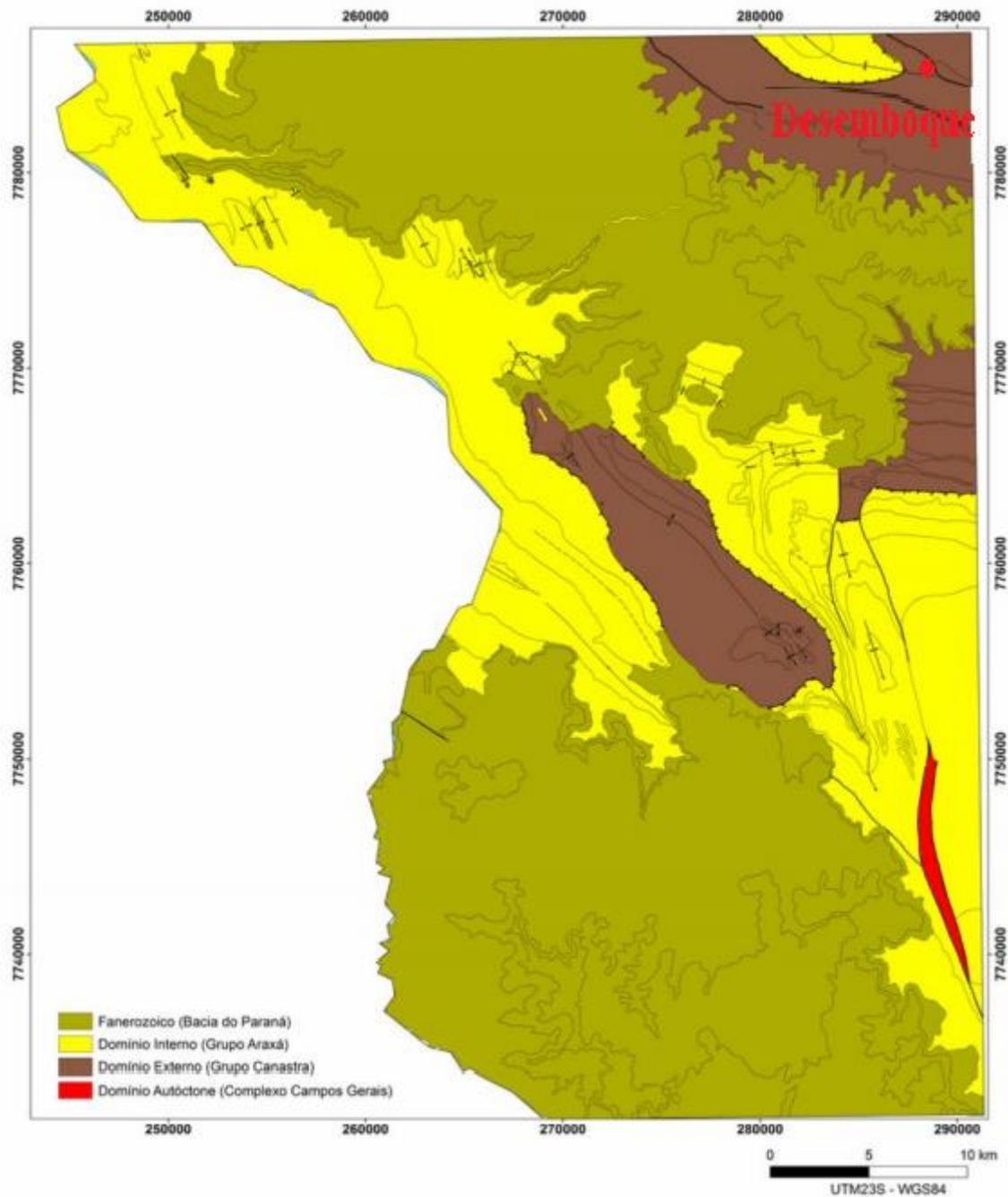
GRUPO ARAXÁ (SEGMENTO TAPIRA)	
NP1arx2	Granada-biotita-muscovita xisto de coloração vermelha, granulação média a grossa, com porfiroblastos de granada. Localmente são feldspáticos (plagioclásio).
NP1arxg2	Biotita-muscovita gnaiss bandedado, com intercalações centimétricas a decimétricas de muscovita xisto e quartzo.
GRUPO ARAXÁ (SEGMENTO NAPPE DE PASSOS)	
NP1axmx3	Granada-biotita-muscovita xisto, com intercalações decimétricas a métricas de muscovita xisto, quartzo xisto, quartzito e anfíbrito. Ocorrem ainda intercalações ocasionais de biotita gnaiss e também de gndíto. Os xistos, em geral, apresentam camadas com cianita.
NP1axgn	Biotita-muscovita gnaiss bandedado, com intercalações de camadas centimétricas a decimétricas de biotita xisto.
NP1axmx2 <small>(q)</small>	Muscovita xisto e biotita-clorita-muscovita xisto, com intercalações decimétricas a métricas de quartzito, localmente mais expressivas (q). Apresenta ocorrências eventuais de camadas métricas de biotita xisto feldspático e de anfíbólio xisto.
NP1axqz2	Quartzito de granulação fina a média com intercalações decimétricas a métricas de muscovita xisto e quartzito micáceo.
NP1axmx <small>(q)</small>	Muscovita xisto com intercalações métricas ocasionais de quartzito, que localmente apresentam-se mais expressivas (q). Ocorrem intercalações métricas de clorita-biotita-muscovita xisto.
GRUPO CANASTRA (SEGMENTO TAPIRA)	
NP1c11	Granada-mica xisto com intercalações centimétricas a métricas de granada-grafita xisto, granada-quartzo xisto, granada quartzito e albíta-granada-mica xisto.
NP1c10 <small>(qz)</small>	Granada-grafita-muscovita xisto, de cor cinza, vermelho quando alterado, com intercalações decimétricas a métricas de quartzito, individualizados no mapa quando mais expressivos (qz).
NP1cix	Muscovita xisto, localmente grafitoso, de cor cinza, quando alterado apresenta cor vermelha. Localmente possui granulação muito fina dando aspecto de filito com brilho sedoso. Apresenta intercalações ocasionais de quartzito.
GRUPO CANASTRA (SEGMENTO SERRA DA CANASTRA)	
NP1cif4 <small>(qz) (gn)</small>	Muscovita (+/-) clorita filito a xisto fino, com bandamento marcado por variações mais e menos quartzosas. Localmente ocorrem com camadas de quartzito (q) e de gnaiss (gn).
NP1ciq3	Quartzitos puros e quartzitos micáceos, em proporções variáveis de micas, com raras intercalações xistosas.
NP1cif3	Clorita-muscovita filito com intercalações métricas de quartzito.
NP1ciq1	Quartzito micáceo branco com cor de alteração amarelada. Localmente ocorrem camadas métricas de muscovita filito a xisto fino, acinzentado.
NP1cif1	Filitos, em geral alterados, com laminação rítmica.
GRUPO CANASTRA (SEGMENTO REPRESA DE ESTREITO)	
NP1ciq <small>(ms)</small>	Quartzitos puros a levemente micáceos, exibindo, em geral, o contorno original do grão sedimentar (metarenitos). Localmente com estratificações cruzadas e marcas de onda preservadas. Associam-se domínios de quartzo xisto muito fino, provável metassilito (ms) de cor esbranquiçada.
NP1ciqm	Quartzito micáceo com grãos sedimentares preservados.

Fonte: Adaptado de Portal da Geologia, 2017.

3.1.1 Bacia do Paraná

Corresponde aproximadamente 55% da área mapeada da folha Desemboque sendo constituído por rochas sedimentares fanerozoicas da Formação Aquidauana, que é sobreposta pelas Formações Botucatu e Serra Geral que, por sua vez, são recobertas por rochas da Formação Marília. Essa, preservada apenas nas porções mais elevadas. Esse conjunto sobrepõe, em discordância, às rochas metamórficas dos outros domínios litotectônicos e, embora de modo genérico, a base do pacote esteja associada a uma superfície aproximadamente plana, em muitos locais o contato apresenta-se como uma superfície irregular, caracterizando a existência de paleorelevo (SIMÕES & LUIZ *et al.*, 2017).

Figura 6 - Mapa ilustrando os principais compartimentos tectônicos da Folha Desemboque.



Fonte: SIMÕES *et al.*, 2017.

3.1.2 Faixa Brasília

3.1.2.1 DOMÍNIO INTERNO

Composto por rochas predominantemente metassedimentares neoproterozoicas, atribuídas ao Grupo Araxá, que correspondem duas escamas tectônicas que estão sobre as rochas do Domínio Externo. Uma das escamas representa a unidade Granada Xistos sobreposta à unidade de Gnaiss Granito Foliado. Está localizada a norte da falha da borda

norte da Serra da Canastra, situando-se, portanto, no segmento Tapira da Faixa Brasília. A outra escama corresponde à Nappe de Passos, que ocorre em torno do Rio Grande, onde se mostra complexamente dobrada e cortada por falhas. Das nove unidades litoestratigráficas identificadas na Nappe de Passos, cinco foram reconhecidas na Folha Desemboque. Da base para o topo correspondem às unidades: Mica Xistos 1; Quartzitos; Mica Xistos 2; Gnaisses Finos; e Mica Xistos 3. A superfície de cavalgamento que separa a Nappe de Passos das rochas do Grupo Canastra, é identificada em dois segmentos, um na parte central da folha, em cujo núcleo ocorrem rochas do Grupo Canastra, que integram o Domínio Externo. O outro segmento situa-se na porção leste da folha, não exibindo continuidade para oeste por ser truncada por falhas verticais, de direção aproximadamente NS.

3.1.2.2 DOMÍNIO EXTERNO

É constituído por rochas metassedimentares neoproterozoicas do Grupo Canastra, que ocorrem em três segmentos distintos: O segmento Tapira, situado no extremo norte da folha, o segmento Serra da Canastra, separado do primeiro pela Falha Canastra Norte, e o Segmento Represa de Estreito, que ocorre isolado dos outros dois segmentos, não permitindo estabelecer suas relações de contato, principalmente porque o segmento Represa de Estreito exhibe estruturação da foliação principal na direção NW, que contrasta com os outros dois segmentos que mostram direção preferencial WNW. Os dados estruturais levantados no presente projeto, bem como de trabalhos em áreas adjacentes (SANTOS & SIMÕES 2009, SIMÕES *et al.*, 2015) mostram que as rochas do domínio Externo no segmento Serra da Canastra já estavam estruturadas com foliação subvertical, no momento do alojamento da Nappe de Passos, ao longo de uma superfície de baixo ângulo.

3.1.2.3 DOMÍNIO AUTÓCTONE

Constituído por rochas arqueanas a paleoproterozoicas relacionadas ao embasamento do Cráton São Francisco, correlacionadas ao Complexo Metamórfico Campos Gerais. O Domínio Autóctone ocorre na área como uma estreita lente de rochas gnáissicas, que correspondem aos terrenos gnaiss-greenstone que formam o substrato do Cráton do São Francisco. Afloram em meio às rochas da Nappe de Passos como uma lente tectônica embutida ao longo da Falha de Cássia.

3.2 Geologia local

A região do distrito de Desemboque se encontra no segmento Tapira, a qual faz parte do Domínio Externo ao extremo norte, sendo composta por três unidades: Xisto Grafitoso associado a quartzito, granada-muscovita xisto e a Unidade Muscovita Xisto Grafitoso. Em suas adjacências se encontram muscovita xistos grafitosos, granada-mica xistos e granada-grafita-muscovita xistos. Estas rochas afloram na forma de cristas alongadas paralelas à direção das principais estruturas regionais e comumente as encostas destes morros exibem blocos de rocha alterada.

3.3. Ocorrências Minerais da Folha Desemboque

As substâncias minerais apresentadas nesta região possuem algum potencial para exploração. Alguns dos tipos mais abundantes de substâncias minerais da região são:

- **Areia** – Sua exploração é voltada para construção civil e revestimento, sendo comumente exploradas nas margens e nos leitos ativos dos rios e nas planícies aluvionares. A extração de arenitos na formação Botucatu, é feita em material inconsolidado que possui alta friabilidade, favorecendo a exploração e o beneficiamento do material.
- **Água** – Existem alguns registros para a exploração de água mineral para engarrafamento na região, onde estão alojadas em fraturas do diabásio da Formação Serra Geral e dos quartzitos. No entanto, não há informações de que houve exploração nos quartzitos.
- **Basalto** – Estão localizados na porção NW da folha Desemboque, há também registros da Agência Nacional da Mineração (ANM) em algumas dessas áreas com uso voltado para revestimento.
- **Caulim** – Ao sul do distrito de Desemboque, ocorrem metarritmitos, filitos, quartzitos e xistos. As rochas estão em estágio avançado de alteração e os afloramentos normalmente estão associados a drenagens ou cortes de estrada.
- **Fosfato** – Essa porção do mapa abriga quartzitos puros e micáceos, arenitos, basaltos e conglomerados da Bacia Sedimentar do Paraná. No entanto, ainda não há vestígios de exploração dessa substância mineral.

- **Quartzito** – O quartzito é usado como rocha ornamental e de revestimento na região. Apesar da abundância da rocha na área não foram encontradas pedreiras.
- **Serpentinito** – É comum a presença de lentes máficas e ultramáficas, mas ainda não houve vestígios de exploração.
- **Diamante** – As fontes diamantíferas estão provavelmente relacionadas às rochas ultramáficas ultrapotássicas que ocorrem na região da Serra da Canastra. Segundo fontes, a exploração teve seu fim na década de 90. Em vários locais encontraram-se vestígios de uma exploração abandonada como pilhas de seixo e canais de águas desviados.
- **Ouro** – Foi o bem mineral de maior importância da região, com um registro histórico de exploração até o final do século XX. A exploração ocorreu a partir depósitos aluvionares, do tipo terraço, composto essencialmente por areia, seixos de diversos tamanhos e argila (SILVA, 2006). Além do garimpo histórico de Desemboque, onde se observa pilhas de seixos e blocos de variados tamanhos e cursos d'água desviados segundo as margens do Rio Araguari, há duas ocorrências de ouro, que foram exploradas por garimpeiros até mais recentemente, chamadas de Garimpo do Ouro e Garimpo do Baú. Segundo a população, o ouro apresenta granulação fina e ocorre em pequenas quantidades, não ocorrendo associado a nenhuma camada específica do empilhamento aluvionar.

4. METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho as seguintes etapas foram realizadas:

4.1 Aquisição de base cartográfica e topográfica

Para interpretação e entendimento prévio das feições geológicas, topográficas e da dispersão dos sedimentos e solos de Desemboque, foi necessária a consulta a uma base cartográfica. Para tal, foi feito um projeto usando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que consiste em uma compilação de diversas camadas georreferenciadas geradas a partir de um banco de dados que envolveu informações a respeito da geologia, hidrografia e topografia da região de Desemboque.

- Para elaboração dos mapas foi utilizado o software ArcGis 10.5;
- As imagens de satélite foram obtidas através do software Google Earth Pro;
- O mapa geológico de Desemboque e Sacramento foi obtido através do site Portal da Geologia;
- Base Cartográfica de Hidrografia obtidas pelo próprio ArcGis;
- Mapas topográficos de Sacramento e Desemboque fornecidos pelo site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

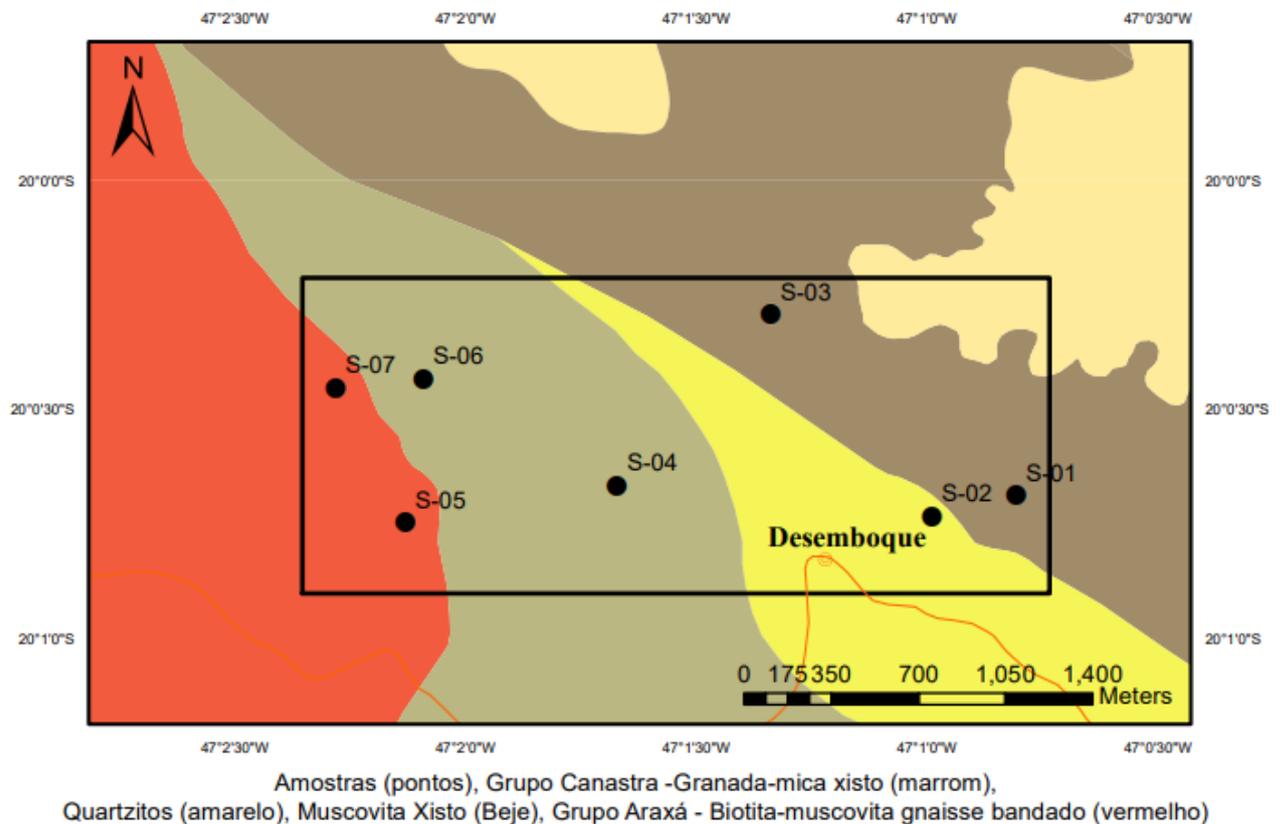
4.2 Trabalho de Campo

Foi realizada uma etapa de campo necessária para encontrar pontos estratégicos de coleta de material (Figura 8). Os pontos foram selecionados a partir de locais com pouca vegetação e facilidade na coleta de amostras de solo, sendo utilizadas diversas ferramentas no processo, como pá reta, trados, boca de lobo, enxada, dentre outras, em zonas de deposição de material às margens de rios e encostas ao longo do Rio Araguari e próximo ao Córrego da Cinza, todos ao redor de Desemboque. Foi necessária a coleta de sub amostras retiradas de maneiras uniformes em volume e profundidade desejada, para que não ocorresse uma superestimação dos atributos do solo dentro de um mesmo talhão. Estas amostras foram coletadas entre aproximadamente 40 e 60 cm de profundidade com uma quantidade em peso e volume adequadas para as etapas posteriores de laboratório.

4.3 Laboratório

Na etapa de laboratório as amostras foram secadas na estufa, em seguida foram quarteadas com o uso do quarteador Jones para posterior separação em frações menores com cerca de 40 gramas. Após isso, foram enviadas para determinação de sua composição química, paga pela empresa Ruscher Investimentos e Participações (Anexo 1), para obtenção dos valores de elementos metálicos presentes nas amostras de solo.

Figura 7 - Identificação e localização dos pontos de coleta das amostras.



4.4 Tratamento estatístico dos dados geoquímicos

Após a obtenção dos dados realizados em laboratório, foi feita a organização dos resultados obtidos em uma planilha do Excel, com a identificação dos pontos onde foi realizada a coleta das amostras. Essa tabela servirá para o tratamento estatístico dos valores através da estatística descritiva, por meio das análises estatísticas univariada e bivariada, com auxílio do software MINITAB 19.

4.4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA E BIVARIADA

Na análise Univariada buscamos descrever toda a população examinando cada variável por vez, incluindo sua medida central e dispersão, incluindo gráficos para melhor visualização do conteúdo.

Já na análise Bivariada há o objetivo de comparar grupos de diferentes amostras, buscando explicações e relações causais, com o pressuposto de que a variável de estratificação tenha algum efeito causal sobre a variável de descrição (BABBIE, 1999). Também foi feita a correlação de duas variáveis, através do coeficiente de correlação de Spearman (r), o qual é mais robusto devido não depender tanto de valores anômalos. O sinal indica a direção da correlação, sendo ela positiva ou negativa, e o valor indica sua magnitude. O valor igual a zero significa que não há nenhuma correlação entre as variáveis. Uma correlação positiva indica quando x e y aumentam, sendo assim associados os valores de um ao outro.

De acordo com ALMEIDA (2018), a seguinte classificação é feita em relação a magnitude do coeficiente:

Tabela 2 - Coeficiente de correlação de Spearman.

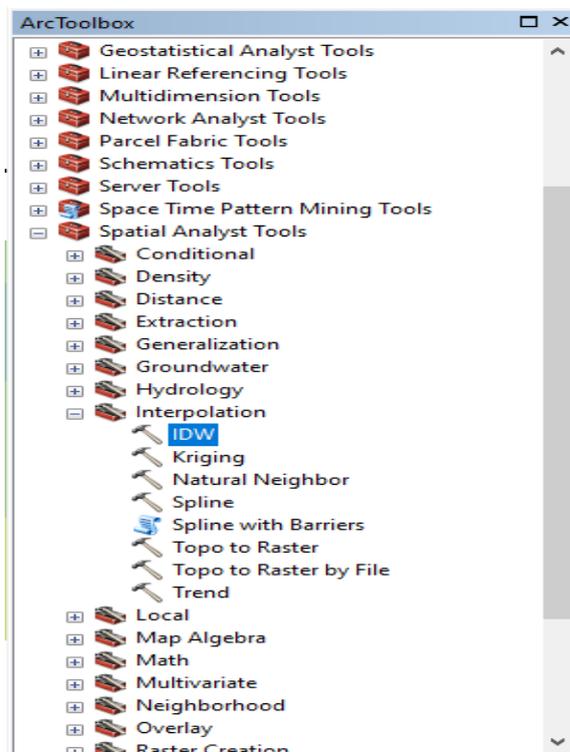
Correlação	(r)
Ausente	0,0 – 0,3
Fraca	0,31 – 0,5
Média	0,51 – 0,7
Elevada	0,71 – 0,9
Excelente	0,91 – 1

Fonte: adaptado de ALMEIDA, 2018.

4.5 Tratamento gráfico das amostras através da criação de mapas de Isotores

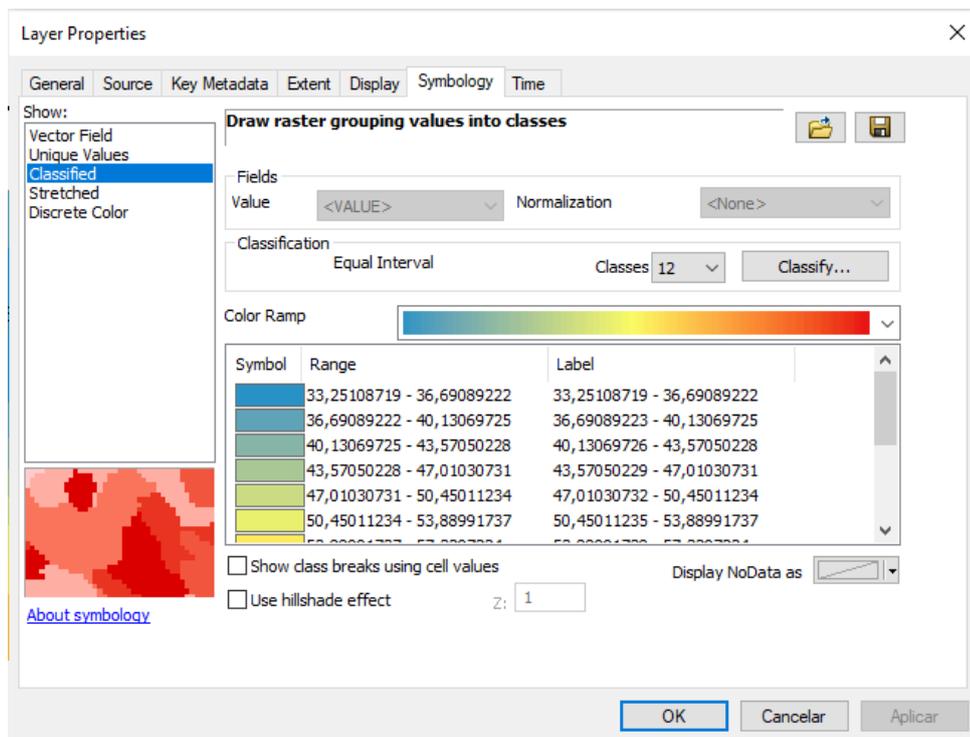
Nesta etapa foi realizada a organização dos dados no software ArcGis, em conjunto com suas coordenadas, para visualização do nível dos teores em cada ponto onde foi coletada as amostras. Para tal foi utilizado o método de interpolação IQD (Inverso do Quadrado da Distância), apresentado nas Figuras 8 e 9, que foi o método com melhor representação do mapa de isotores se comparado aos demais, onde as cores frias representam as menores concentrações e as cores quentes as maiores concentrações dos elementos presentes em cada amostra.

Figura 8 - Seleção do método IQD (IDW) pelo ArcGis.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Figura 9 - Classes e cores utilizadas na interpolação.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

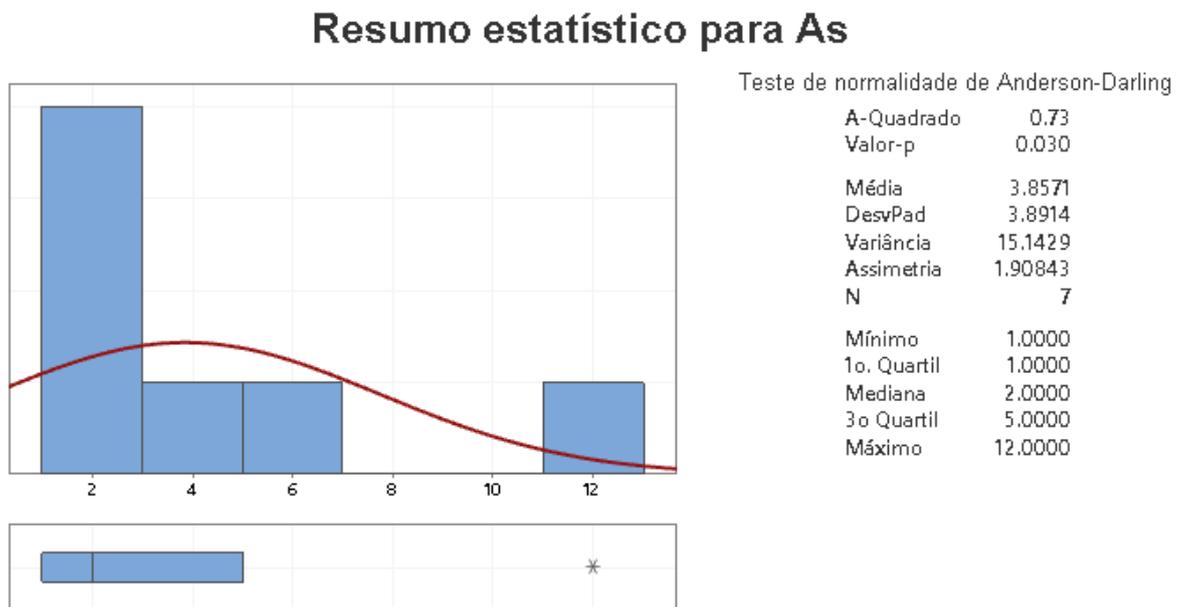
5.1 Análise estatística Univariada dos Dados Geoquímicos

Foi realizado o tratamento estatístico dos resultados obtidos em laboratório, por meio das análises Univariada e Bivariada. Na análise Univariada (Figuras 10 a 23) há a representação da distribuição de uma variável através de histogramas com ajuste e boxplots, tal como frequência de ocorrências do conjunto e as medidas representativas do banco de dados, como média, desvio padrão, variância, assimetria e Teste de Normalidade de Anderson-Darling.

Na análise Bivariada foi feita a correlação entre os principais elementos presentes nas amostras, buscando estabelecer se essa relação entre eles tem algum efeito causal entre uma variável e outra.

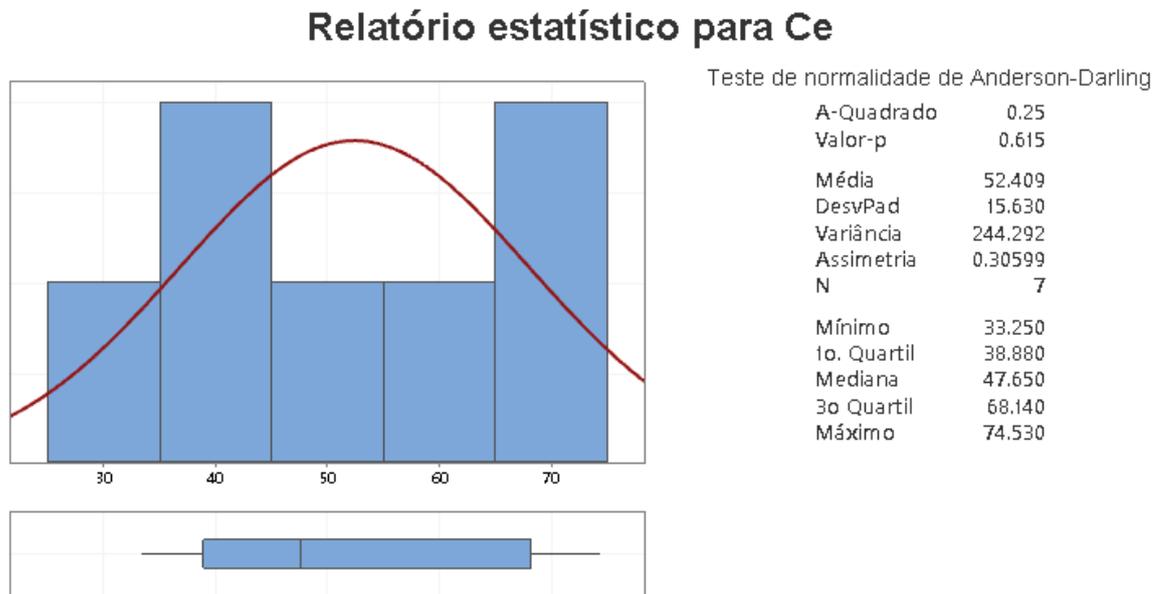
5.1.1 ARSÊNIO

Figura 10 - Estatística para o As (ppm)



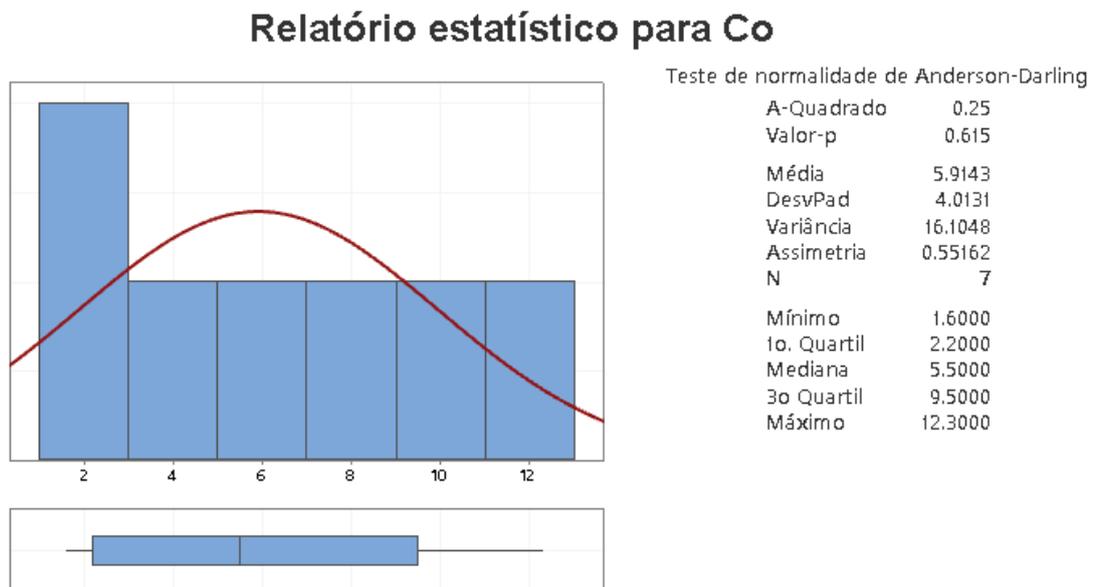
5.1.2 CÉRIO

Figura 11 - Estatística para o Ce (ppm)



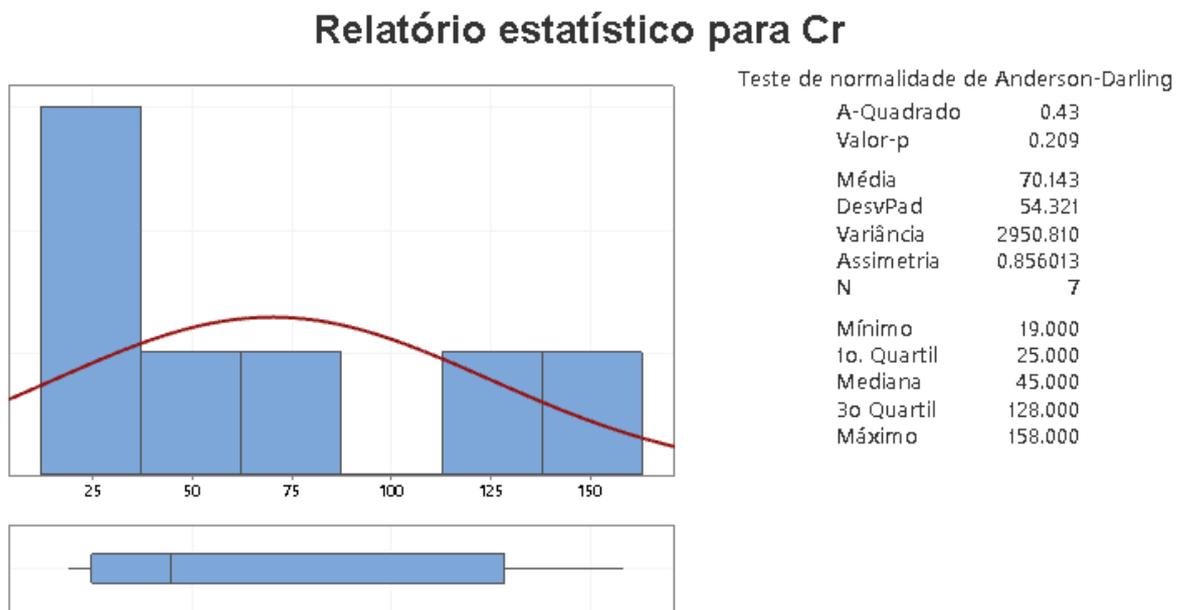
5.1.3 COBALTO

Figura 12 - Estatística para o Co (ppm)



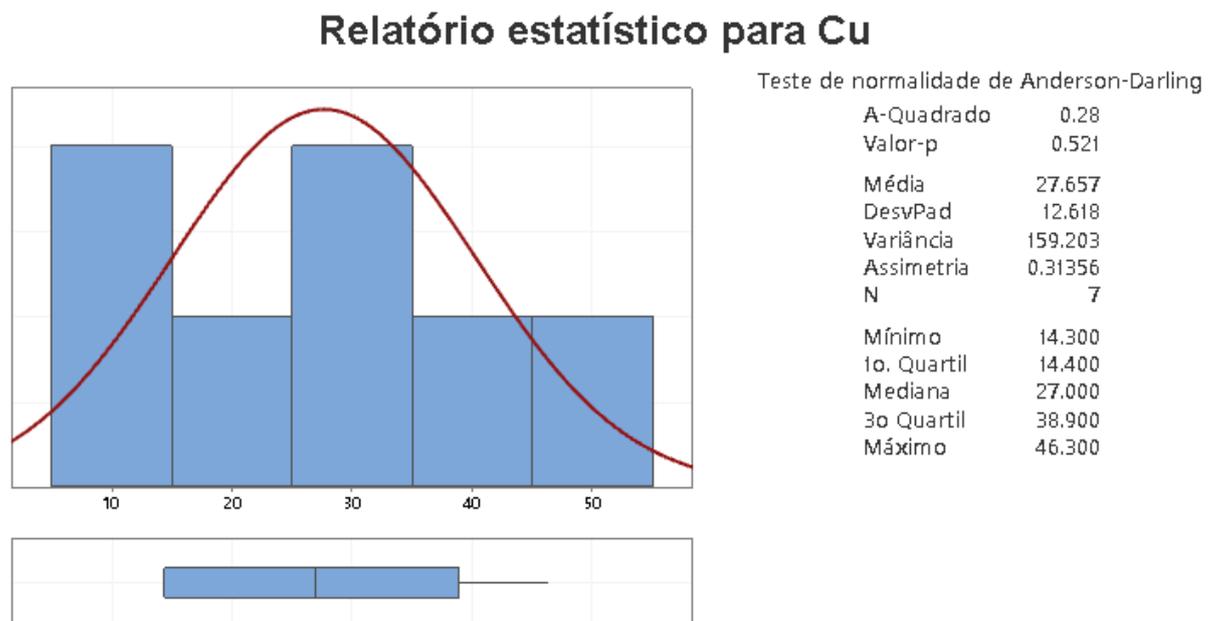
5.1.4 CROMO

Figura 13 - Estatística para o Cr (ppm)



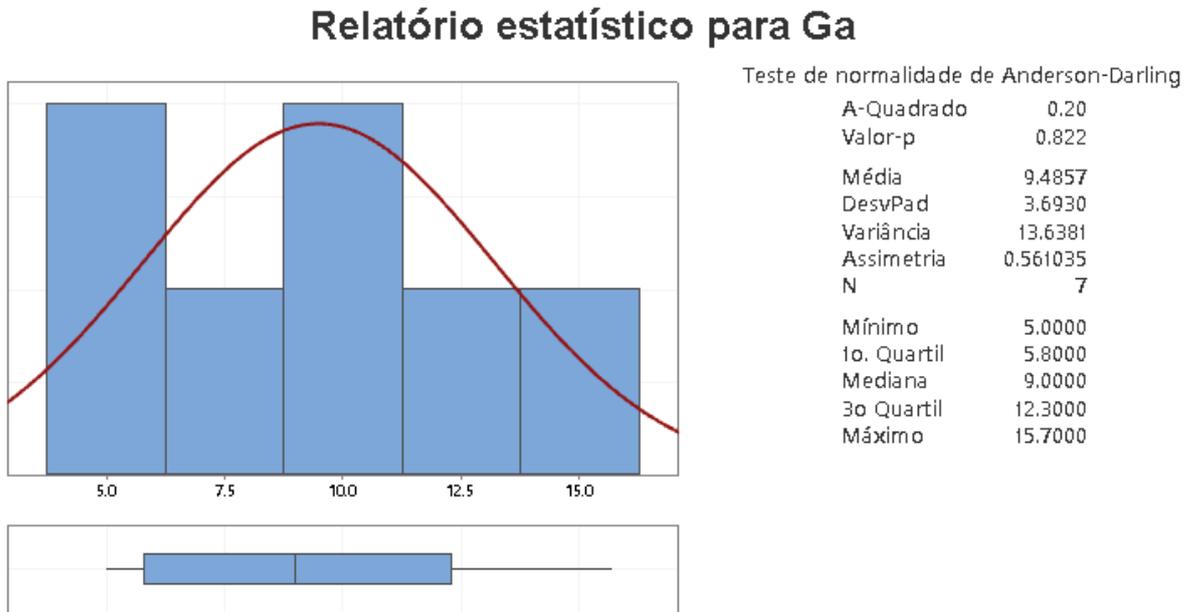
5.1.5 COBRE

Figura 14 - Estatística para o Cu (ppm)



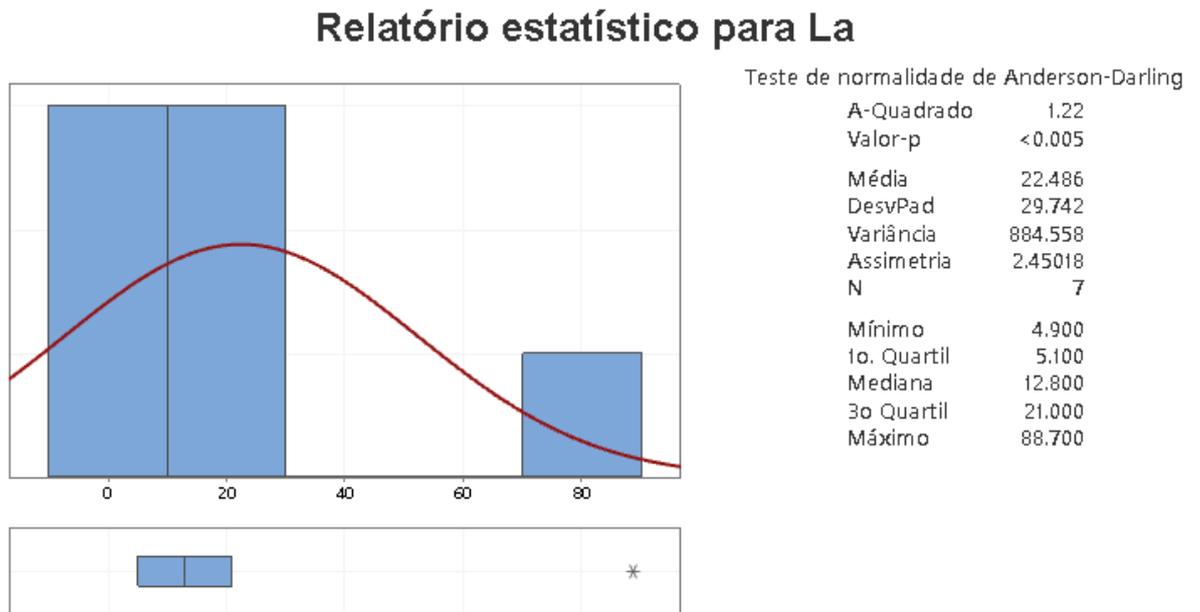
5.1.6 GÁLIO

Figura 15 - Estatística para o Ga (ppm)



5.1.7 LANTÂNIO

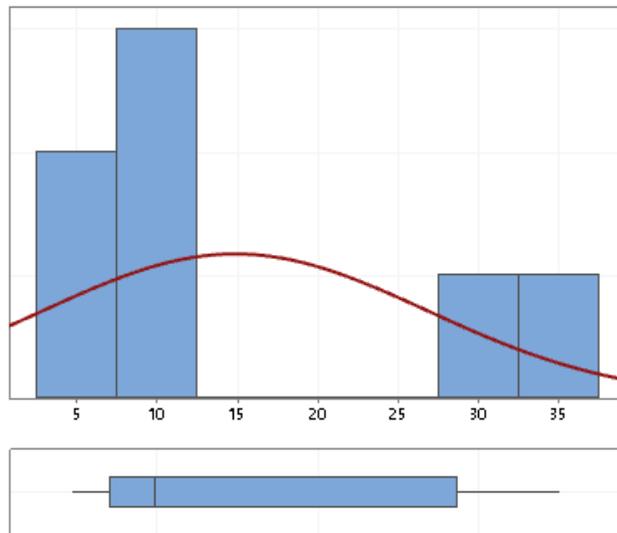
Figura 16 - Estatística para o La (ppm)



5.1.8 NÍQUEL

Figura 17 - Estatística para o Ni (ppm)

Relatório estatístico para Ni



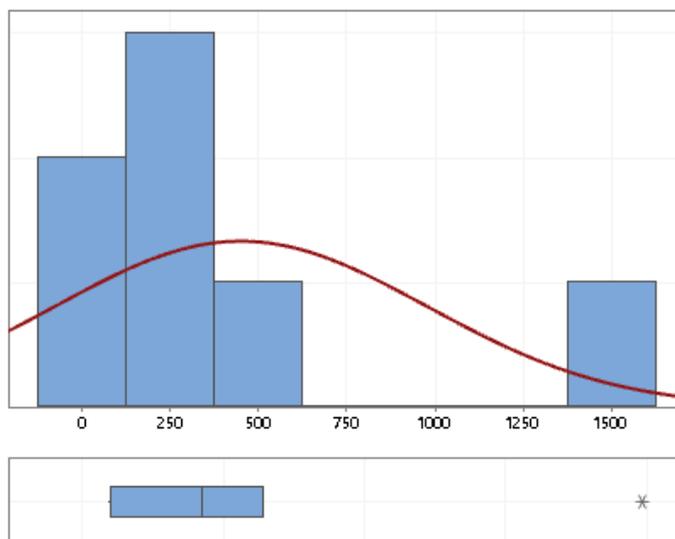
Teste de normalidade de Anderson-Darling

A-Quadrado	0.76
Valor-p	0.025
Média	14.886
DesvPad	11.936
Variância	142.461
Assimetria	1.21093
N	7
Mínimo	4.700
1o. Quartil	7.100
Mediana	9.900
3o Quartil	28.700
Máximo	35.100

5.1.9 FÓSFORO

Figura 18 - Estatística para o P (ppm)

Relatório estatístico para P

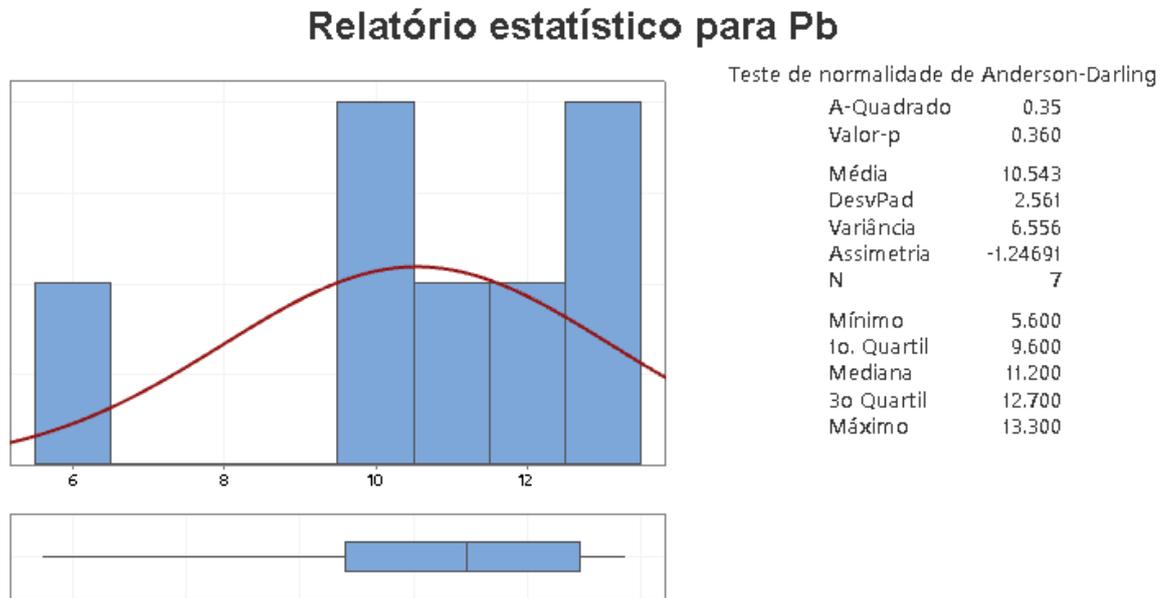


Teste de normalidade de Anderson-Darling

A-Quadrado	0.88
Valor-p	0.011
Média	450.43
DesvPad	526.25
Variância	276941.95
Assimetria	2.16921
N	7
Mínimo	71.00
1o. Quartil	83.00
Mediana	341.00
3o Quartil	514.00
Máximo	1589.00

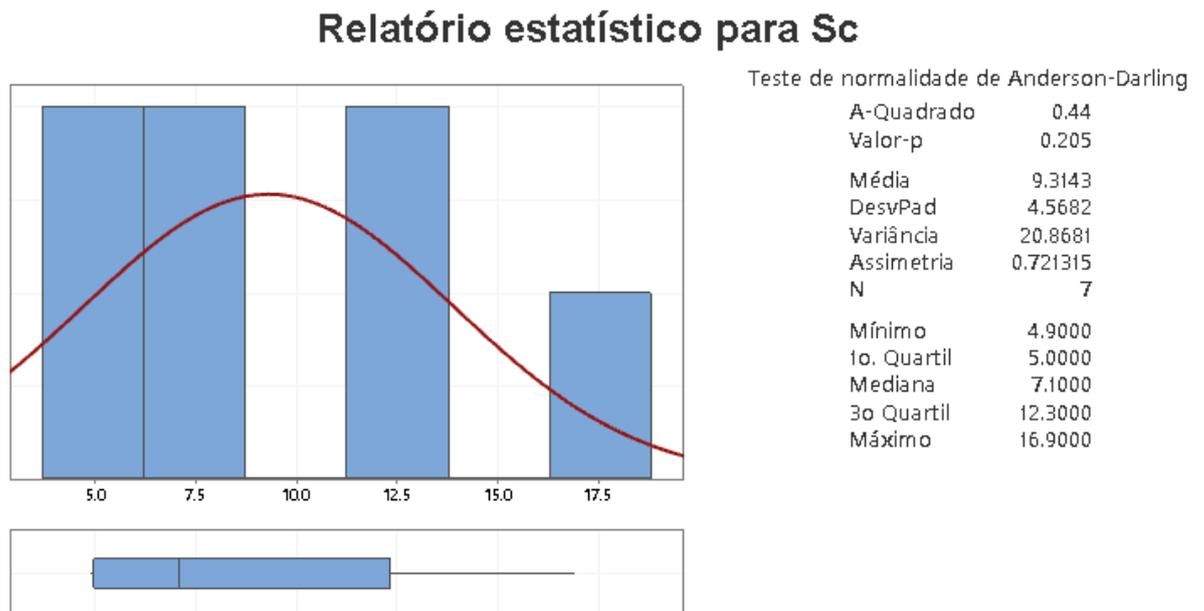
5.1.10 CHUMBO

Figura 19 - Estatística para o Pb (ppm)



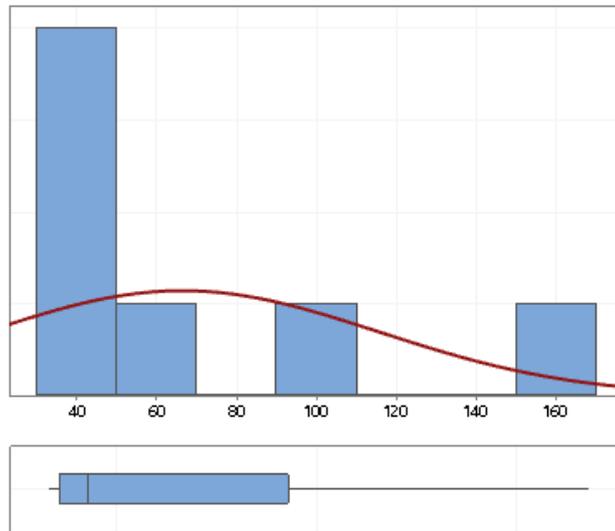
5.1.11 ESCÂNDIO

Figura 20 - Estatística para o Sc (ppm)



5.1.12 VANÁDIO

Figura 21 - Estatística para o V (ppm)

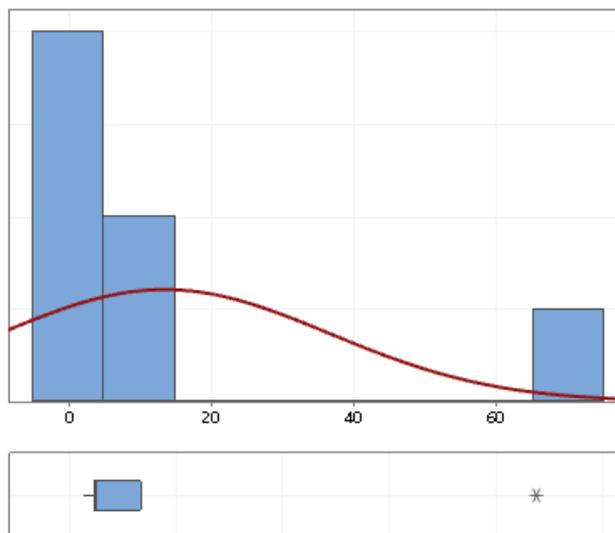
Relatório estatístico para V

Teste de normalidade de Anderson-Darling

A-Quadrado	0.90
Valor-p	0.010
Média	66.571
DesvPad	49.074
Variância	2408.286
Assimetria	1.90287
N	7
Mínimo	33.000
1o. Quartil	36.000
Mediana	43.000
3o Quartil	93.000
Máximo	168.000

5.1.13 YTRIO

Figura 22 - Estatística para o Y (ppm)

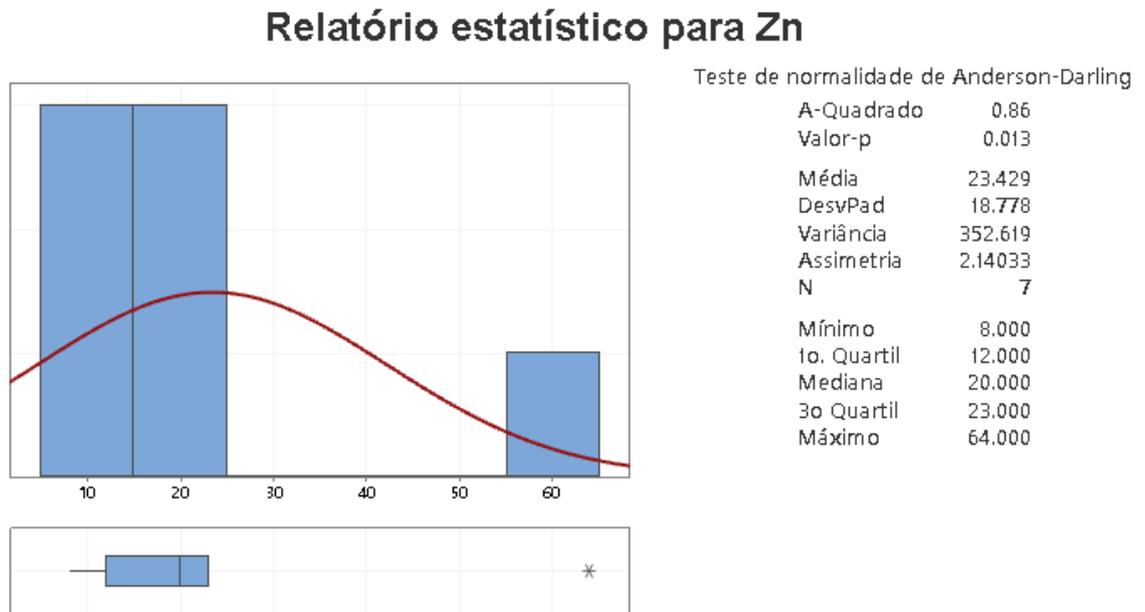
Relatório estatístico para Y

Teste de normalidade de Anderson-Darling

A-Quadrado	1.59
Valor-p	<0.005
Média	13.546
DesvPad	23.115
Variância	534.319
Assimetria	2.58159
N	7
Mínimo	2.210
1o. Quartil	3.640
Mediana	4.070
3o Quartil	10.190
Máximo	65.650

5.1.14 ZINCO

Figura 23 - Estatística para o Zn (ppm)



De acordo com os histogramas representados acima, conclui-se que a maioria dos elementos detectados na análise em laboratório, presentes no solo superficial da região de Desemboque, apresentam distribuições variadas dos elementos em questão. Destacam entre esses As, Cr, Ni, P e V, apresentando uma grande semelhança na sua distribuição.

Da mesma maneira, Cu e Ga se assemelham entre si, La, Y e Zn, e por fim, Ce e Pb. Pode-se notar também que em todos os histogramas representados, há uma porção acima da curva vermelha no lado direito da representação, que pode ser considerado devido a elevada densidade de concentrações próximas do valor mais baixo registrado em cada elemento, em conjunção com a baixa ocorrência das concentrações altas.

5.2 Análise Estatística Bivariada

Na análise bivariada há inclusão de métodos de análise de duas variáveis, assim podendo correlacionar dois elementos distintos, para que se possa definir uma associação entre eles. De acordo com o coeficiente de correlação de Spearman, foram considerados valores acima de 0,3 avaliados com algum tipo de correlação sendo ela fraca, média, elevada ou excelente. Para verificar as relações entre as concentrações dos elementos analisados nas amostras, foi produzida a matriz de correlação dos elementos analisados (Tabela 3).

Tabela 3 - Matriz de correlação dos elementos químicos estudados.

	As	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Ni	P	Pb	Sc	V	Y	Zn
Ce	0,675													
Co	-0,168	0,458												
Cr	-0,43	-0,081	0,32											
Cu	0,286	0,877	0,624	0,111										
Ga	-0,153	0,409	0,766	0,8	0,537									
La	-0,267	0,025	0,804	0,084	0,153	0,409								
Ni	-0,052	0,616	0,505	0,269	0,878	0,49	0,025							
P	0,352	0,641	0,131	-0,35	0,735	-0,098	-0,145	0,759						
Pb	0,126	0,385	0,294	0,729	0,407	0,703	-0,029	0,499	0,152					
Sc	-0,341	0,309	0,947	0,241	0,589	0,626	0,824	0,525	0,192	0,118				
V	-0,441	-0,008	0,856	0,319	0,169	0,604	0,918	0,069	-0,316	0,003	0,86			
Y	-0,349	-0,083	0,767	0,144	0,046	0,417	0,987	-0,073	-0,291	-0,07	0,788	0,949		
Zn	0,234	0,668	0,375	-0,224	0,835	0,098	0,092	0,84	0,963	0,206	0,445	-0,058	-0,052	

Como se pode observar, há uma correlação muito forte nos pares Co-Sc (0.95), La-V (0.92), La-Y (0.99), P-Zn (0.96) e V-Y (0.96). A correlação entre cobalto e escândio pode se dar devido a presença de rochas ultramáficas na região, que como resultado do processo de intemperismo prolongado dessas rochas, sob condições microclima favoráveis, tectônica, relevo e outros fatores, alguns elementos como magnésio e sílica são removidos e outros são retidos como ferro, níquel, cobalto e escândio (Proenza, 2015).

Algumas outras correlações fortes como La-Sc (0.82), La-Y, Sc-Y (0.79) se devem ao fato de que estes elementos representam um grupo de 17 metais conhecidos como elementos de terras raras (ETR), que apresentam semelhanças nas propriedades físicas e químicas e no comportamento geoquímico, além de não aparecerem como metais nativos da crosta terrestre, assim se concentrando em haletos, carbonatos, óxidos, fosfatos e silicatos.

Já a correlação entre P-Zn é conhecida devido o zinco ser um elemento ativo em processos bioquímicos e possuir interação química e biológica com alguns outros elementos, sendo fósforo o elemento mais importante que interfere na absorção de zinco pelas plantas.

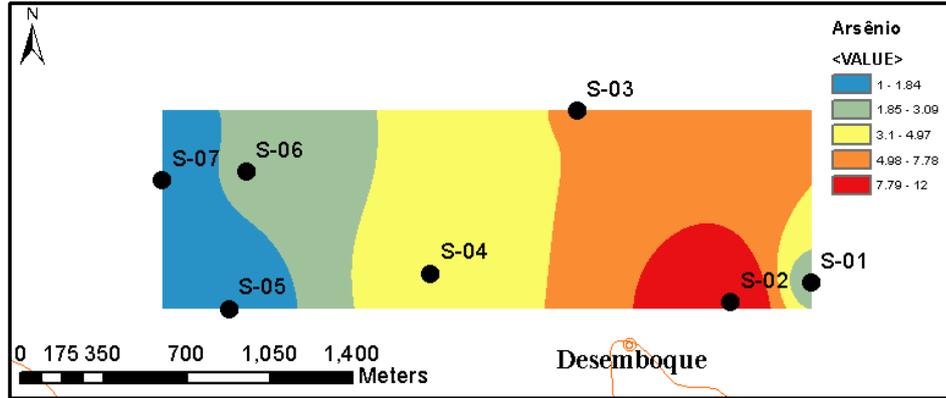
Também se observa uma correlação média positiva entre As-Ce (0.68), Ce-Ni (0.62), Ce-P (0.64), Ce-Zn (0.67), Co-Cu (0.62), Co-Ni (0.51), Cu-Ga (0.54), Cu-Sc (0.59), Ga-Pb (0.70), Ga-Sc (0.63), Ga-V (0.60) e Ni-Sc (0.53).

5.3 Curvas de Isotores pelo método IQD

Através dos resultados obtidos com o tratamento estatístico dos dados, foram definidos os elementos com representatividade e interesse para a elaboração dos mapas de anomalia através da interpolação pelo método IQD (Inverso do quadrado das distâncias), onde as cores quentes representam teores mais elevados do elemento, e as frias teores mais baixos.

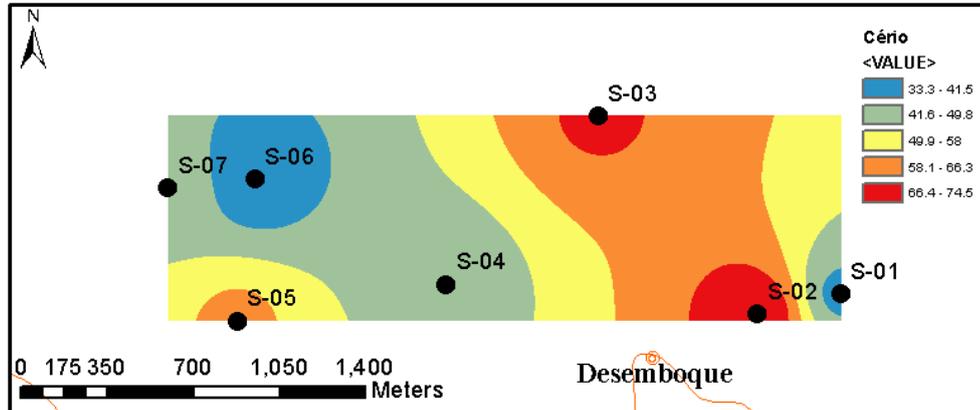
5.3.1 ARSÊNIO

Figura 24 - Curvas de isotores para arsênio (IQD)



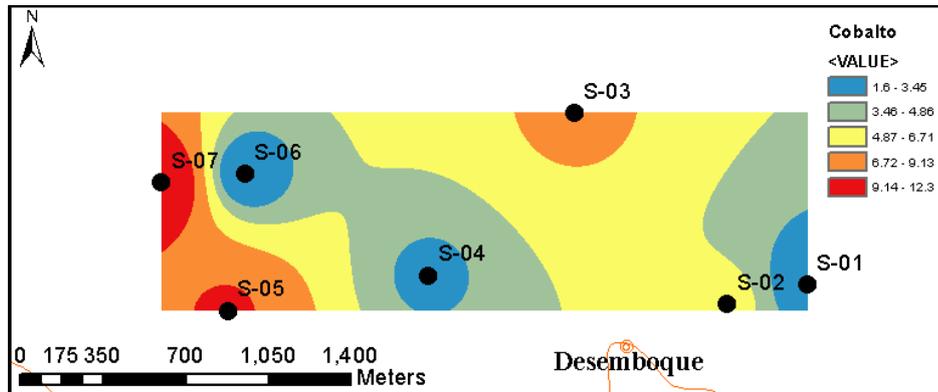
5.3.2 CÉRIO

Figura 25 - Curvas de isotores para cério (IQD)



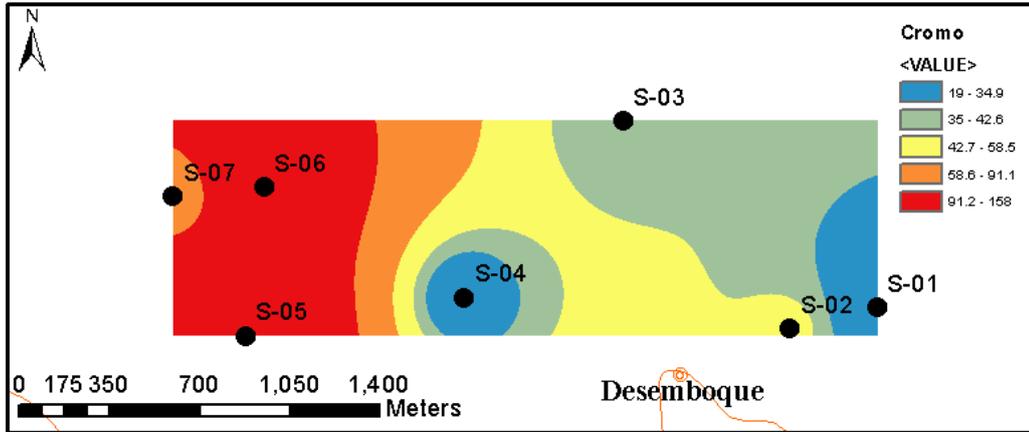
5.3.3 COBALTO

Figura 26 - Curvas de isotores para cobalto (IQD)



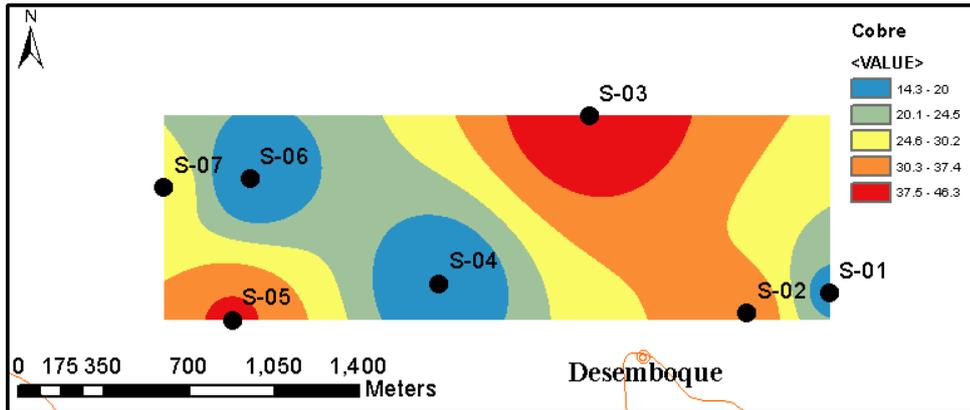
5.3.4 CROMO

Figura 27 - Curvas de isotores para cromo (IQD)



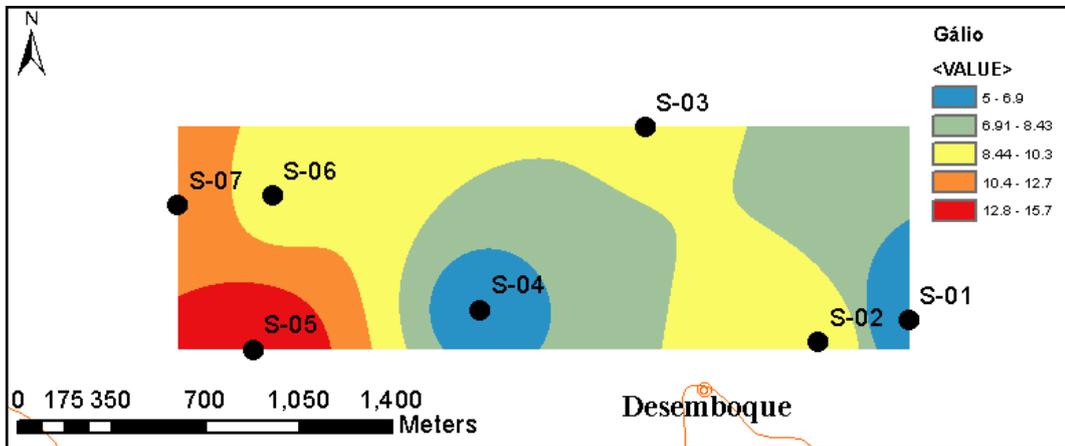
5.3.5 COBRE

Figura 28 - Curvas de isotores para cobre (IQD)



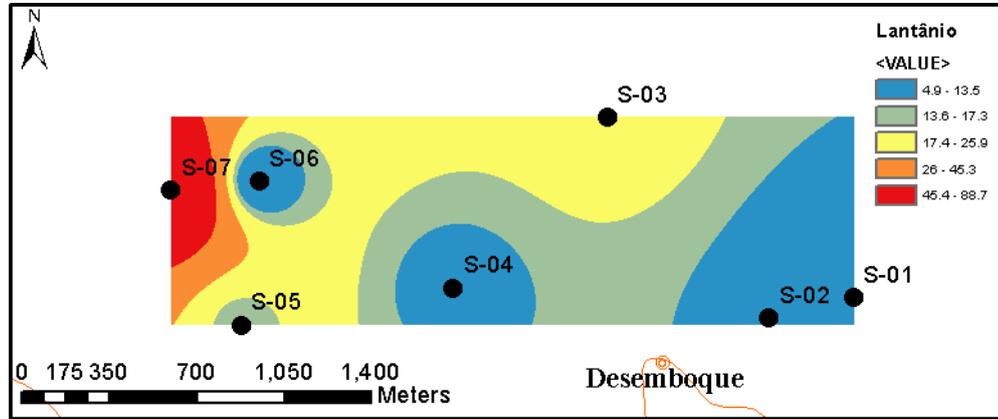
5.3.6 GÁLIO

Figura 29 - Curvas de isotores para gálio (IQD)



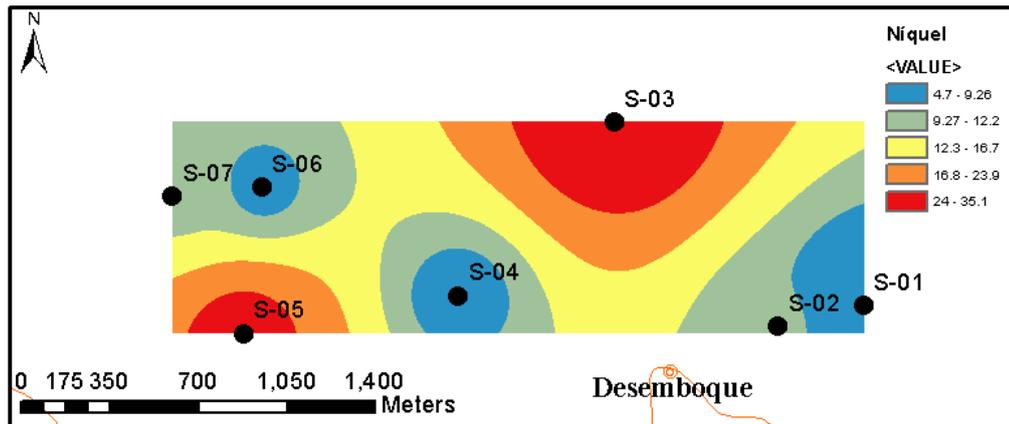
5.3.7 LANTÂNIO

Figura 30 - Curvas de isotores para lantânio (IQD)



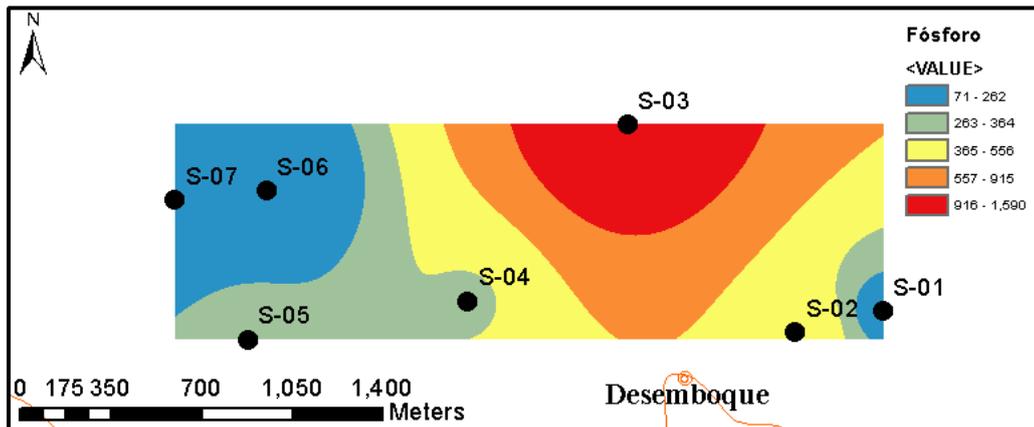
5.3.8 NÍQUEL

Figura 31 - Curvas de isotores para níquel (IQD)



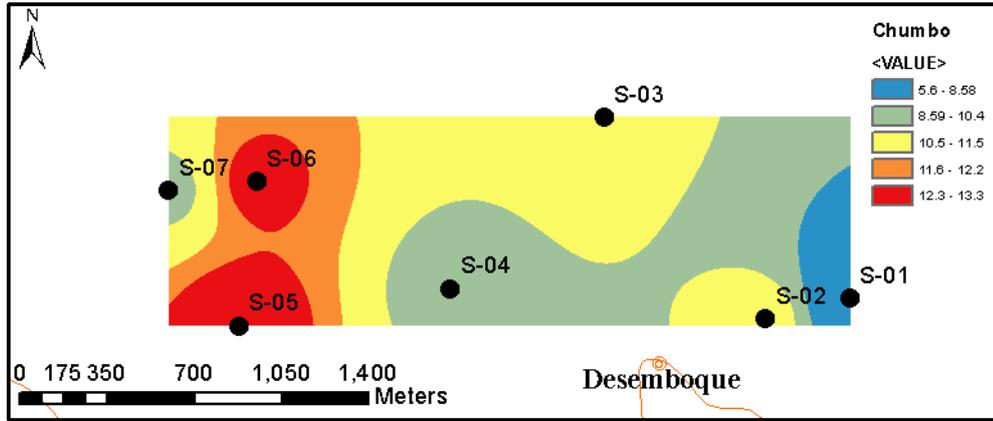
5.3.9 FÓSFORO

Figura 32 - Curvas de isotores para fósforo (IQD)



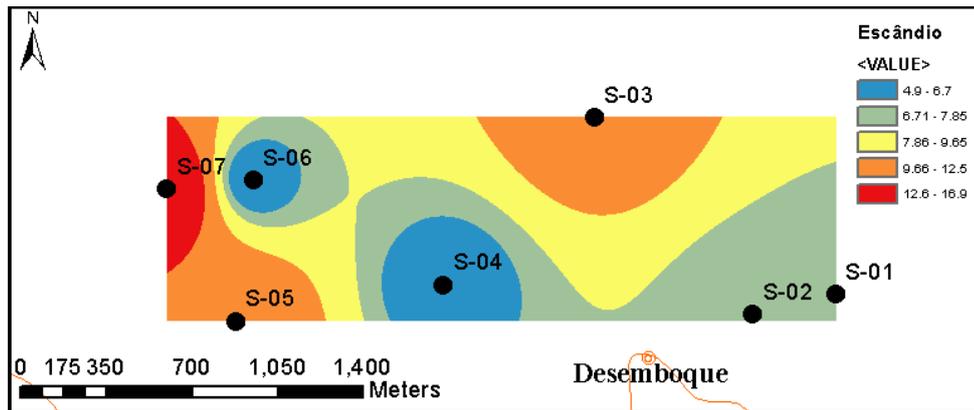
5.3.10 CHUMBO

Figura 33 - Curvas de isotores para chumbo (IQD)



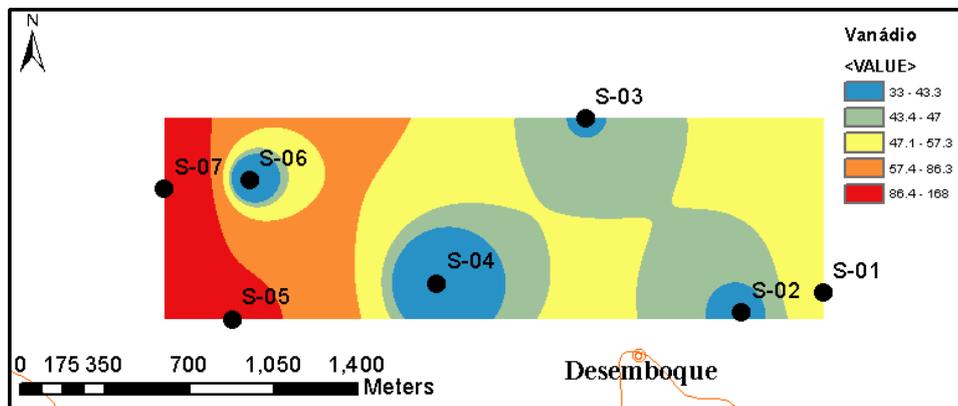
5.3.11 ESCÂNDIO

Figura 34 - Curvas de isotores para escândio (IQD)



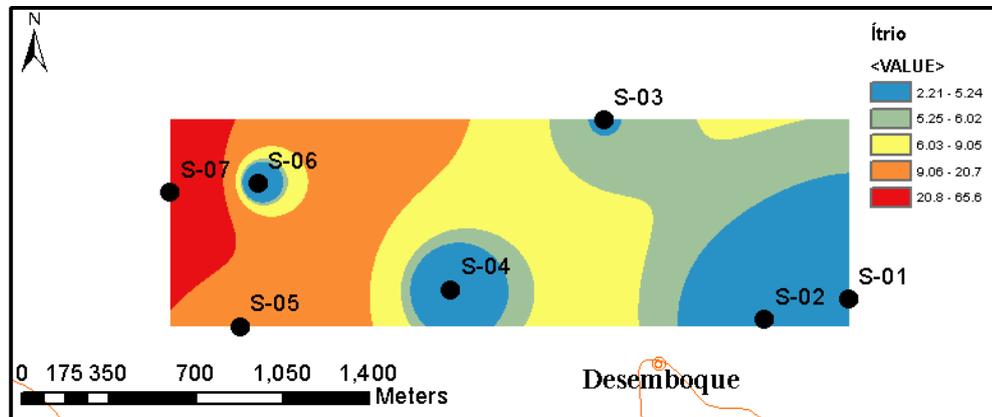
5.3.12 VANÁDIO

Figura 35 - Curvas de isotores para vanádio (IQD)



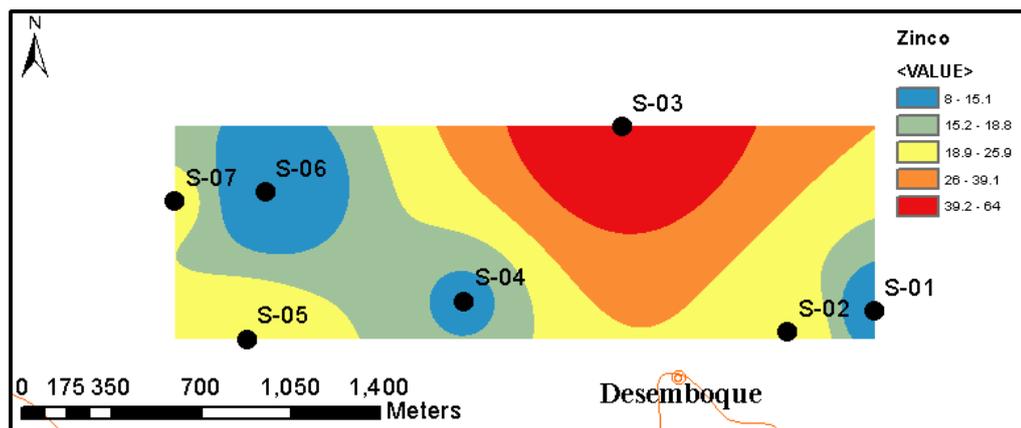
5.3.14 YTRIO

Figura 36 - Curvas de isotores para ítrio (IQD)



5.3.15 ZINCO

Figura 37 - Curvas de isotores para zinco (IQD)



De acordo com os mapas produzidos, nota-se na porção SE da área de estudo, solos que apresentam maiores concentrações de As e Ce, e uma boa concentração de Ga e Pb. Nesta região predomina-se duas unidades, que são compostas por granada-mica xisto e quartzitos. Vale ressaltar que no ponto com a maior concentração de arsênio se encontra próximo ao Rio Araguari, enquanto na região com média proporção do elemento em questão, ocorreram indícios da ocorrência de ouro. E segundo os resultados de correlação geoquímica entre As e Ce e Ga e Pb, já era esperado essas semelhanças no mapa de anomalias.

A porção oeste da área estudada apresenta relevantes concentrações dos elementos Co, Cr, Ga, La, Pb, Sc, Va e Y. Nesta região se situa o segmento Tapira, sendo composta por biotita-muscovita gnaiss bandados e muscovita-xisto. Todos esses elementos apresentam uma relativa correlação geoquímica entre eles, sendo que alguns se enquadram nos elementos

de terras raras, indicando semelhança em suas propriedades físicas e químicas e comportamento geoquímico. Outro ponto de destaque é que a maioria desses elementos apresentam baixa a média concentração nas outras porções da área estudada.

A área norte dos mapas, voltada pro leste, apresenta elevadas concentrações de Cu, Ni, P e Zn, os quais apresentam uma alta correlação geoquímica entre si. A região é predominantemente composta por granada-mica xisto e quartzitos.

Os elementos Ce, Co, Cu, Ga, Ni, Pb e Sc apresentam concentrações significativas em mais de um ponto na área estudada, o que pode indicar a presença constante desses elementos na região.

Os elementos As, P e Zn apresentaram relevante concentração em apenas um ponto de seção, mas sua distribuição não é uniforme na área estudada.

6 CONCLUSÃO

O estudo geoquímico estatístico realizado revelou que, por causa das questões intrínsecas à geologia, os parâmetros obtidos são totalmente inesperados se comparado aos estudos estatísticos usuais. No caso em questão, os outliers são valorizados, diferentemente de outros estudos estatísticos, onde eles são considerados problemas para a análise de resultados.

Igualmente, foram encontrados elevados valores de Variância, em virtude da amplitude dos teores que são naturalmente encontrados numa etapa de uma prospecção geoquímica. Pois, a concentração de um elemento, dentro de uma unidade geológica qualquer, depende de vários fatores, às vezes, absolutamente aleatórios entre si. Num estudo estatístico usual é possível observar erro na amostragem quando ocorre uma excessiva repetição de valores.

No entanto, numa prospecção geoquímica, isso é uma variável comum, seja pela distribuição, totalmente imprevisível dos teores, que dependem de inúmeras variáveis geológicas, seja pela baixa acuidade de procedimentos analíticos. Pois, estando o elemento em concentração muito baixa, é provável que a técnica analítica não consiga detectar a sua real concentração na amostra.

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho foi possível determinar a metodologia utilizada como válida para prospecção em menor escala, abrangendo a área em questão. Possibilitando assim com um trabalho de custo relativamente baixo, levando em consideração que as análises são realizadas através de dados coletados, no entanto sendo necessário atividades de laboratório e campo.

No contexto acadêmico e minerário, o trabalho deixa em aberto um novo questionamento e um alvo a se pesquisar, levando em consideração as ocorrências de ouro presentes na região no passado e de elementos farejadores deste.

Como suporte e contribuição para possíveis trabalhos futuros de pesquisa mineral, os resultados de possível anomalia positiva para o arsênio na região do distrito de Desemboque contribuem e corroboram com as pesquisas e projetos relacionados a detecção de jazimentos de ouro passíveis de exploração na região.

Segundo a metodologia através do método IQD utilizado no trabalho, foi possível perceber através dos mapas de isotores dos elementos uma elevada concentração em determinados locais, o que indica uma probabilidade de ocorrência destes em grande parte da região, concluindo o estudo como pertinente a pesquisa mineral e possibilitando suporte para possíveis trabalhos futuros na região.

Adicionalmente, é possível correlacionar, para um mesmo ponto ou região de pontos no mapa, elevadas concentrações para diferentes elementos químicos que, no entanto, tem afinidades geoquímicas intrínsecas.

Quanto a definição de algum depósito mineral da região, é necessário a continuidade do estudo, seja adensando a malha de amostragem, seja adicionando novas técnicas prospectivas ao projeto como, por exemplo, uma campanha geofísica para determinar anomalias em profundidade.

Para concluir, recomenda-se a continuidade dos estudos no sentido de confirmar a presença, ou não, de algum depósito mineral de algum desses elementos químicos na região de Desemboque.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. (2018). **Geoestatística e Tratamento de Dados - Textos e Exercícios com R**. Sebenta de Geoestatística e Tratamento de Dados, 228 p.

BABBIE, Earl. 1999. “**Métodos de Pesquisas de Survey**”. Belo Horizonte: Editora UFMG. pp.337- 361.

BATEMAN, R., and HAGEMANN, S., 2004, **Gold mineralization throughout about 45 Ma of Archaean orogenesis: Protracted flux of gold in the Golden Mile, Yilgarn craton, Western Australia: Mineralium Deposita**, v. 39, p. 536-559, doi:10.1007/s00126-004-0431-2.

BÖHLKE, J. K., 1982, Orogenic (metamorphic-hosted) gold quartz veins. In: ERICKSON, R. L. (compiler), **Characteristics of mineral deposit occurrences**. Geological. Survey, U.S. Open-File Report 82-795, p. 70-76.

CAVALANTI 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.

COX, S.F., 2005, **Coupling between deformation, fluid pressures, and fluid flow in ore-producing hydrothermal systems at depth in the crust, in Hedenquist, J. W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., and Richards, J.P., eds., Economic Geology 100th Anniversary Volume 1905–2005: Littleton, Colorado, Society of Economic Geologists**, p. 39-75.

Evans K.A. Phillips G.N. Powell R., 2006, **Rock-buffering of auriferous fluids in altered rocks associated with the Golden Mile-style mineralization, Kalgoorlie gold field, Western Australia: Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists** , v. 101, p. 805–817, doi:10.2113/gsecongeo.101.4.805.

GABOURY, D., 2013, **Does gold in orogenic deposits come from pyrite in deeply buried carbon-rich sediments? Insight from volatiles in fluid inclusions: Geology**, v. 41, p. 1207-1210, doi:10.1130/G34788.1.

Goldfarb R.J. Baker T. Dube B. Groves D.I. Hart C.J.R. Gosselin P., 2005, **Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes, in Hedenquist J. W. Thompson J. F. H. Goldfarb R. J. Richards J. P., eds., Economic Geology. 100th Anniversary Volume 1905–2005: Littleton, Colorado, Society of Economic Geologists**, p. 407–450.

Goldfarb R.J. & Groves D.I. 2015. **Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time**. *Lithos*, 233:2-26. doi: 10.1016/j.lithos.2015.07.011

Groves D.I., Condie K.C., Goldfarb R.J., Hronsky J.M.A., Vielreicher R.M. 2005. **100th Anniversary Special Paper: Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits**. *Economic Geology*, 100(2):203–224. doi: 10.2113/gsecongeo.100.2.203

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

Hough R.M. & Butt C.R.M. (eds.). 2009. **Gold. Elements. Elements, An International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology**, 5(5). ISSN: 18115217.

LOPES, Marcos. **O que é a Pesquisa Mineral**. Técnico e Mineração, set. 2013. Disponível em: <<https://tecnicoemineracao.com.br/o-que-e-a-pesquisa-mineral/>>. Acesso em: 13 maio. 2019.

MÖLLER, P. and KERSTEN, G., 1994, **Electrochemical accumulation of visible gold on pyrite and arsenopyrite surfaces**: *Mineralium Deposita*, v. 29, p. 404- 413, doi:10.1007/BF01886958.

PHILLIPS, G. N. and POWELL, R., 2009, **Formation of gold deposits: Review and evaluation of the continuum model - Earth-Science Reviews**, v. 94, p. 1-21, doi: 10.1016/j.earscirev.2009.02.002.

Phillips, G.N., **Australian and global setting for gold in 2013**, in Proceedings World Gold 2013, Brisbane, Australia, 26–29 September, 2013: The Australian Institute of Mining and Metallurgy, p. 15–21.

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

PORTAL DA GEOLOGIA. **Mapeamento Geológico**. Publicação. Minas Gerais, 2017.

Proenza, JA 2015: **Mineralogía y geoquímica de Ni, Co, EGP, Sc, REE en yacimientos lateríticos**. *Macla Revista de la Sociedad Española de Mineralogía* 20: 1-7.

Ridley J. 2013. **Ore Deposit Geology**. Cambridge University Press, 409 p. ISBN: 9781107022225.

Robert F., Brommecker R., Bourne B.T., Dobak P.J., McEwan C.J., Rowe R.R., Zhou X. 2007. **Models and Exploration Methods for Major Gold Deposit Types**. In: Milkereit B. (ed.). *Proceedings of Exploration 07, Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, Toronto. p. 691-711. ISBN: 9784320

Santos T.E.S & Simões L.S.A. 2009. **Caracterização estrutural de um segmento da rampa lateral de Capitólio, limite norte da Nappe de Passos (MG)**. *Revista Brasileira de Geociências*, 39(2):360-374.

Sibson, R.H., Robert, F., and Poulsen, K.H., 1988, **High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits**: *Geology*, v. 16, p. 551–555, doi:10.1130/0091-7613(1988)016<0551:HARFFP>2.3.CO;2.

Silva C.H. da. 2006. **Evolução geológica da Faixa Brasília na região de Tapira, sudoeste de Minas Gerais**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), 196 p.

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

Simões L.S.A., Martins J.E.S., Valeriano C.M., Godoy A.M., Artur A.C. 2015. **Relatório do Mapeamento Geológico Folha Vargem Bonita**, Projeto Triângulo Mineiro, Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), Governo do Estado de Minas Gerais.

TEIXEIRA, João Batista Guimarães. Recursos Minerais. In: HASUI, Yociteru et al. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012. p. 814-832.

Weatherley D.K. Henley R.W., 2013, **Flash vaporization during earthquakes evidenced by gold deposits: Nature Geoscience**, v. 6, p. 294–298, doi:10.1038/ngeo1759.

8. ANEXOS

ANEXO 1 – Análises geoquímicas das amostras coletadas na região de Desemboque, MG.

Type	Sample ID	Al	Ca	K	Na	Mg	Fe	S	Ti	Ag	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Ge	Hf	Hg
		%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SMP	BRANCO_PREP	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,84	<0,01	<0,01	0,03	<1	<10	<5	<0,1	<0,02	<0,01	0,19	0,2	6	<0,05	<0,5	0,1	<0,1	<0,05	<0,01
SMP	Amostra S-01	1,15	<0,01	0,07	<0,01	0,02	3,25	<0,01	0,03	<0,01	2	<10	27	0,3	0,08	0,03	38,88	2,2	19	0,44	18,5	5	<0,1	0,06	0,02
SMP	Amostra S-02	2,17	<0,01	0,17	0,01	0,02	5,79	<0,01	0,01	<0,01	12	<10	42	0,7	0,61	0,04	74,53	5,5	45	1,04	34,2	10,1	<0,1	0,13	0,02
SMP	Amostra S-03	2,58	<0,01	0,22	0,04	0,01	12,28	0,01	0,01	<0,01	5	<10	67	1,6	0,2	0,03	68,14	7,3	35	1,01	46,3	8,5	0,1	0,09	0,02
SMP	Amostra S-04	1,65	0,01	0,08	0,01	0,02	10,14	<0,01	0,01	<0,01	4	<10	48	0,6	0,15	0,02	43,37	3	25	1,13	14,4	5,8	0,1	<0,05	0,06
SMP	Amostra S-05	4,08	0,04	0,2	<0,01	0,09	5,29	0,01	0,05	<0,01	1	<10	33	1,1	0,34	0,03	61,04	9,5	158	4,39	38,9	15,7	<0,1	0,15	0,02
SMP	Amostra S-06	2,79	<0,01	0,11	<0,01	0,02	2,24	<0,01	0,01	<0,01	2	<10	32	0,5	0,21	0,03	33,25	1,6	128	1,1	14,3	9	<0,1	0,32	0,01
SMP	Amostra S-07	1,18	<0,01	0,09	<0,01	0,07	7,44	<0,01	0,14	<0,01	<1	<10	28	0,7	0,12	0,05	47,65	12,3	81	1,53	27	12,3	<0,1	0,21	0,01

In	La	Li	Lu	Mn	Mo	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Tl	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<0,02	<0,1	<1	<0,01	103	0,83	0,08	1,8	<50	<0,2	<0,2	<0,1	<0,05	0,3	<1	<0,3	<0,5	<0,05	<0,02	<0,05	0,1	<0,02	<0,05	<1	<0,1	<0,05	<0,1	1	<0,5
0,02	5,1	2	0,06	97	0,39	0,62	4,7	205	5,6	7,6	<0,1	0,18	7,1	<1	0,5	<0,5	<0,05	0,15	<0,05	3,3	0,05	0,59	51	0,1	3,89	0,4	12	2,3
0,03	12,8	4	0,06	100	0,85	0,97	9,9	514	11,5	17,4	<0,1	0,28	6,7	<1	0,8	<0,5	<0,05	0,27	0,07	10,2	0,13	1,94	42	0,4	4,07	0,4	23	7,6
0,03	21	6	0,13	127	1,16	1,05	35,1	1589	11,2	18,8	<0,1	0,27	12,3	<1	1,6	<0,5	<0,05	0,28	<0,05	8,3	0,12	4,67	43	0,7	5,17	0,9	64	4,4
0,03	9,8	4	0,06	318	0,71	1,4	7,1	350	9,6	13,4	<0,1	0,8	5	<1	2,3	<0,5	<0,05	0,19	<0,05	4,2	0,13	1,06	36	0,5	3,64	0,4	14	1,6
0,05	15,1	19	0,11	175	0,45	1,29	28,7	341	13,3	34,5	<0,1	0,19	12,3	<1	2,7	<0,5	<0,05	0,46	<0,05	5,5	0,24	1,04	93	0,1	10,19	0,8	23	6,3
0,03	4,9	11	0,03	54	0,36	0,67	7,8	71	12,7	15,3	<0,1	0,13	4,9	<1	1,9	<0,5	<0,05	0,12	<0,05	6	0,09	0,89	33	0,2	2,21	0,2	8	11,5
0,05	88,7	4	0,84	195	0,21	0,14	10,9	83	9,9	8	<0,1	0,1	16,9	<1	0,9	<0,5	<0,05	2,13	0,05	4,4	0,08	0,41	168	<0,1	65,65	5,6	20	3,4