



FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
LICENCIATURA EM CARTOGRAFIA E PESQUISA GEOLOGICA

PROJECTO CIENTÍFICO

**Análise estatística aplicada a**  
**Prospecção geoquímica de ouro na área designada 5246AD**

**Autor:** Manguze, Valério Júnior de Jesus

**Maputo, Dezembro de 2023**



**FACULDADE DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**LICENCIATURA EM CARTOGRAFIA E PESQUISA GEOLOGICA**

**PROJECTO CIENTÍFICO**

**Análise estatística aplicada a**  
**prospecção geoquímica de ouro na área designada 5246AD**

**Autor:** Manguze, Valério Júnior de Jesus

**Supervisor:** Doutor Estêvão Inácio Sumburane- (UEM)

**Co-Supervisor:** Doutor Vicente Albino Manjate-( INAMI)

**Maputo, Dezembro de 2023**

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Valério de Jesus Agostinho Manguze e Argentina Ernesto Pequeno.

Aos meus irmãos Célio Manguze, Adilson Manguze e Nelton Manguze  
À minha namorada Glória David Manjate

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço ao Altíssimo Soberano Senhor **Jeová** pelo dom da vida, conservação, amor, paz, paciência, sabedoria e muitas outras bênçãos que tem me proporcionado dia pois outro.

Aos Serviços de projectos, Tecnologia Mineira e Ambiente (SPTMA) por ter-me concedido o estágio e os dados geoquímicos.

Aos meus pais Valério de Jesus Agostinho Manguze e Argentina Ernesto Pequeno, a quem devo muito pela vida, pelo amor, pelos ensinamentos e pelo infinito esforço para que a minha formação: o que eles fazem é indiscutível. Aos meus irmãos Célio Manguze, Adilson Manguze e Nelton Manguze, pelo amor, companheirismo, generosidade, pelo apoio para que eu pudesse sempre seguir em frente, graças a eles nunca me senti só.

Aos meus avós Agostinho Manguze e Marcela Nhatsadiane (em memória), aos meus tios especialmente Agostinho de Nazaré Manguze e Victoria Manguze, António Ernesto Pequeno e Salomé Pequeno, e a todos os primos em especial à Janete Manguze, pelos ensinamentos, apoio e companheirismo ao longo desses anos

A minha namorada Glória David Manjate por estar por perto nos momentos de alegria e tristeza, pelo apoio incondicional, carinho, amor e por entender que as estimativas do tempo devem ser sempre multiplicadas por cem, o meu muito obrigado.

Aos meus supervisores Prof. Doutor Estêvão Inácio Sumburane- UEM e Doutor Vicente Albino Manjate-INAMI.

Um especial agradecimento vai para o dr. Macuácu-INAMI que se mostrou incansavelmente disponível durante a realização do meu estágio.

Agradecer também aos colegas de estágio, Mussa Cassamo, Marcia Bunga, Vanusa Macuácu e em especial ao Shelton Uamusse pelo suporte e companheirismo.

Agradecer aos meus colegas de quarto Edson Mussalama, Leonardo Chissano, Joaquim Campira pelo companheirismo, apoio e generosidade.

Agradecimentos extensivos a toda turma de 2018 em especial aos meus colegas e amigos Milton Milambo, Ebiuth Jurema (Sinclinal), João Sozinho, Uendi Mazive, Sócrates Valério, Biatriz Domingos, Carmona Mulugo e Lázaro Mavaieie pelos bons momentos passados durante o curso.

A todos meus amigos em especial Sónia Pinto, Isarena Langa, Teodote Matimbe, Edgar Manusse, Valter Sevene e Adriano Ofumane pela atenção, carinho que tem por mim e pelos bons e muitos momentos que passamos juntos.

Agradecer a todos que não pude aqui citar, mas que directa ou indirectamente contribuíram para a materialização deste trabalho

## DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, **Valério Júnior de Jesus Manguze**, declaro por minha honra que o presente Projecto Científico é da minha autoria, não foi submetido ou apresentado em nenhuma outra instituição para obtenção de qualquer grau académico e é resultado da revisão bibliográfica, aplicação de técnicas de análise e interpretação de dados geoquímicas referenciados ao longo do texto e das orientações dos Supervisores, sendo que todas as consultas se encontram devidamente citadas e referenciadas na bibliografia.

Maputo, Dezembro de 2023

---

Valério Júnior de Jesus Manguze

## **Resumo**

Os solos têm sido um dos meios de amostragem mais usados na cartografia geoquímica, servindo de referência à cartografia geológica, prospecção mineral e estudos metalogénicos dado o seu alicerce que se baseia no facto de que, os solos reflectem a composição da rocha-mãe.

Os dados geoquímicos processados e interpretados resultam de um trabalho de campo realizado pelo Instituto Nacional de Minas (INAMI) na Área Designada 5246 AD para identificação de áreas favoráveis a ocorrência de Ouro no Distrito de Changara, Província de Tete entre os dias 07 de Julho à 01 de Agosto de 2018.

Durante esta actividade foram colhidas 135 amostras de sedimentos de corrente na área Designada 5246 AD previamente definida para estudos numa área de 6 461,01 hectares. As amostras foram enviadas para análises químicas de um total de 15 elementos químicos (K,Ca, Ti,V,Sc,Cr, Ni, Cu, Zn, Co, Au, Fe, Sb, Pb e Mn) onde foram extraídos através da técnica Bulk cyanide Leach (BCL).

Para o entendimento das variáveis estudadas, foi aplicada a estatística univariada para pós selecção de teores de fundo (background) e anomalias geoquímicas culminando com a elaboração de mapas de distribuições de teores. A estatística bivariada permitiu agrupar as variáveis de acordo com a sua afinidade geoquímica permitindo a distinção de três grupos com uma correlação positiva fraca, média e forte. E a análise factorial aplicada no estudo multivariado, permitiu a distinção de cinco factores - associação de Ti-V-Mn-Fe-Zn formando o factor 1, associação de K-Au-Pb que representa o factor 2, a associação Cr-Ni-Cu formando o factor 3, o factor 4 formado por Ca-Sc-Co e o factor 5 formado apenas por Sb.

Por meio de técnicas de análise estatística (uni, bi e multivariada) e geoestatística, o presente projecto científico pretende identificar e caracterizar as áreas de ocorrência desses elementos amostrados em solos na área 5246AD, mapa geológico 1:5000, da folha 684.

**Palavras-chave:** solos, prospecção geoquímica, estatística uni, bi e multivariada, geoestatística, Potencial em Ouro.

## **Abstract**

Soils have been one of the most used sampling methods in geochemical cartography, serving as a reference for geological cartography, mineral prospecting and metallogenic studies given their foundation, which is based on the fact that soils reflect the composition of the parent rock.

The geochemical data to be processed and interpreted resulted from fieldwork carried out by the National Institute of Mines (INAMI) in the Designated Area 5246 AD for Gold exploration in the District of Changara, Tete Province between the 7<sup>th</sup> of July and the 1<sup>st</sup> of August 2018.

During this activity, 135 samples of stream sediments were collected in the Designated Area 5246 AD, previously defined for studies, an area of 6,461.01 hectares. The samples were sent for chemical analysis of a total of 15 chemical elements (K, Ca, Ti, V, Sc, Cr, Ni, Sb, Cu, Zn, Co, Au, Fe, Pb and Mn) where they were extracted using the Bulk technique. cyanide Leach (BCL).

To understand the variables studied, univariate statistics were applied for post-selection of background levels and geochemical anomalies, culminating in the creation of maps of level distributions. Bivariate statistics made it possible to group the variables according to their geochemical affinity, allowing the distinction of three groups with a weak, medium and strong positive correlation. And the factor analysis applied in the multivariate study allowed the distinction of five factors - association of Ti-V-Mn-Fe-Zn forming factor 1, association of K-Au-Pb which represents factor 2, the association Cr-Ni -Cu forming factor 3, factor 4 formed by Ca-Sc-Co and factor 5 formed only by Sb.

Geostatistical analysis was used to indicate the zones of occurrence of geochemical associations by factorial analysis and to determine the spatial distribution of element contents. ASTER image processing allowed identification of the main structures – lineaments of the study area.

**Keywords:** soils, geochemical prospecting, uni, bi and multivariate statistics, geostatistics, Gold Potential.



## ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS.....	II
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	IV
Resumo.....	V
Abstract.....	VI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XII
LISTAS DE TABELAS.....	XIV
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1.Apresentação do Problema .....	2
1.2.Relevância do Estudo.....	3
1.3.Objectivos .....	4
1.3.1.Geral.....	4
1.3.2.Específicos .....	4
1.4. Materiais e Métodos.....	5
1.4.1. Materias.....	5
1.4.2.Métodos .....	5
2.GENERALIDADES.....	9
2.1.Localização e Acessibilidade da área de estudo .....	9
2.2.Clima.....	10
2.3.Geomorfologia .....	10
2.4.Relevo .....	10
2.5.Solos.....	10

3. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO.....	12
3.1. Geologia Regional e Tectónica.....	12
3.1.1. Complexo de Mudzi.....	13
3.2. Geologia local.....	14
4.FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	18
4.1.Estatística descritiva.....	18
4.1.1. Medidas de Tendência Central.....	18
4.1.2.Medidas de Dispersão e de Assimetria.....	19
4.1.3. Prospecção Geoquímica.....	20
4.2. Análise Estatística Bivariada.....	21
4.3. Análise Estatística Multivariada.....	22
4.4. Análise Geoestatística.....	22
4.4.1. Semi-variograma.....	23
4.4.2. Krigagem.....	24
5.APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	27
5.1.Estatística descritiva.....	27
5.1.1. Análise exploratória de dados.....	27
5.1.2. Selecção de teores do fundo – anomalias Geoquímicas.....	29
5.1.4. Análise Estatística Multivariada.....	40
5.2. Análise Geoestatística.....	46
5.2.1. Modelagem de semi-variogramas empíricos.....	47
5.2.2. Krigagem ordinária.....	48
6.DISSCUSSÃO.....	53
6.1. Análise Estatística.....	49
7.CONCLUSÕES.....	56

8. RECOMENDAÇÕES.....	52
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
ANEXOS .....	56

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Lista de Abreviaturas

<b>%</b> – percentagem	<b>UEM</b> – Universidade Eduardo Mondlane
<b>AF</b> – Análise factorial	<b>Uni</b> – Univariada
<b>Bi</b> – Bivariada	<b>SE</b> – Sudoeste
<b>DNG</b> – Direcção Nacional de Geologia	<b>SW</b> – Sueste
<b>FRX</b> – Fluorescência de Raios-X	<b>NW</b> – Noroeste
<b>GTK</b> – Serviço Geológico de Finlândia	<b>NE</b> – Nordeste
<b>ppb</b> – parte por um bilhão	<b>MAE</b> – Ministério da Administração Estatal
<b>PPM</b> -Parte por milhão	<b>ln</b> – logaritmo natural
<b>KMO</b> – Kaiser Meyer Olkin	<b>KO</b> – Krigagem ordinária
<b>KI</b> – Krigagem indicativa	<b>INAMI</b> – Instituto Nacional de Minas
<b>ICP – AES</b> – espectrometria de emissão com plasma indutivo	<b>MB</b> – Cinturão de Moçambique
$\bar{x}$ - Média aritmética	<b>CV</b> – Coeficiente de Variação
<b>S</b> – Desvio padrão	<b>n</b> – Número de observações da variável
<b>M d</b> – Mediana	<b>m i n</b> – Valor máximo das observações da variável
<b>Q</b> – Quartil	
<b>m a x</b> – Valor mínimo das observações da variável	

## Lista de Símbolos químicos

**K**-Potássio

**K<sub>2</sub>O**- óxido de Potássio

**Fe**-Ferro

**FeO**- óxido de ferro II

**Ca**-Cálcio

**CaO**- óxido de Cálcio

**Co**-Cobalto

**CoO**- óxido de Cobalto

**Ti**-Titânio

**TiO<sub>2</sub>**- dióxido de Titânio

**Ni**-Níquel

**NiO**- óxido de Níquel

**V**-Vanádio

**V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**- pentóxido de Vanádio

**Cu**-Cobre

**CuO**- óxido de Cobre

**Sc**- escândio

**Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**- óxido de Escândio II

**Zn**-Zinco

**ZnO**- óxido de Zinco

**Cr**-Crômio

**Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**-óxido de Cromo III

**Au**-Ouro

**MnO**- óxido de manganês

**Mn**-Manganes

**Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**- óxido de Antimônio III

**Sb**- antimônio

**PbO**- óxido de Chumbo

**Pb**-Chumbo

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de amostragem de sedimentos de corrente da área de estudo ilustrando os pontos de amostragem.....	7
<b>Figura 2</b> Mapa de localização geográfica da área de estudo .....	9
<b>Figura 3.</b> Mapa esquemático ilustrando as unidades tectónicas proterozoicas da Africa Sul-Oriental .....	12
<b>Figura 4.</b> Mapa Geológico mostrando as unidades litológicas da área de estudo .....	17
<b>Figura 5.</b> Representação gráfica de semi-variograma experimental e os modelos teóricos .....	24
<b>Figura 6.</b> Mapa de distribuição de anomalias de K .....	32
<b>Figura 7.</b> Mapa de distribuição de anomalias de Ca.....	31
<b>Figura 8 .</b> Mapa de distribuição de anomalias de Ti .....	33
<b>Figura 9.</b> Mapa de distribuição de anomalias de V .....	32
<b>Figura 10.</b> Mapa de distribuição de anomalias de Sc .....	34
<b>Figura 11.</b> Mapa de distribuição de anomalias de Cr .....	33
<b>Figura 12.</b> Mapa de distribuição de anomalias de Mn.....	35
<b>Figura 13.</b> Mapa de distribuição anomalias de Co .....	34
<b>Figura 14.</b> Mapa de distribuição de anomalias de Ni .....	36
<b>Figura 15.</b> Mapa de distribuição de anomalias de Cu .....	35
<b>Figura 16.</b> Mapa de distribuição de anomalias de Zn.....	37
<b>Figura 17.</b> Mapa de distribuição de anomalias de Sb.....	36
<b>Figura 18 .</b> Mapa de distribuição de anomalias de Au.....	38
<b>Figura 19.</b> Mapa de distribuição de anomalias de Pb.....	37
<b>Figura 20.</b> Mapa de distribuição das anomalias de Fe .....	38
<b>Figura 21.</b> Mostra as áreas favoráveis para o alojamento do factor 1 (Ti-V-Mn-Fe-Zn) definidas por AF e KI para diferentes elementos da área de estudo e sua relação com as metalotectos .....	42
<b>Figura 22.</b> Mostra as áreas favoráveis para o alojamento do factor 2 (K-Au-Pb) definidas por AF e KI para diferentes elementos da área de estudo e sua relação com os metalotectos .....	43
<b>Figura 23.</b> Mostra as áreas favoráveis para o alojamento do factor 3 (Cr-Ni-Cu) definidas por AF e KI para os elementos da area de estudo e sua relação com os metalotectos.....	44
<b>Figura 24.</b> Mostra as áreas favoráveis para o alojamento do factor 4(Ca-Sc-CO) definidas por AF e KI para os diferentes elementos da área de estudo e a sua relação com os metalotectos .....	45

**Figura 25.** Mostra as áreas favoráveis para o alojamento do factor 5 (Sb) definidas por AF e KI para diferentes elementos da área de estudo e sua relação com os metalotectos .....46

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Ilustra os resultados de análise estatística uni variada de teores logaritimizadas de dados geoquímicos de sedimentos de corrente da área de estudo. ....	28
<b>Tabela 2.</b> Ilustra os resultados de cálculos de valores de limiares por meio de gráficos probabilísticos de teores logaritimizadas de dados geoquímicos em sedimentos de corrente da área de estudo.....	29
<b>Tabela 3.</b> Ilustra a matriz de correlação linear de interdependência entre os diferentes elementos(logaritimizadas) da área de estudo.....	39
<b>Tabela 4.</b> Ilustra os resultados de análise de factores principais de dados geoquímicos.....	40
<b>Tabela 5.</b> Ilustra os resultados da aplicação da análise geoestatística para variáveis em estudo.	47



## 1. INTRODUÇÃO

O mapeamento de áreas favoráveis em mineralizações é um processo muito complexo e envolve a interpretação de dados multi-disciplinares para ter uma visão mais clara sobre a distribuição das mineralizações. A integração de dados geológicos, geoquímicos, e Teledeteção tem sido feita um pouco por todo o mundo, como é o caso dos trabalhos desenvolvidos por Mekonnen (2008) no Zimbábwe; Diener, et al. (2011) no Brasil; McKinley, et al., (2014) no norte da Irlanda e por Quadros (2000) no Uruguai.

O tratamento de dados nas geociências aplicadas, especificamente na prospecção geoquímica, permite a determinação de valores correspondentes a teores de fundo (background) e de anomalias geoquímicas facilitando assim a discriminação de áreas contaminadas, áreas favoráveis à pesquisa mineral, estimativa de reservas e entre outras.

A evolução tecnológica dos computadores e equipamentos de laboratório nas últimas décadas proporcionou a aquisição de enorme quantidade de dados quantitativos, tornando a análise estatística uma ferramenta fundamental e indispensável para o tratamento e interpretação de dados multivariados (Andriotti, 2010). O tratamento de dados nas geociências aplicadas, especificamente na prospecção geoquímica, permite a determinação de valores correspondentes a teores de fundo (background) e de anomalias geoquímicas facilitando assim a discriminação de áreas contaminadas, áreas favoráveis à pesquisa mineral, estimativas de reservas entre outras.

A aplicação de técnicas univariadas visa determinar teores de fundo e anomalias o que culminará com a elaboração de mapas a representar estes teores, enquanto as técnicas bivariada e multivariada no agrupamento das variáveis de acordo com as suas afinidades (associações) geoquímicas procuram encontrar zonas favoráveis a ocorrência desses recursos minerais a serem quantificados por meio de técnicas de análise geoestatística - krigagem indicativa e ordinária.

## **1.1. Apresentação do Problema**

Esta área que se insere na folha 1733 da divisão Cartográfica de Moçambique à escala de 1:250 000 é dominada por rochas félsicas mais antiga. De acordo com a cartografia efectuada pelo GTK (2006), pertence ao Complexo de Mudzi. é caracterizado por rochas pertencentes ao grupo Rushinga sendo abundante a existência de diques máficos e félsicos ou plutões do Karoo Tardio no domínio norte e a ausência destas no domínio sul.

A ocorrência das mineralizações características na região de estudo é atractiva, sugerindo a necessidade de pesquisas mais detalhadas. A Direcção Nacional de Geologia (DNG) em cooperação com o Consórcio GTK, realizaram estudos de prospecção geoquímica por meio de sedimentos de corrente. Esses esforços culminaram em uma nova campanha de amostragem de solos. No entanto, não são conhecidos trabalhos em que as técnicas de análise estatística de dados empregados na região visem fazer uma análise factorial e integração com a geologia dos dados supracitados que estão disponíveis na Direcção Nacional de Geologia (DNG), a fim de identificar a relação existente entre mineralizações de Cu, Zn, Ni, Co, Ag e Au e com a geologia da área de estudo. A ausência de informações que podem ser obtidas a partir da análise desses dados dificulta o estabelecimento de critérios para gerar alvos de mineralizações de Cu, Zn, Ni, Co, Ag e Au.

Como forma de contribuir na resolução deste problema aparentemente insignificante, o presente trabalho, por meio das técnicas de análise estatística avançadas e modernas, poderá trazer informações mais fiáveis a cerca da potencialidade dos recursos minerais da área designada 5246AD

## **1.2.Relevância do Estudo**

O estudo proposto é cientificamente relevante, uma vez que poderá contribuir para conhecimento sobre a distribuição espacial das anomalias geoquímicas, permitirá estabelecer a relação existente entre as mineralizações de Cu, Zn, Ni, Co, Ag e Au e a geologia da área de estudo,

O estudo é relevante economicamente pois poderá revelar as potencialidades económicas da área estudada o que resultará na atracção de estudos subsequentes como pesquisas geológicas por parte das companhias nacionais e estrangeiras que estão apostando por Moçambique, para trabalhos de investigação científica e entre outras.

### **1.3. Objectivos**

#### **1.3.1. Geral**

- Aplicar as técnicas de análise estatística multivariada na identificação de áreas potenciais à ocorrência de Ouro e metais associados por meio de amostras pedogeoquímicas na área designada 5246AD mapa geológico 1:5000, da folha 684.

#### **1.3.2. Específicos**

- Determinar os teores de fundo – anomalias geoquímicas dos elementos
- Elaborar mapas de teores de fundo – anomalias geoquímicas dos elementos;
- Identificar, por meio de técnicas de análise estatística bi e multivariada, as relações de concentração inter – elementares a fim de encontrar grupos de elementos para zonas mineralizadas;
- Analisar e interpolar dados geoquímicos pelo método de krigagem;
- Elaborar Mapa de integração de factores com a geologia.

## **1.4. Materiais e Métodos**

### **1.4.1. Materias**

- Dados geoquímicos regionais de sedimento de corrente
- Dados de ocorrências minerais obtidos na carta de jazigos minerais e portal mineiro Moçambicano.
- Softwares (ArcGis na versão 10.8, Microsoft Excel 2013, Minitab 19, Surfer 11.1, SPSS estatista 20).

### **1.4.2.Métodos**

#### **1.4.2.1.Revisão Bibliográfica**

Esta etapa consistiu na consulta bibliográfica de relatórios e cartas geológicas internas nas bibliotecas do Departamento de Geologia da Universidade Eduardo Mondlane (UEM) e da Direcção Nacional de Geologia (DNG) do Ministério dos Recursos Minerais e Energia de Moçambique de artigos científicos prévios realizados na região e um pouco por todo mundo, onde as dissertações, as publicações de jornais de geociências, os mapas geológicos e suas respectivas notícias explicativas foram os mais consultados. O estudo de técnicas de processamento e de integração de dados foi igualmente realizado nesta etapa.

No decurso do trabalho, a busca esteve focalizada em maioritariamente na análise e interpretação de dados por meio de técnicas de análise estatística (uni, bivariada e multivariada) e geoestatística (krigagem indicativa e ordinária) fundamentalmente no contexto da geoquímica de prospecção.

#### **1.4.2.2.Trabalho de Campo**

O Trabalho de campo na Área Designada 5246 AD para colheita de amostras de sedimentos de corrente no Distrito de Changara, Província de Tete e no distrito de Guro, na província de Manica foi realizado entre os dias 07 de Julho à 01 de Agosto de 2018 pelos técnicos do Instituto Nacional de Minas (INAMI)

Durante a actividade foram colhidas as amostras de sedimentos de corrente na área Designada 5246 AD previamente definidas para estudos foram colectadas 135 amostras de sedimentos de corrente, 2 amostras de solos no poço, 28 amostras de rochas numa área de 6 461,01 hectares.

#### **1.4.2.3.Trabalho Laboratorial**

Os trabalhos laboratoriais foram realizados nos laboratórios do INAMI- Magoanine em Maputo. No laboratório foram feitas análises químicas recorrendo aos métodos de fluorescência de raios-x (XRF) – P2O5 (%) e MnO (%); espectrometria de emissão com plasma indutivo (ICP – AES) – Be (ppm), B (ppm), Cr (ppm), Co (ppm), Ni (ppm) e Cu (ppm) e espectrometria de absorção atómica com geração de hidretos (GFAAS) para o Au (ppb) (Pekkala et al, 2007).

#### **1.4.2.4.Dados de sedimento de corrente**

O levantamento geoquímico foi realizado por dois técnicos do Instituto Nacional de Minas (INAMI), quatro técnicos da Direcção Provincial dos Recursos Minerais e Energia de Tete e vinte trabalhadores sazonais entre os dias 07.07.2018 à 01.08.2018 foram colectados 135 amostras de sedimentos de corrente. A distribuição dos pontos de amostragem de sedimentos de corrente pode ser observada no mapa da figura 1.

As amostras foram analisadas no campo (XRF-portatil) e posteriormente enviadas para análises químicas mais aprofundadas (no laboratório) de um total de 15 elementos químicos (K,Ca, Ti,V,Sc,Cr, Ni, Cu, Zn, Sb, Co, Au, Fe,Pb e Mn) onde foram extraídos através da técnica Bulk cyanide Leach (BCL).

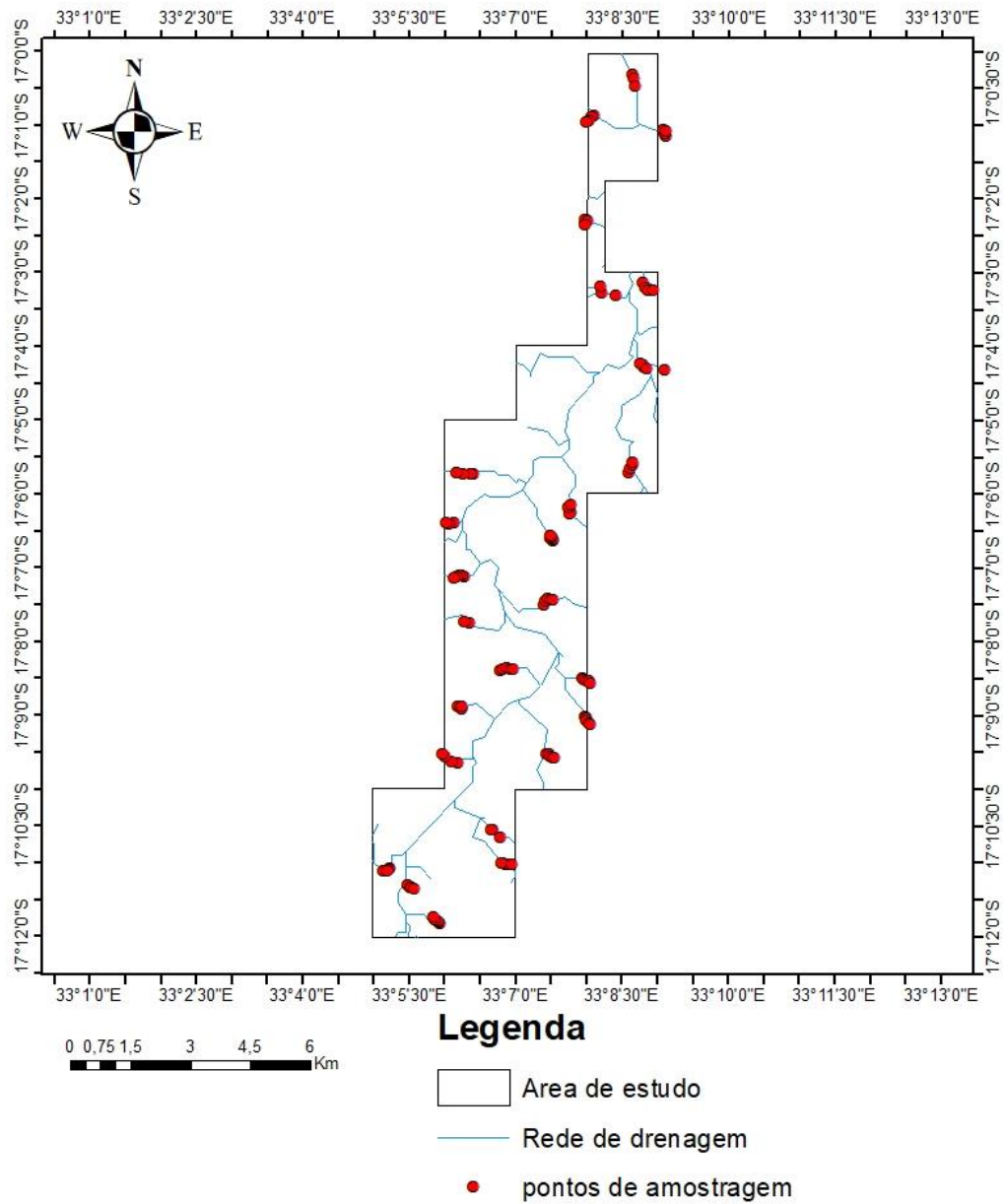


Figura 1. Mapa de amostragem de sedimentos de corrente da área de estudo ilustrando os pontos de amostragem

#### **1.4.2.5. Processamento e Interpretação de dados**

A análise de dados geoquímicos por técnicas estatísticas necessita de procedimentos adequados. O primeiro aspecto que foi considerado foi a análise exploratória dos dados de sedimentos de corrente no que tange ao Limite de Detecção “LD” (concentração mínima do analito que pode ser detectado com cerca de 95% de confiança) Segundo Grunsky (2007), para os elementos que apresentam teores de 0 ppm, aplicar-se-á os resultados do limite de detecção (LD) de cada elemento, sendo que, estes valores devem ser substituídos por LD/2. O outro procedimento é o teor mínimo do elemento dividido por dois. Deste modo houve a necessidade de aplicar este procedimento para os elementos Fe, Co, Ni e Cu.

Os dados foram processados por meio de programas informáticos. Em primeiro lugar, usando o pacote informático Excel, fez-se a transformação logarítmica natural dos dados e análise de correlação linear de Pearson. De seguida, produziu-se histogramas bem como gráficos probabilísticos e de dispersão através dos programas SPSS 19 e Minitab 18. Com o auxílio do programa Statistic (v10), foram calculados os parâmetros estatísticos básicos (média, mediana, desvio padrão, correlações.) - estatística univariada.

Diversos mapas foram produzidos através de sistemas de informação geográfica. Os mapas de localização geográfica, hidrográfica, de geologia local e mapas de teores de fundo anomalias geoquímicas foram elaborados através do programa ArcGIS (v10.6.1.) pelo pacote informático ArcMap. Os mapas de associações geoquímicas definidas pela análise factorial foram elaborados através Surfer (v11), com auxílio do pacote informático ArcMap, fez se a sobreposição dos mapas das associações geoquímicas, de geologia e relevo da área de estudo para pôs produção de um único mapa.

A análise geoestatística - modelamento dos variogramas e estimativa por meio da krigagem ordinária através do programa Surfer.

#### **1.4.2.6. Produção do Relatório final**

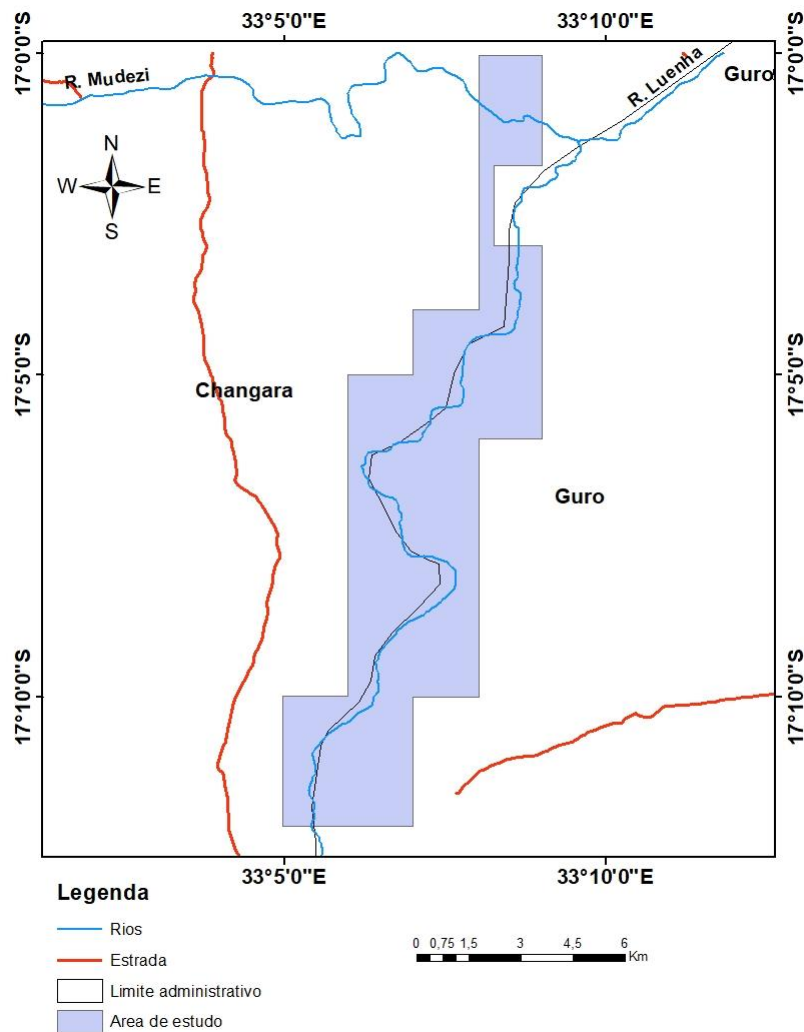
A compilação de toda informação para a produção do relatório final foi realizada através do pacote informático Word do Microsoft office (v2016).



## 2. GENERALIDADES

### 2.1. Localização e Acessibilidade da área de estudo

A área abrangida pelo presente estudo situa-se no Centro de Moçambique, concretamente na província de Tete, no distrito de Changara e o distrito de Guro-Província de Manica, entre as latitudes dos vértices 1e 2 de 17° 00' 03" - 17° 00' 03" Sul e longitudes de 33° 06' 52" - 33° 08' 45" Este e dos vértices 2 e 3 de 17° 12' 55" - 17° 12' 55" Sul e longitudes de 33° 05' 00" - 33° 07' 30" Este respectivamente.



**Figura 2** Mapa de localização geográfica da área de estudo

## **2.2. Clima**

O clima é predominantemente do tipo “Seco de Estepe com Inverno Seco” com duas estações distintas, a estação chuvosa (muito curta) entre Dezembro de um ano à Fevereiro do ano seguinte e a seca (muito longa) entre Março à Novembro e a temperatura média está na ordem dos 26.5°C. As médias anuais máxima e mínima são de 32.5 e 20.5°C, respectivamente. A temperatura elevada agrava consideravelmente as condições de fraca precipitação nestas regiões provocando deficiências de água para o crescimento normal das plantas (MAE, 2005).

## **2.3. Geomorfologia**

Geomorfologicamente o distrito de Changara ocorre parcialmente no vasto Complexo Gnaisse-Granítico do Moçambique Belt onde sobressaem em forma de “Inselbergs” as rochas intrusivas do Pós-Karoo (MAE, 2005).

O distrito de Guro é dominado pelo material do soco do pré-câmbrico de rochas acidas, granito e gnaisse de bacia sedimentar dominado por afloramentos de rochas sedimentares do Karoo, Cretácio ou Terciário e pelas terras altas dissecadas (MAE, 2005).

## **2.4. Relevo**

O relevo de Tete subdivide-se em duas partes bem distintas (MAE, 2005). À norte da província a formação dos planaltos da Marávia-Angónia. Nesta parte localizam os pontos mais altos, os montes Dómué e chiróbue com 2096 e 2021 metros respetivamente. A Sul, a planície do vale do Zambeze, Esta planície apresenta algumas formações montanhosas cujas altitudes têm menor valor com relação à zona norte.

## **2.5. Solos**

Segundo MAE, 2005 a maioria dos solos são do tipo franco-argilo-arenosos distribuídos da seguinte forma:

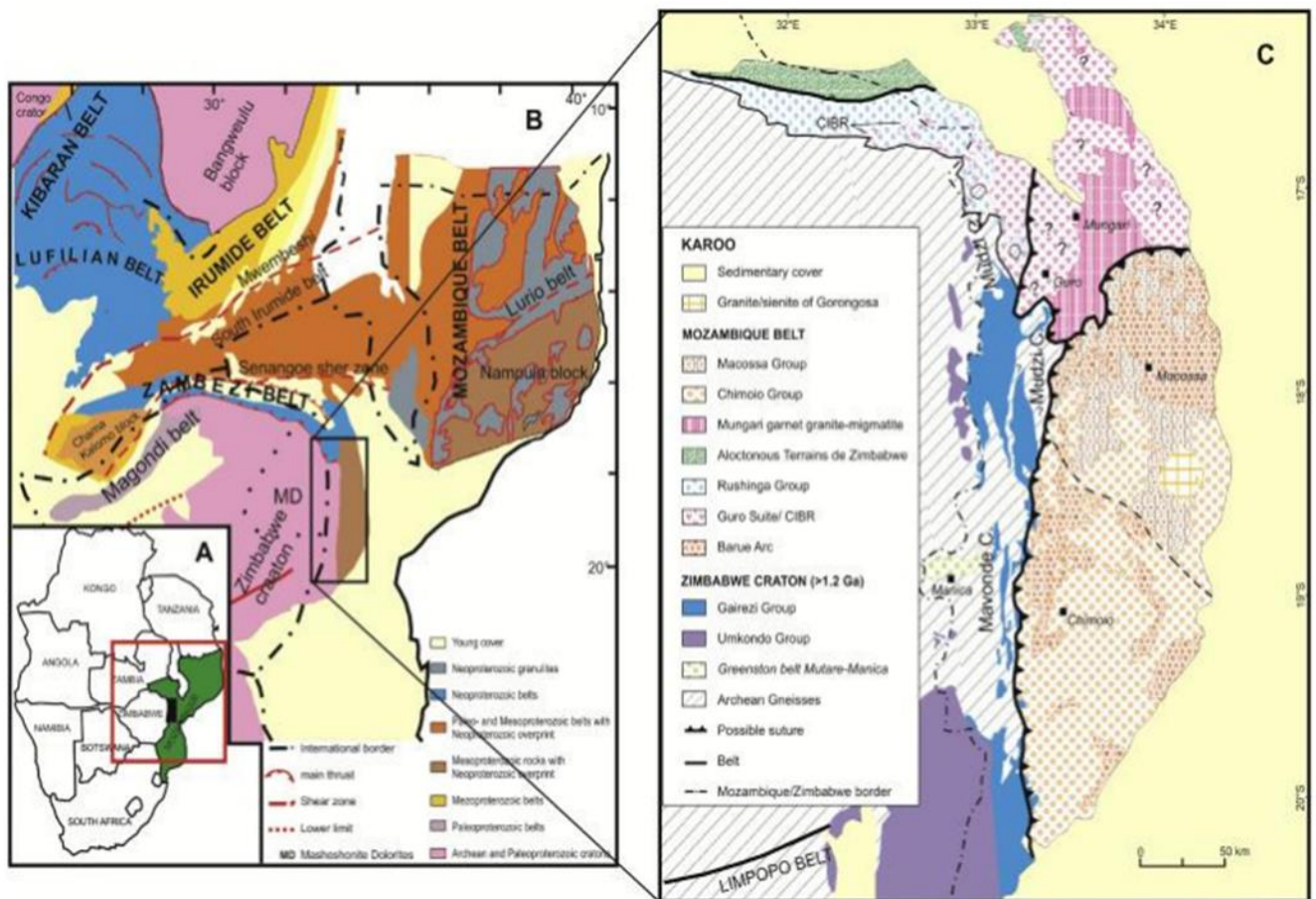
- Zonas planas e os declives caracterizados pela ausência de cascalho e pedras, profundos, avermelhados, de textura (franco) – argilo-arenosa;

- Declives médios e inferiores pouco profundos caracterizados pela presença de cascalho e pedras á superfície, assim como de afloramentos rochosos. Nestas zonas, a cor do subsolo muda em função da drenagem, apresentando as fases melhor drenadas cores avermelhadas, moderadamente drenados de cor amarela e imperfeitamente drenadas de cores acinzentadas;
- Planície aluvionar dos depósitos do rio Luenha, dominados por solos de textura franco-argilo-limosa, de cores acinzentadas escuras.

### 3. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

#### 3.1. Geologia Regional e Tectónica

A área de estudo enquadra-se no Cinturão orogénico de Moçambique (Mozambique Belt, MB). Segundo Kroner & Stern (2005), o Cinturão de Moçambique (fig. 3) formou-se durante a orogenia Pan-africana que teve lugar nos finais do Neoproterozóico, há aproximadamente 500 Ma. E, segundo Chaúque (2012), esta orogenia começou com a quebra do supercontinente Rodínia em vários blocos continentais, durante a primeira metade do Neoproterozóico e as sucessivas colisões e amalgamação de diversos blocos, culminando com a formação do Gondwana e outros cinturões móveis.



**Figura 3.** Mapa esquemático ilustrando as unidades tectónicas proterozoicas da África Sul-Oriental (adaptado de Chaúque, 2012).

A orogenia Pan-africana foi caracterizada por diversas actividades tectónicas, magmáticas e metamórficas de idade Neoproterozóica a Paleozóico inferior, reflectindo a abertura e fechamento de grandes oceanos e acreção e colisão de diferentes blocos crustais (Kroner & Stern, 2005).

### 3.1.1. Complexo de Mudzi

As litologias félsicas do Complexo de Mudzi ocorrem em estruturas dômicas (e.g. Monte Senga Senga) ou em sequências de gnaisses bandados arcaicos, empilhadas por empurrões, com a separação do embasamento/cobertura (thin-skinned) e com intercalações de metagabros arcaicos, que possuem um mergulho suave a sul e ocorrendo sub- e sobrejacentes aos xistos e quartzitos Gairezi.

As unidades mapeáveis seguintes têm sido atribuídas ao Complexo de Mudzi:

a) Ortognaisses Félsicos, que compreendem:

- (1) QuartzoMonzonitos/Quartzo-Monzodioritos (A3Mqm);
- (2) Granitóide Foliado, localmente porfirítico (A3Mgr); e
- (3) Gnaisse TTG, Granitóide Foliado (A3Mgn).

b) Os membros máficos subordinados incluem:

- (1) Gnaisse Granodiorítico, contendo bandas amfibolíticas (A3Mgd);
- (2) Metagabro (A3Mgb); e
- (3) Amfibolito/Granada-Amfibolito (A3Mam).

Finalmente, a menor proporção do Complexo de Mudzi é composta por Gnaisses com protólito sedimentar e inclui:

- (1) Granada-Gnaisse (A3Mgg).

A relação estratigráfica mútua entre estas unidades permanece desconhecida. Portanto, a sucessão destas litologias na legenda do mapa não possui um significado cronoestratigráfico (GTK, 2006)

Segundo GTK, 2006 As análises SHRIMP de zircões zonados dos Ortognaisses do Complexo de Mudzi (A3Mgn), expostos em uma estrutura dômica arcaica, fornecem três idades diferentes:

- Zircões zonados constituem uma sub-série mais antiga com a idade magmática de  $2713 \pm 22$  Ma,
- Estes zircões sofreram um evento metamórfico a  $\sim 2.54$  Ga, indicado pela neoblastese e sobre-crescimentos metamórficos do zircão. Isto pode representar a fase de retrabalhamento e rehidratação

sob condições de fácies anfíbolito para rochas equivalentes em Zimbabwe, referidos por Barton et al. (1991) e Vinyu et al. (2001).

- Uma sobre-impressão metamórfica Pan-Africana a  $520\pm 16$  Ma. As datações de zircões por U-Pb convencional de gnaisses similares, forneceram resultados comparativos. A plotagem concórdia das três fracções de zircões fornece uma idade de interceptação superior de  $2632\pm 3$  Ma. Como acima, a interceptação mais baixa a  $554\pm 33$  Ma reflecte a sobre-impressão Pan-African

### **3.1.1.1. Grupo Rushinga**

As rochas do Grupo Rushinga ocorrem ao longo da fronteira com Zimbabwe no domínio norte separada do domínio sul por uma prostrusão da fronteira internacional (GTK, 2006).

A abundância de diques máficos e félsicos ou plutões do Karoo Tardio no domínio norte e a ausência destas no domínio sul é um facto surpreendente. Baseado na secção estratigráfica-chave no Monte Pitão o Grupo Rushinga tem sido subdividido em Moçambique em **(1) Formação Rio Embuca**, quartzo-feldspática a pelítica e **(2) Formação Monte Pitão** mármore e rochas calco-silicatadas (GTK, 2006).

### **3.1.1.2. Suíte Guro**

A suíte magmática bimodal de idade  $\sim 850$  Ma, compreende granito aplítico e migmatito, alternado com metagabro e migmatito máfico.

## **3.2. Geologia local**

Esta área que se insere na folha 1733 da divisão Cartográfica de Moçambique à escala de 1:250 000 é dominada por rochas félsicas mais antiga. De acordo com a cartografia efectuada pelo GTK (2006), as unidades litológicas aflorantes na área de estudo são as seguintes:

- **Metagabro e gnaiss máfico migmatítico-P<sub>3</sub>ROgb**

Essas rochas ocorrem apenas localmente onde formam grandes afloramentos. Semelhante ao componente félsico, mais de um pulso de intrusão ígnea máfica é reconhecido, sendo os últimos menos foliados com contactos discordantes em comparação com as intrusões anteriores, (Granthan et al, 2011)

- **Mármore com intercalações calco-silicatadas-P1RPml**

De acordo com (GTK, 2006), O mármore Inferior é uma unidade generalizada e bem exposta e ocorre no canto SE da folha do mapa de Chioco (SDS 1632) e no canto SW da folha do mapa de Tete (SDS 1633). Na localidade-tipo Monte Pitão (folha SE Chioco/DS 1632), o Mármore Inferior tem espessura medida superior a 50 m. Espessuras quase semelhantes foram observadas nos horizontes de mármore com tendência NNE que cruzam a estrada principal de Changara a Cuchamano na folha do mapa de Tete (SDS 1633) e logo a sul da folha do mapa de Chioco ao longo do Rio Múdze (SDS 1733). Os Mármores Inferiores são de granulação média a grossa e muito grossa e de composição essencialmente dolomítica. O tamanho e a cor do grão são frequentemente correlacionados com a cama.

- **Membro de xisto biotítico-P1RECH**

Os xistos e gnaisses aluminosos da Formação Rio Embuca geralmente formam horizontes finos, mas contínuos, ao longo dos supracrustais de Rushinga. Em Moçambique, estes xistos estão geralmente associados a quartzitos e meta-arcóseos e são comuns variedades de transição de quartzitos contendo silimanite para gnaisses feldspáticos com nódulos de silimanite, (GTK, 2006).

Quanto a textura e composição, as rochas desta unidade variam de xisto aluminoso com estratificação distinta e foliado até gnaisse maciço, que localmente compreende apenas granada e porfiroblastos de silimanita fibrolítica. Uma variedade comum também é o gnaisse quartzo-feldspático maciço, mas foliado, com muitos nódulos alongados de quartzo-silimanita ± granada de até 10 a 15 cm de diâmetro, (GTK, 2006).

- **Granito gnaisse máfico-P3ROgm**

Na maior parte da área da Suíte Guro, os componentes félsicos e máficos estão intimamente bandados, sendo o componente félsico dominante. A associação é tão íntima que a maior parte da área da suíte no mapa foi designada para esta rocha de dois componentes.

Diferenças visuais no resto da área são vistas onde o achatamento é menos intenso, onde as folhas gabróicas mostram seu tecido ígneo primário em boudins frequentes e onde o conjunto menos ou mais deformado foi intensamente dobrado em cruz em padrões de interferência complexos, (Granthan et al, 2011)

- **Gnaise de composição TTG-A3Mgn**

Ocorrem corpos ou faixas metagabróicos ou anfibolíticos, caso em que a litologia também poderia ser localizada em A3Mgd. A montante do rio Múdze, a partir da aldeia de Múdze Chizimwe, existem excelentes grandes afloramentos lavados pela água e de fácil acessibilidade, apresentando vários componentes félsicos e máficos diferentes, bem como complexas estruturas dobradas arqueanas. Nos cortes da estrada de Cuchamano o gnaise bandado também apresenta vários componentes ígneos. Paralelamente ao bandamento, existem vários cortes estreitos nesses cortes de estradas, provavelmente sendo expressões da atividade tectônica de sobreposição do Proterozóico. (GTK, 2006).



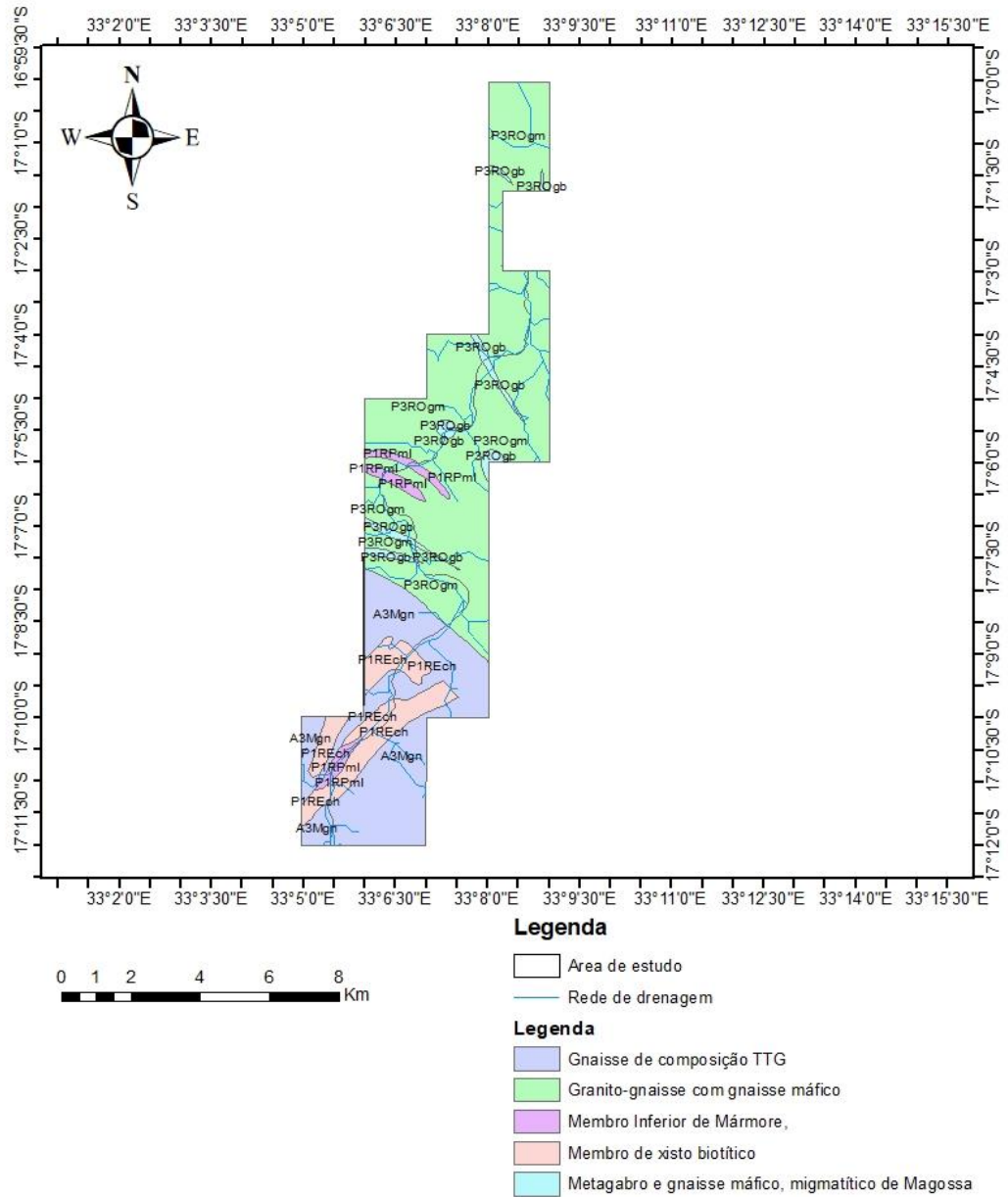


Figura 4. Mapa Geológico mostrando as unidades litológicas da área de estudo

## 4.FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste capítulo são abordados, de forma resumida, aspectos a serem aplicados no presente trabalho. Dentre esses aspectos, destacam-se: a análise exploratória de dados (estatística descritiva), parâmetros geoquímicos, análise bivariada (correlação de Pearson), análise multivariada (análise factorial) e análise geoestatística (semi-variograma e krigagem).

### 4.1. Estatística descritiva

Esta parte da estatística, também chamada estatística univariada, se preocupa com a organização, apresentação e sintetização de dados por meio de gráficos (histogramas, probabilidade, entre outros), tabelas e medidas descritivas como ferramentas. Este processo é executado na etapa inicial da análise a fim de obter informações que indicam possíveis modelos a serem utilizados na interferência estatística (Medri, 2011).

#### 4.1.1. Medidas de Tendência Central

As medidas de tendência central (ou de posição) são indicadores estatísticos cujo objectivo é fornecer um valor no centro de um conjunto de observações de uma determinada variável (Medri, 2011).

##### Média Aritmética

A média aritmética ( $\bar{x}$ , eq. 1) é a soma de  $n$  observações  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  dividido pelo número total de  $n$  das observações da variável em análise (Alperin, 2013).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i^n x_i \quad \text{equação 1}$$

$n$ : número de observações;

$X_i$  : observações da variável em análise.

##### Mediana

A mediana ( $M_d$ ) é o valor central (médio) de um conjunto de observações ordenadas de valor mínimo ao máximo. Esta medida permite separar as observações em duas partes iguais (50%). Quando a

variável apresenta um conjunto  $n$  ímpar (eq. 2) então a mediana corresponde ao valor central entre as observações da variável. E quando a variável apresenta um conjunto  $n$  par (eq. 3) então não temos o termo central único de mediana, mas sim, dois termos centrais (Alperin, 2013).

$$Md = \frac{n+1}{1} \quad \text{equação 2}$$

$$Md = \frac{n}{1} \quad \text{equação 3}$$

## Moda

A moda (valor modal,  $Mo$ ) de conjunto  $n$  de uma dada variável é o valor que ocorre com maior frequência. Quando dois valores ocorrem com a mesma frequência máxima, cada um deles é uma moda, e se diz que a variável é bimodal, mas quando há mais de dois, a variável é multimodal e quando nenhum valor é repetido, a variável não tem moda (Alperin, 2013).

### 4.1.2. Medidas de Dispersão e de Assimetria

A variância ( $S^2$ ) é uma medida de dispersão de uma variável e é expressa como:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 \quad \text{equação 4}$$

onde  $n$  representa o número de observações,  $X_i$  a observação feita no ponto  $i$ , a média aritmética e  $\sum_{i=1}^n X_i = 0$  o somatório de todas observações, da primeira ( $i = 1$ ) à última ( $n$ ).

### Coefficiente de Variação

O coeficiente de variação (CV) para uma variável ou amostra de valores ou observações  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , é a razão entre o desvio padrão pela média aritmética (Alperin, 2013). Esta medida (Eq. 5) permite comparar a dispersão de duas ou mais variáveis (amostras) uma vez que apresenta valores relativos (Licht, 1998)

$$CV = \frac{s}{x} \quad \text{equação 5}$$

Na prática, quando o coeficiente de variação apresenta valores baixos ou iguais a 0,4, estes valores representam uma homogeneidade na amostra e quando são superiores a 0,40, heterogeneidade nos valores da amostra. No geral, a heterogeneidade é considerada acentuada quanto mais próximo a 1,0. Ao analisar os processos geológicos, quanto maior a heterogeneidade, maior é a complexidade do processo a ser estudado (Andriotti, 2010).

### **Amplitude total**

A amplitude total (range,  $A_t$ , eq. 6) é definida, num conjunto de  $n$  observações  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , como a diferença entre o valor máximo e mínimo (Alperin, 2013). Em estudos de exploração geoquímica, esta medida possui interesse informativo, sendo utilizada apenas de forma qualitativa (Licht, 1998).

$$A_t = X_{max} - X_{min} \quad \text{equação 6}$$

### **Desvio padrão**

O desvio padrão ( $S$ , eq. 7) é a raiz quadrada positiva da variância. Esta medida é usada para quantificar a dispersão em relação à média (Licht, 1998).

$$S = \sqrt{S^2} \quad \text{equação 7}$$

#### **4.1.3. Prospecção Geoquímica**

##### **Conceitos Geoquímicos**

Na prática a aplicação dos parâmetros geoquímicos estabelecidos em estudos de prospecção geoquímica tem como finalidade a selecção de valores correspondentes aos teores do fundo e anomalias geoquímicas. De entre estes conceitos, o teor do fundo, anomalia geoquímica e limiar

- **Anomalia Geoquímica**

Define-se anomalia à um desvio da normalidade e, uma anomalia geoquímica à um desvio dos padrões normais para um determinado espaço geoquímico. Estas, podem ser classificadas em anomalias significativas - relacionadas a mineralizações, geralmente positivas, e anomalias não significativas - relacionadas com a variação litológica (Licht, 1998).

- **Teor do fundo**

O teor do fundo (background) é o teor médio de um elemento em materiais geológicos não mineralizados ou contaminado (Hawkes & Webb, 1962; Licht, 1998).

- **Limiar**

O limiar (Threshold) é o limite superior das flutuações normais do background, onde qualquer valor mais elevado é considerado anómalo e o valor mais baixo, o background (Licht, 1998). Este valor corresponde a média mais desvio padrão ( $\bar{x}+S$ ) e 84% ao usar a plotagem da distribuição de frequência acumulada (Lebela-Mouakoumbat, 2014), enquanto que os valores de background correspondem a mediana (Md) e de anomalia - de 1ª ordem a média mais duas vezes desvio padrão ( $\bar{x}+2S$ ) e a de 2ª ordem a média mais três vezes desvio padrão ( $\bar{x}+3S$ ), (Hawkes & Webb, 1962). Os valores anómalos baseados no uso da média e desvio padrão, correspondem a 97.7 e 99.8% da frequência acumulada, respectivamente (Lebela-Mouakoumbat, 2014).

## **4.2. Análise Estatística Bivariada**

Análise Estatística Bivariada é uma técnica exploratória usada para avaliar valores de variáveis combinadas simultaneamente de forma constante (Alperin, 2013).

Em estudos de prospecção geoquímica, as correlações bivariadas consistem na aplicação de parâmetros matemáticos para entender o grau de associação entre pares de variáveis geoquímicas (Andriotti, 2010). Dentre os parâmetros usados na estatística bivariada, para este trabalho, será usada a correlação de Pearson.

Este parâmetro puramente matemático, conhecido como momento-produto de Pearson, permite estimar a intensidade da relação linear entre duas variáveis em uma amostra, onde quanto maior a correlação, menor a distância de ligação entre as variáveis a serem analisadas (Alperin, 2013). Não obstante, é importante que, paralelamente ao cálculo destes parâmetros, sejam produzidos os diagramas de dispersão pois é possível que os dados se ajustem a outros modelos de correlação não linear, além da visualização de valores extremos (Licht, 1998)

### **4.3. Análise Estatística Multivariada**

Em estudos de Prospecção Geoquímica, nem sempre é possível entender um problema estudando apenas os teores de um só elemento numa dada região pois é comum que um conjunto de variáveis dessa região interajam entre si. Assim, para um entendimento conjunto dessas variáveis (teores de vários elementos, associados ou não a outras variáveis) aplicam-se as técnicas de análise estatística multivariada (Andriotti, 2010).

A Análise Factorial (AF) é uma técnica estatística de análise multivariada que consiste na identificação de factores de comportamento comum entre variáveis em termos de sua correlação ou co-variância entre as amostras para posterior redução do número de variáveis iniciais a uma dimensão mais administrável possibilitando a compreensão da estrutura da base de dados, definição e medição das dimensões subjacentes que descrevem o comportamento multivariado do dado mantendo o máximo possível da informação original (Vicini, 2005).

A aplicação da análise factorial requer que as variáveis  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  sejam correlacionadas, caso contrário, tal aplicação considera-se inadequada no estudo das variáveis em análise, aconselhado o uso de uma nova técnica de análise estatística multivariada. E para testar a aplicabilidade desta técnica é realizado o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Os valores deste teste variam de  $[0; 1]$ , onde, a análise é considerada excelente:  $]0.9; 1.0]$ , boa:  $]0.8; 0.9]$ , média:  $]0.7; 0.8]$ , aceitável:  $]0.6; 0.7]$ , fraca:  $]0.5; 0.6]$  e inaceitável quando é menor ou igual a 0.5 (Carvalho, 2013).

### **4.4. Análise Geoestatística**

Em estudos geológicos, a geoestatística é considerada como sendo uma técnica da estatística que consiste na aplicação de um conjunto de ferramentas que, baseadas na continuidade espacial dos

fenómenos naturais (variáveis regionalizadas), permitem a construção de modelos numéricos, a serem usados na estimação de depósitos minerais (Yamamoto, 1991). Dentre as técnicas de análise do comportamento das variáveis regionalizadas definidas em geoestatística, para esta tese, será usada a técnica de estimação baseada em médias móveis, a krigagem.

#### 4.4.1. Semi-variograma

O semi-variograma é uma ferramenta que permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenómeno regionalizado. A natureza estrutural de um conjunto de dados (assumido pela variável regionalizada) é definida a partir da comparação de valores tomados simultaneamente em dois pontos, segundo uma determinada direcção. Assim, a função semi-variograma (Eq. 8) é definida como sendo a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados por uma distância –  $h$  (Yamamoto, 1991)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (T_x - T_{x+h})^2 \quad \text{equação 8}$$

Onde:

**n**: pares de amostras separadas por  $h$ ;

**$T_x$**  : valor da variável regionalizada no ponto  $x$ ;

**$T_{x+h}$** : valor da variável regionalizada no ponto  $x+h$ .

#### • Parâmetros e modelos de Semi-variograma

Os principais parâmetros característicos de um semi-variograma são: a amplitude (alcance, range,  $a$ ) que é a distância a partir da qual as amostras passam a ser independentes, permitindo separar o campo estruturado por amostras correlacionadas do campo aleatório com amostras independentes. O patamar ( $C$ ) – valor no qual o variograma estabiliza-se no campo aleatório (para casos estacionários) e é numericamente igual a variável regionalizada. O efeito pepita (ou variância aleatória,  $C_0$ ) – valor da função variograma na origem ( $h = 0$ ). E a contribuição ( $C_1$ ) que é a diferença entre o patamar e o efeito pepita (Yamamoto, 1991).

E os principais modelos do semi-variograma são: esférico, exponencial, gaussiano e linear

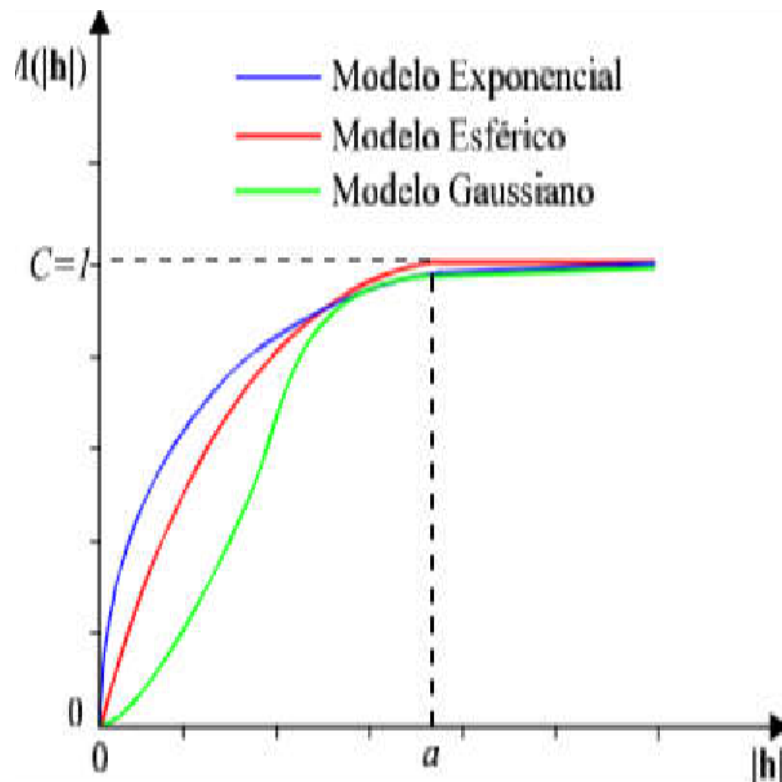


Figura 5. Representação gráfica de semi-variograma experimental e os modelos teóricos

#### 4.4.2. Krigagem

A krigagem é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semi-variograma, ou seja, é um método de estimativa por médias móveis.

O termo krigagem é derivado do nome de Daniel G. Krige, que foi o pioneiro na introdução do uso de médias móveis para evitar a sobrestimação sistemática de recursos geológicos. A base conceptual da krigagem está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, formalizada por Matheron (1971) a partir de estudos práticos desenvolvidos por Krige no cálculo de recursos nas minas de ouro do Rand na África do Sul (Landim, 2006).



O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e além da determinação do erro associado ao valor estimado, também fornece estimadores exactos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

A estimativa por meio da krigagem é realizada após a definição dos modelos do semi-variograma que permite calcular os ponderadores para uma dada configuração (bloco por disposição das amostras no espaço) com a mínima variância de estimação (Yamamoto, 1991).

#### **4.4.2.1. Tipos de Krigagem**

A krigagem engloba vários métodos de estimação, a saber: krigagem simples, krigagem ordinária, krigagem indicativa, krigagem universal, Co-krigagem, krigagem disjuntiva, etc. Dentre estes métodos, esta tese limita-se somente na aplicação da krigagem ordinária e indicativa.

- **Krigagem Ordinária**

A krigagem ordinária é um estimador que permite estimar um valor em posição espacial não observada, segundo uma combinação linear dos valores de um sub-conjunto amostral local ao assumir a hipótese de estacionaridade local, ou seja, permite a inferência do atributo  $z$ , numa posição  $xy$ , sem a necessidade de se conhecer a média estacionária  $z$  (Landim, 2006).

- **Krigagem indicativa**

Esta técnica geoestatística, consiste basicamente na aplicação da krigagem ordinária para a variável transformada, não para estimar um determinado valor e/ou teor, mas sim definir áreas com maior ou menor probabilidade que um determinado evento (teor) ocorra. O conceito inicial foi apresentado por Journel (1983) como uma proposta para construir uma função de distribuição de probabilidades acumuladas (cumulative distribution function, cdf) para a estimativa de distribuições espaciais. Este, consiste na transformação indicativa baseada na função  $f(z) = 0$  ou  $1$ , com o objectivo de separar os valores que se situam abaixo ou acima de um determinado nível de corte, ou seja, numa determinada área, os pontos de amostragem com teores acima do valor de limiar são atribuídos o valor  $0$  e os teores

abaixo, o valor 1 (Landim & Sturaro, 2002). Após esta transformação, é possível, de forma elementar ou multi-elementar, representar ou indicar as suas áreas de prováveis ocorrências.

## **5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Este Capítulo consiste na aplicação de técnicas da análise estatística abordadas anteriormente. A aplicabilidade dessas técnicas objectivam-se a identificar e caracterizar as zonas de ocorrência dos elementos seleccionados em sedimentos de corrente da área designada 5246AD, buscando encontrar as mineralizações predominantes e as áreas de maior probabilidade de sua ocorrência. Dentre as concentrações identificadas no processo de amostragem – análise química para esta região, serão abordados para o presente projecto científico, quinze elementos químicos –  $Sb_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $CoO$ ,  $NiO$ ,  $CuO$ ,  $TiO_2$ ,  $V_2O_5$ ,  $Sc_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $PbO$ ,  $ZnO$  e  $Au$  referentes a cento e treze (111) amostras de sedimento de corrente.

### **5.1. Estatística descritiva**

Antes de se proceder com o processo de estimação de anomalias geoquímicas e definição das associações geoquímicas dos elementos em análise convém calcular alguns parâmetros estatísticos que permitem caracterizar o tipo de distribuição que os dados geoquímicos apresentam, neste caso a Análise exploratória de dados.

#### **5.1.1. Análise exploratória de dados**

Como descrito no Capítulo anterior, a análise exploratória de dados consiste no tratamento das variáveis elementares para identificar parâmetros estatísticos a serem apresentados por meio de tabelas, histogramas e etc. A aplicação desses parâmetros em geoquímica de prospecção tem como objectivo a definição de teores de fundo, anomalias e valores extremos (outliers).

a tabela 1 sintetiza os resultados da estatística descritiva dos elementos log-transformados constituintes das amostras

**Tabela 1.** Resultados de análise exploratória de dados geoquímicos logaritimizadas.

variável	N	Min	Máx	Rang	$\bar{x}$	M <sub>d</sub>	C.V	Q <sub>1</sub>	Q <sub>3</sub>	S	var
				e							
<b>lnK<sub>2</sub>O</b>	111	-1.1	1.5	2.7	0.7	0.8	80.2	0.5	1.1	0.5	0.3
<b>lnCaO</b>	111	-2.0	2.1	4.1	0.2	0.3	262.0	-0.1	0.7	0.6	0.4
<b>lnTiO<sub>2</sub></b>	111	-3.0	0.9	3.9	-0.9	-0.9	-84.5	-1.4	-0.4	0.8	0.6
<b>lnV<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	86	-5.5	-1.7	3.8	-3.7	-3.6	-22.6	-4.2	-3.1	0.8	0.7
<b>lnSc<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	85	4.6	6.9	2.3	5.9	5.9	8.5	5.5	6.3	0.5	0.2
<b>lnCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	77	3.0	5.8	2.8	4.4	4.3	15.9	3.8	4.9	0.7	0.5
<b>lnMnO</b>	107	4.9	7.5	2.6	6.3	6.3	9.3	5.9	6.7	0.6	0.3
<b>lnFeO</b>	111	8.1	11.7	3.5	10.2	10.3	6.8	9.7	10.7	0.7	0.4
<b>lnCoO</b>	26	3.7	4.6	0.9	4.1	3.9	6.6	3.9	4.3	0.3	0.1
<b>lnNiO</b>	65	2.9	4.6	1.6	3.5	3.4	11.9	3.2	3.8	0.4	0.2
<b>lnCuO</b>	32	2.6	4.5	1.8	3.3	3.1	17.5	2.8	3.8	0.6	0.3
<b>lnZnO</b>	110	1.8	4.7	2.8	3.5	3.5	17.3	3.1	3.9	0.6	0.4
<b>lnSb<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	31	3.2	4.2	1.0	3.7	3.8	6.8	3.5	3.9	0.3	0.1
<b>lnAu</b>	70	4.3	5.7	1.4	5.1	5.0	6.6	4.8	5.3	0.3	0.1
<b>lnPbO</b>	110	1.5	3.5	2.1	2.6	2.7	19.4	2.3	3.0	0.5	0.3

Na análise da tabela 1, verifica-se que os valores da média e mediana apresentam valores quase similares. O coeficiente de variação excepto dos elementos Ti, Ca e V é maior que 1 facto que comprova alta heterogeneidade entre as amostras. Na análise do coeficiente de variação é possível concluir que a maioria dos elementos apresenta uma distribuição assimétrica.

Estes parâmetros estatísticos não permitem obter muita informação sobre as variáveis em estudo, nem definir anomalias geoquímicas. Portanto, neste estudo a estatística descritiva permitiu de uma forma geral prever o tipo de distribuição que os elementos apresentam. Através da construção de histogramas, gráficos de probabilidade (em anexo 2).

### 5.1.2. Seleção de teores do fundo – anomalias Geoquímicas

. Avaliação dos resultados obtidos com aplicação dos métodos de estimação de limiares em trabalhos de prospecção geoquímica, a determinação dos fundos geoquímicos e os seus respectivos limiares é de extrema importância para a seleção de regiões anómalas, sendo assim, a escolha do método para a determinação desses parâmetros também constitui uma decisão muito relevante. Essa decisão pode ser tomada através da análise do tipo de distribuição das variáveis mediante a construção de histogramas e gráficos probabilísticos, objectivando verificar a presença ou não de mistura de populações num conjunto de dados de cada variável. Por esse motivo, a atenção foi voltada para o uso de diagramas de caixa, histogramas e gráficos de probabilidade realizando uma análise comparativa das possibilidades de cada um desses procedimentos e a conveniência de assumir os resultados derivados da aplicação de qualquer um dos métodos para estimar o limiar geoquímico que melhor corresponde com a distribuição estatística dos dados. As técnicas de análise estatística uni-variadas baseadas nos critérios definidos por Hawkes & Webb (1962), combinados com os gráficos probabilísticos foram utilizadas para o processamento de dados geoquímicos de sedimento de corrente da área de estudo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resultados de cálculos de valores de limiares por meio de gráficos probabilísticos de teores logaritimizdos de dados geoquímicos em sedimentos de corrente da área de estudo.

variável	Gráfico probabilístico			
	Background(50%)	Thershold(84%)	Thershold(97.7%)	Thershold 99.8%
<b>lnK<sub>2</sub>O</b>	0.687	1.234	1.785	2.271
<b>lnCaO</b>	0.237	0.856	1.479	2.028
<b>lnTiO<sub>2</sub></b>	-0.907	-0.144	0.623	1.299

<b>lnV<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	-3.661	-2.240	-2.013	-1.284
<b>lnSc<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5.901	6.397	6.896	7.336
<b>lnCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4.370	5.063	5.762	6.377
<b>lnMnO</b>	6.269	6.850	7.435	7.951
<b>lnCoO</b>	4.068	4.337	4.607	4.845
<b>lnNiO</b>	3.530	3.949	4.371	4.744
<b>lnCuO</b>	3.278	3.848	4.421	4.926
<b>lnZnO</b>	3.498	4.101	4.708	5.244
<b>lnSb<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3.737	3.989	4.243	4.467
<b>lnAu</b>	5.051	5.380	5.711	6.003
<b>lnPbO</b>	2.622	3.128	3.737	4.086
<b>lnFeO</b>	10.220	10.911	11.606	12.219

As anomalias geoquímicas serão definidas com base nos limiares obtidos pelo método de gráfico de probabilidade, pois a aplicação deste método permite obter diferentes níveis de anomalias geoquímicas, nomeadamente as anomalias de primeira ordem (a 97,7% de frequência acumulada) e de segunda ordem (a 99,8% de frequência acumulada). Após a determinação de valores de backgrounds e thresholds usando o método de gráficos probabilísticos, procedeu-se a representação espacial das regiões com presença de anomalias para teores logaritimizadas com base nos thresholds definidos na área de estudo. Portanto, a elaboração de mapas geoquímicos foi efectuada com o software ArcMap versão 10.5 através da representação de símbolos graduados que representam diferentes concentrações dos elementos. A razão de escolha deste método para a representação de anomalias geoquímicas é que, os sedimentos de corrente caracterizam informações das sub-bacias de captura e não informações pontuais e as áreas seleccionadas devem corresponder às bacias de captura dos sedimentos. E os mapas produzidos por esse método, permitem visualizar a distribuição dos elementos em bacias de captação dos sedimentos (Figuras 6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19 e 20).

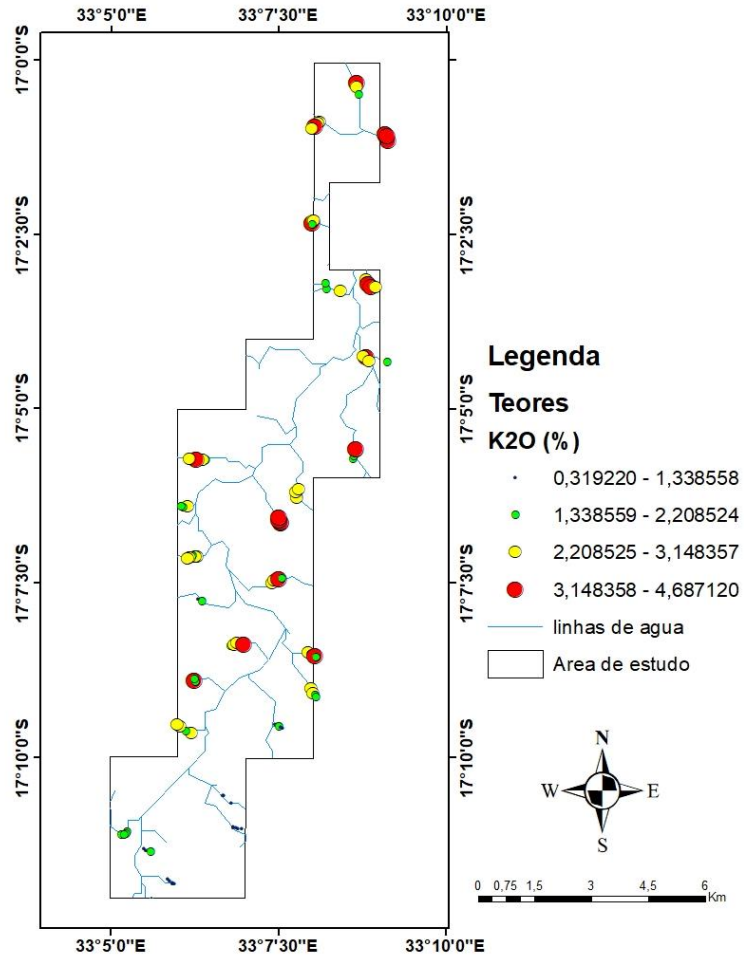


Figura 6. Mapa de distribuição de anomalias de K<sub>2</sub>O

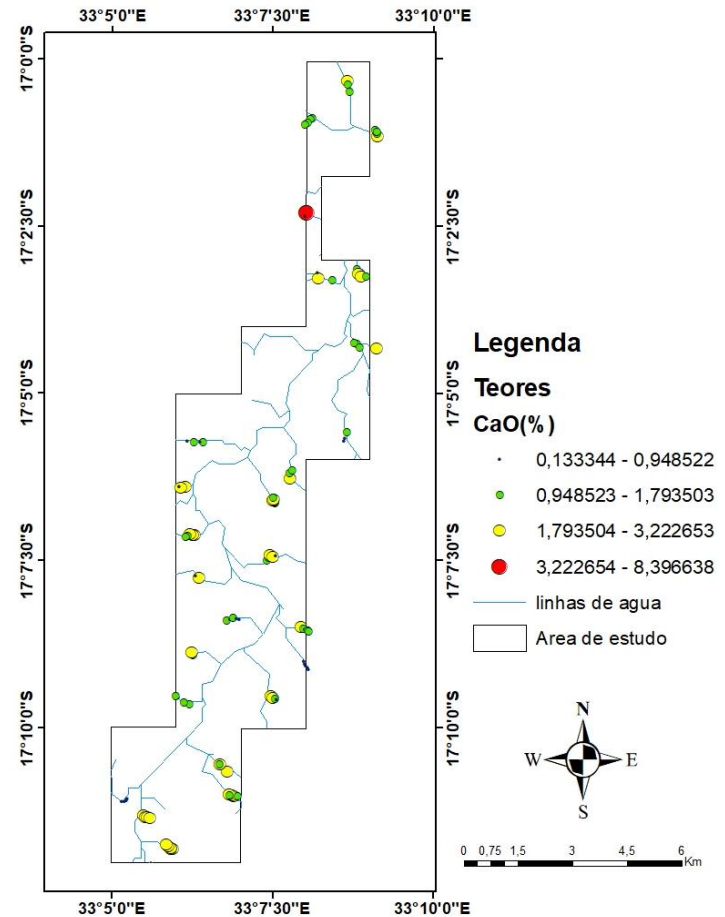


Figura 7. Mapa de distribuição de anomalias de CaO

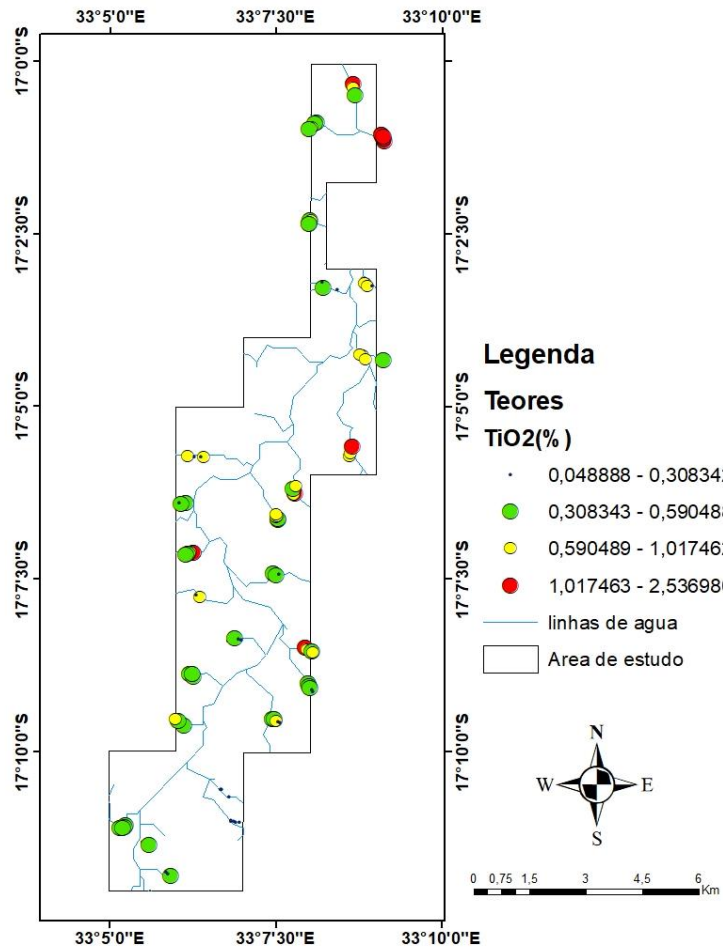


Figura 8 .Mapa de distribuição de anomalias de TiO<sub>2</sub>

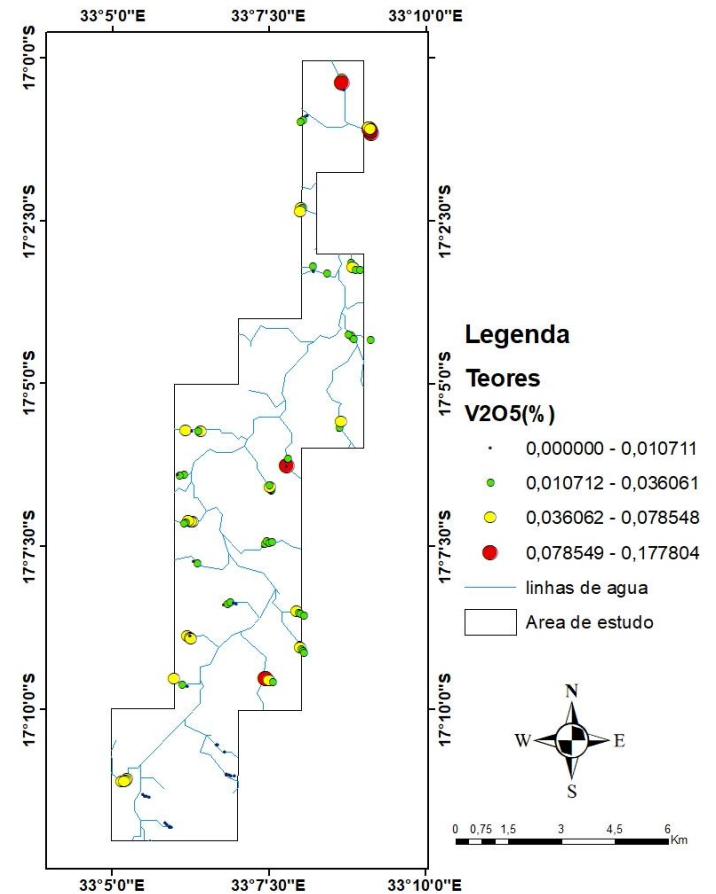


Figura 9. Mapa de distribuição de anomalias de V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



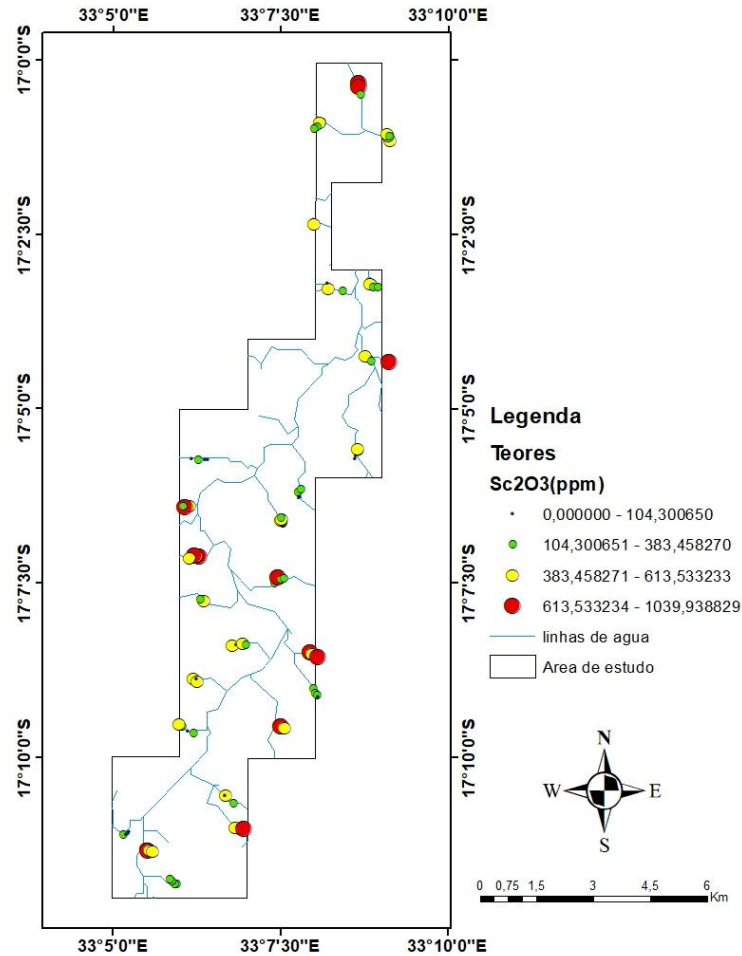


Figura 10. Mapa de distribuição de anomalias de Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

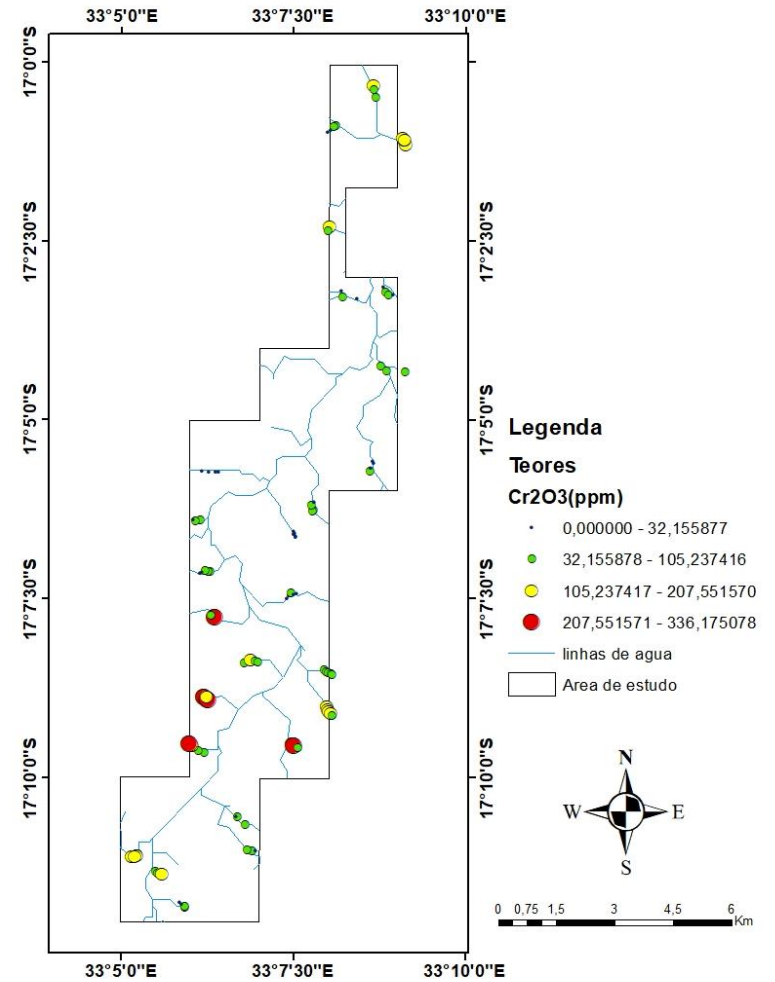


Figura 11. Mapa de distribuição de anomalias de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

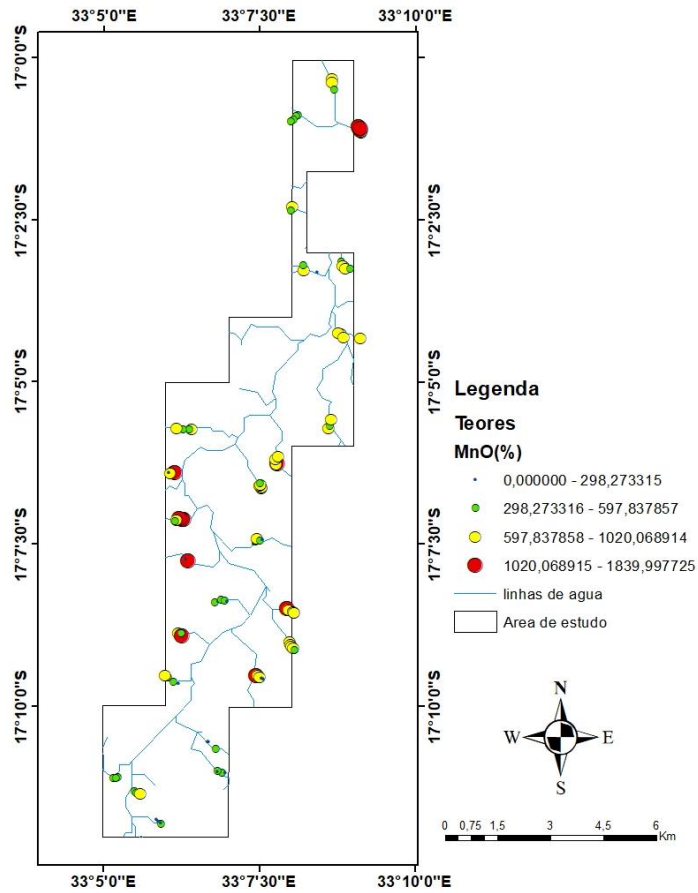


Figura 12. Mapa de distribuição de anomalias de MnO

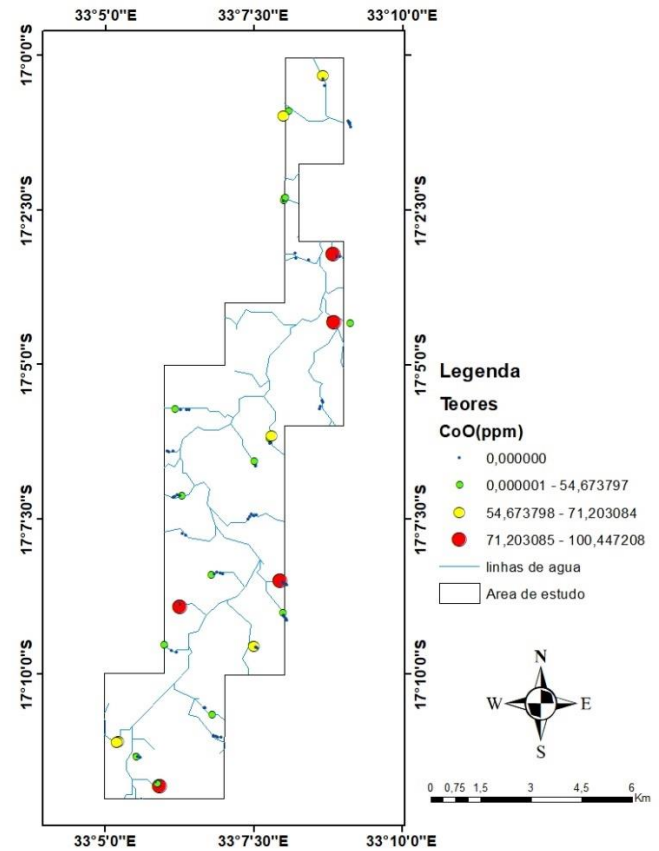


Figura 13. Mapa de distribuição anomalias de CoO

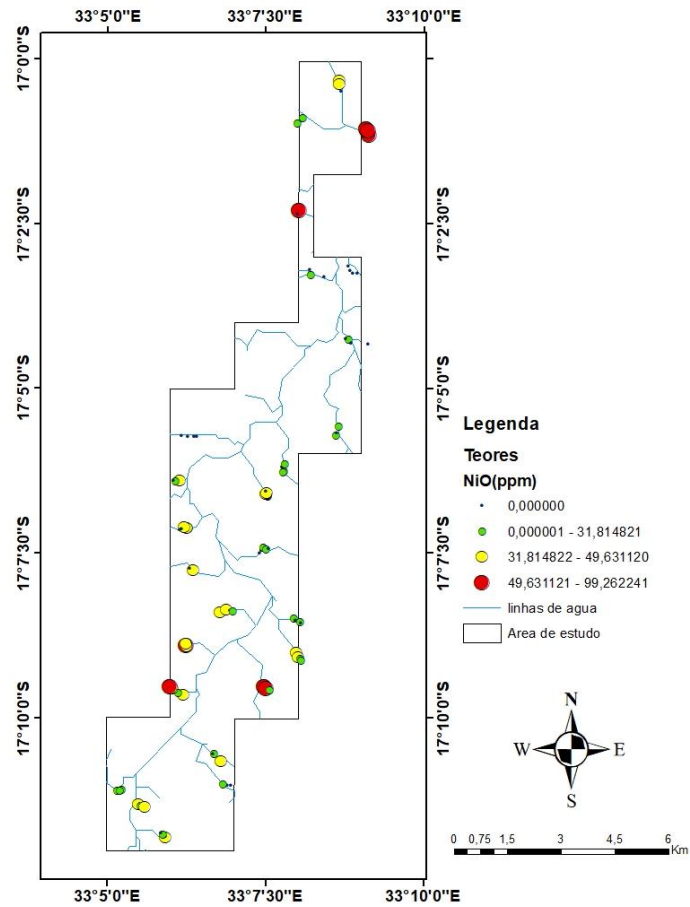


Figura 14. Mapa de distribuição de anomalias de NiO

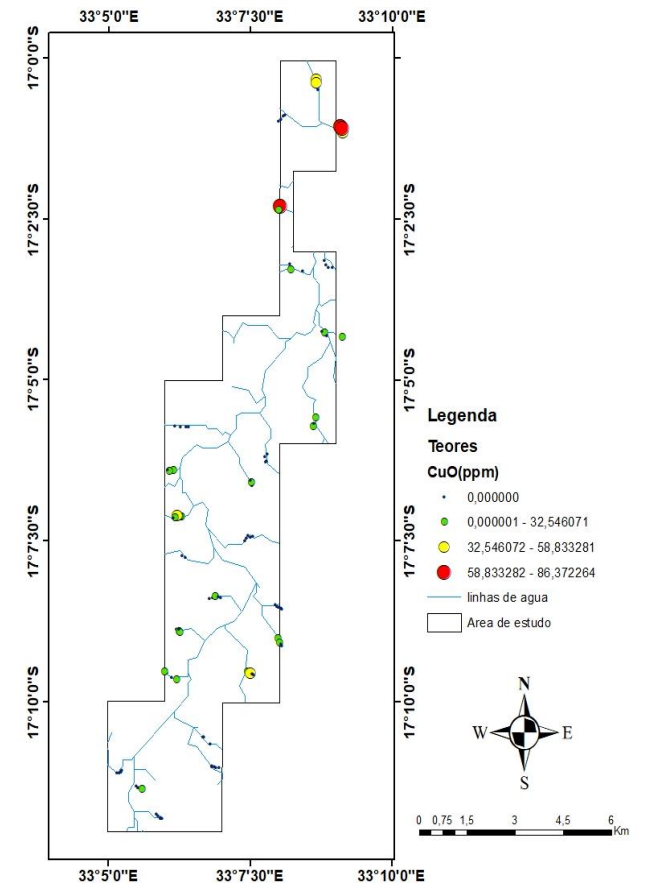


Figura 14. Mapa de distribuição de anomalias de CuO

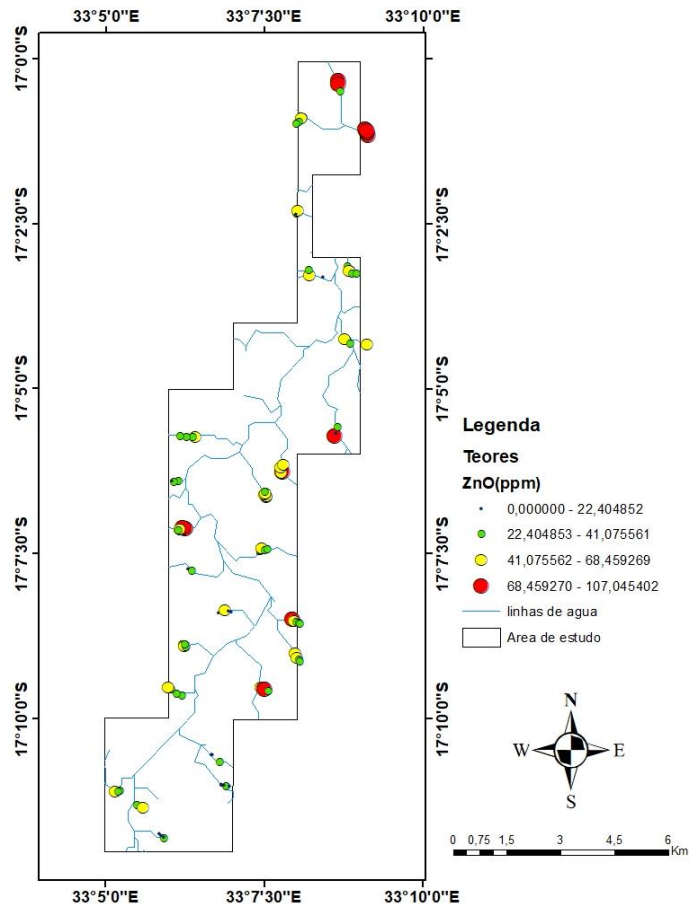


Figura 15. Mapa de distribuição de anomalias de ZnO

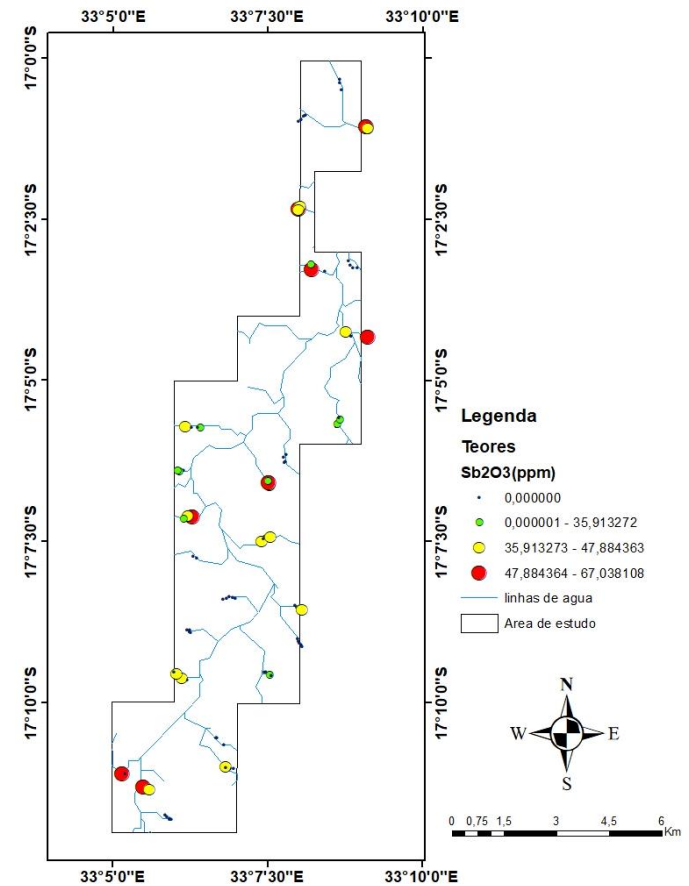


Figura 16. Mapa de distribuição de anomalias de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

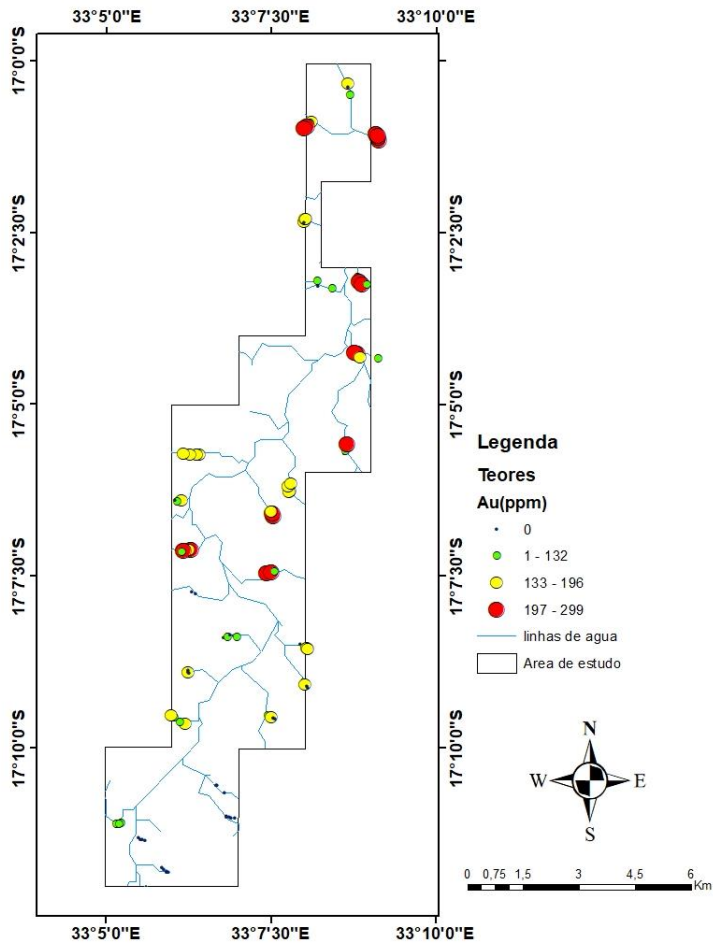


Figura 17 . Mapa de distribuição de anomalias de Au

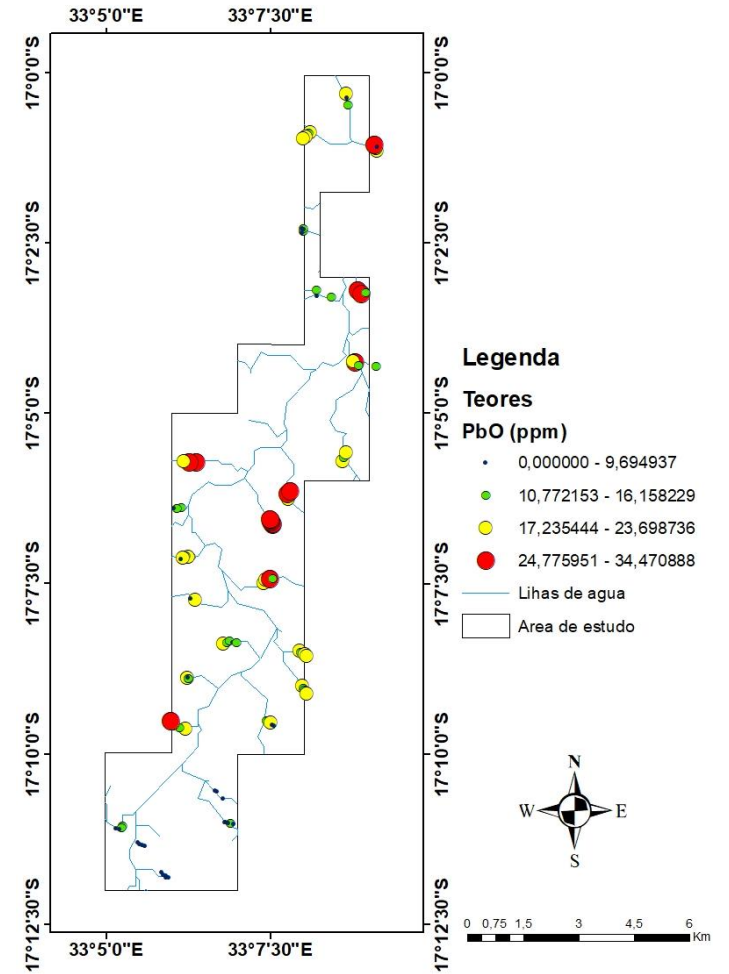


Figura 18. Mapa de distribuição de anomalias de PbO

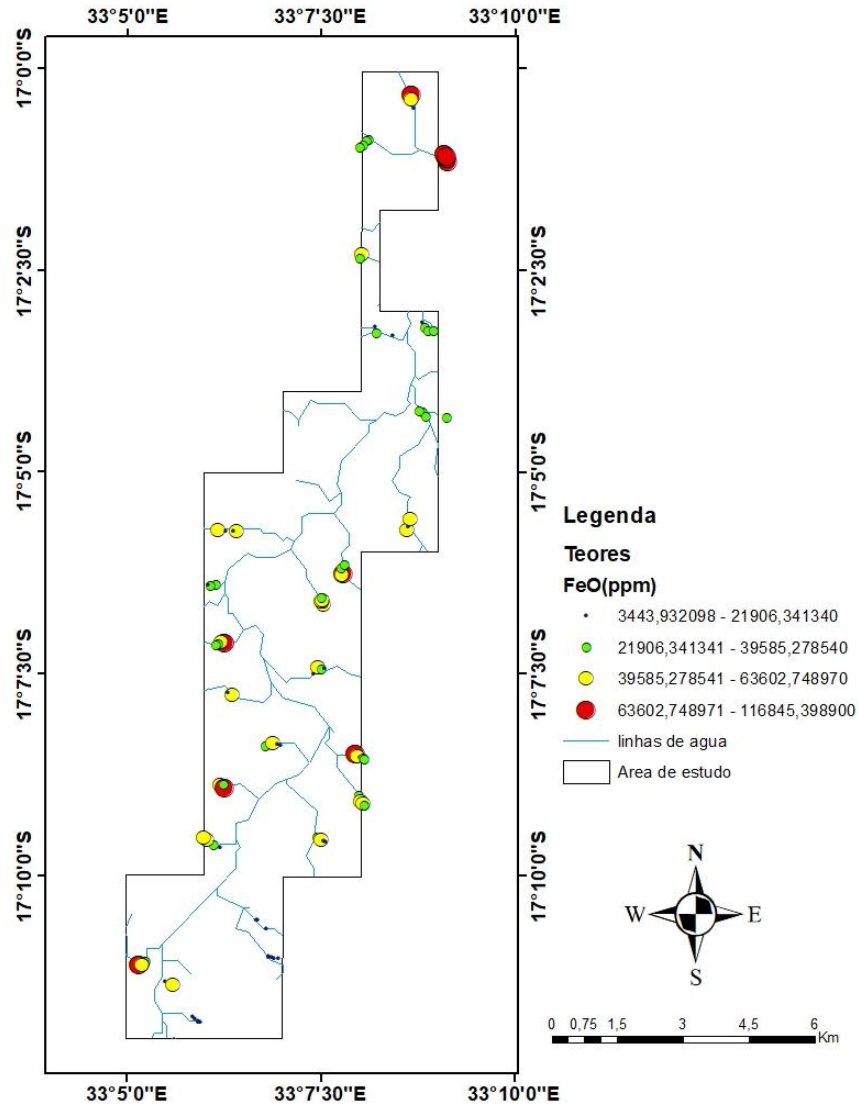
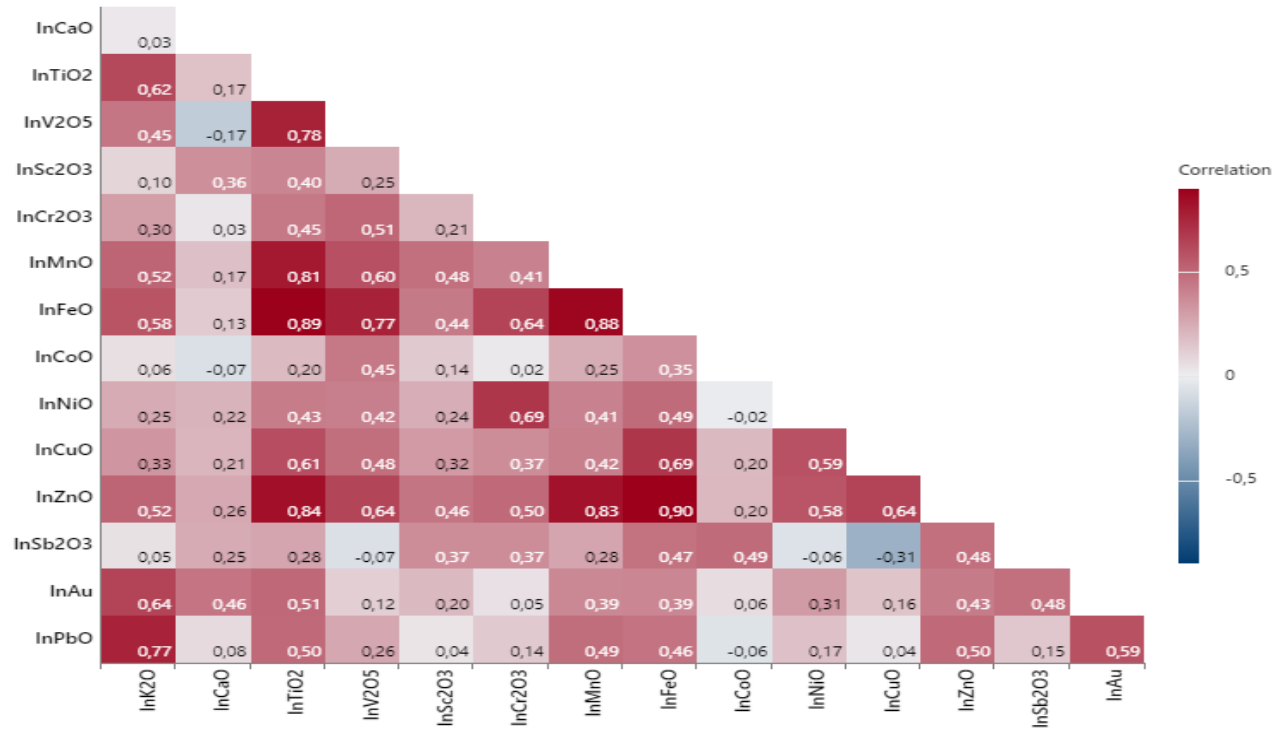


Figura 19. Mapa de distribuição das anomalias de FeO

### 5.1.3. Análise Estatística Bivariada

A aplicação prática desta técnica de análise em geoquímica de prospecção permite a distinção de pares de associações que apresentam uma correlação entre elas, ou seja, mede o grau de associação entre teores dos elementos químicos pela representação de pontos num sistema de coordenadas e suas respectivas posições em relação a uma linha recta. Para a avaliação de correlações no estudo desta tese, foi aplicada a correlação linear de Pearson – tab. 3.

**Tabela 3.** Ilustra a matriz de correlação linear de interdependência entre os diferentes elementos(logaritimizados) da área de estudo.



**Legenda**

- Correlação positiva e forte;
- Correlação negativa e forte
- Correlação positiva e média
- Correlação negativa média
- Correlação positiva e fraca
- Correlação negativa média

A análise estatística bivariada permitiu a seguinte caracterização geoquímica

- Alguns elementos que apresentam uma correlação positiva e forte Fe-Ni, Fe-Mo, Zn-Fe;
- Alguns elementos que apresentam uma correlação positiva e média V-Ti, V-Fe, Pb-K;
- Alguns elementos que apresentam uma correlação positiva e fraca Ti-Ca, Sc-Ca, Zn-Ca;
- Alguns elementos que apresentam uma correlação negativa e forte V-Ca, Sb-Cu;
- Alguns elementos que apresentam uma correlação negativa e fraca Ni-ca, Co-Cu;

#### 5.1.4. Análise Estatística Multivariada

A aplicação da análise factorial (AF) neste estudo baseou-se no uso do método de análise de componentes principais auxiliado pela rotação – varimax a fim de maximizar as cargas factoriais em cada factor e reduzir o número de factores a explicar pela variância dos dados.

Segundo Carvalho, 2013 a comunalidade refere-se á proporção da variância de uma variável que é explicada pelos factores comuns. A comunalidade varia de 0 a 1, onde valores mais próximos de 1 indicam que a variância da variável é bem explicada pelos factores comuns.

Neste processo, foram seleccionadas 15 variáveis geoquímicas (K,Ca, Ti,V,Sc,Cr, Ni, Cu, Zn, Co, Au, Fe,Pb e Mn) logaritimizadas (ln), que permitiram a extracção de cinco (5) factores explicados por 78.5% do total da variância dos dados em análise (Tabela 4) e Screen plot (anexo 8)

**Tabela 4.** Ilustra os resultados de análise de factores principais de dados geoquímicos.

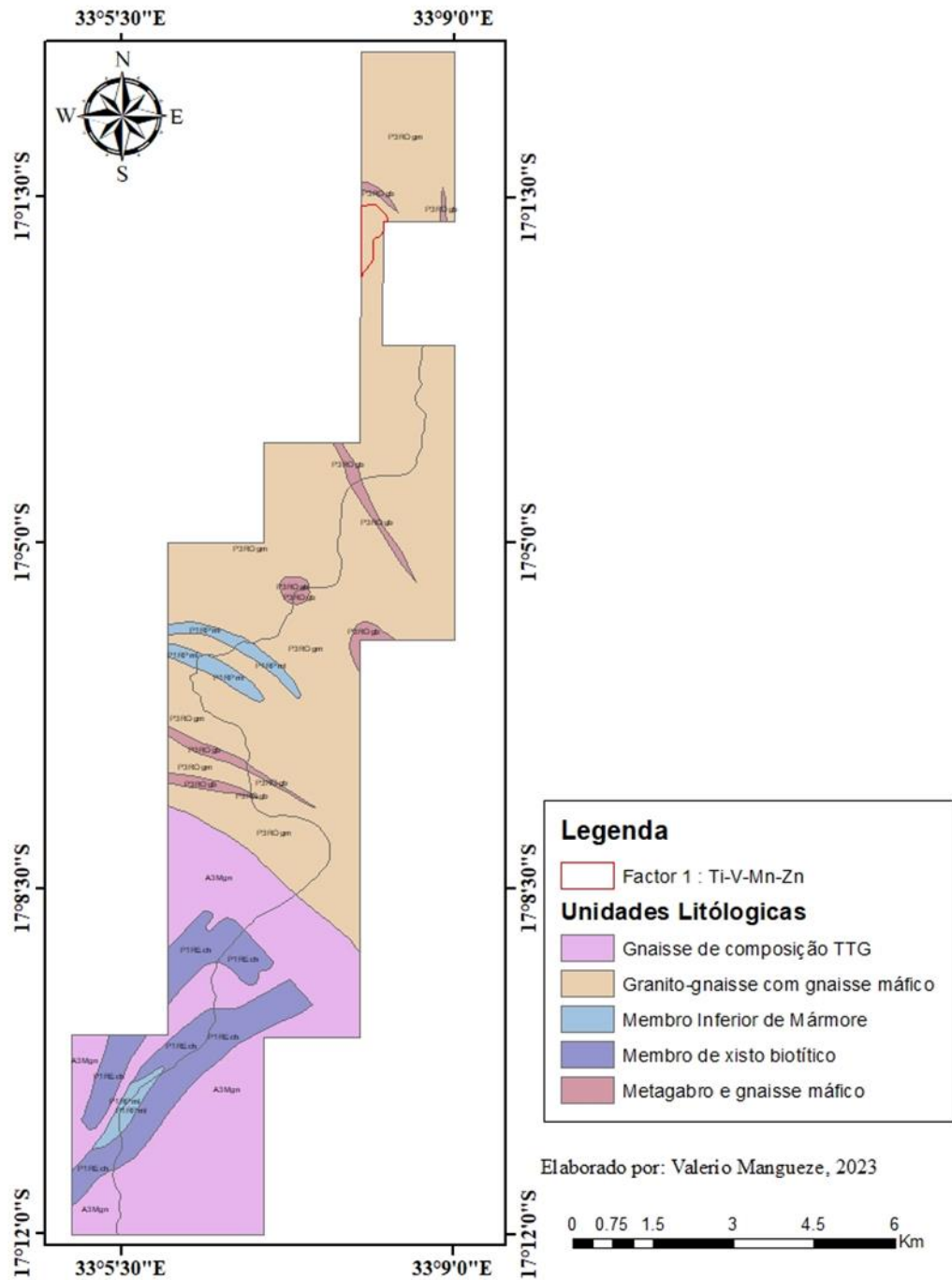
Variável	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Comunalidade
K2O	0,203	0,906	-0,113	0,055	-0,019	0,877
CaO	-0,130	0,042	-0,333	-0,667	-0,290	0,659
TiO2	0,825	0,307	-0,171	-0,134	-0,058	0,827
V2O5	0,882	0,034	-0,107	0,145	0,002	0,812
Sc2O3	0,184	-0,064	-0,065	-0,666	-0,167	0,513
Cr2O3	0,192	-0,157	-0,831	-0,065	0,209	0,800
MnO	0,748	0,300	-0,294	-0,228	-0,034	0,790
FeO	0,829	0,226	-0,390	-0,142	0,009	0,911
CoO	0,126	0,006	-0,010	-0,700	0,454	0,712
NiO	0,318	0,112	-0,862	-0,127	0,039	0,875
CuO	0,352	0,156	-0,700	-0,159	-0,293	0,749
ZnO	0,658	0,325	-0,480	-0,245	-0,062	0,833
Sb2O3	0,074	0,000	0,055	-0,130	-0,841	0,733
Au	0,262	0,861	0,023	0,034	-0,154	0,835



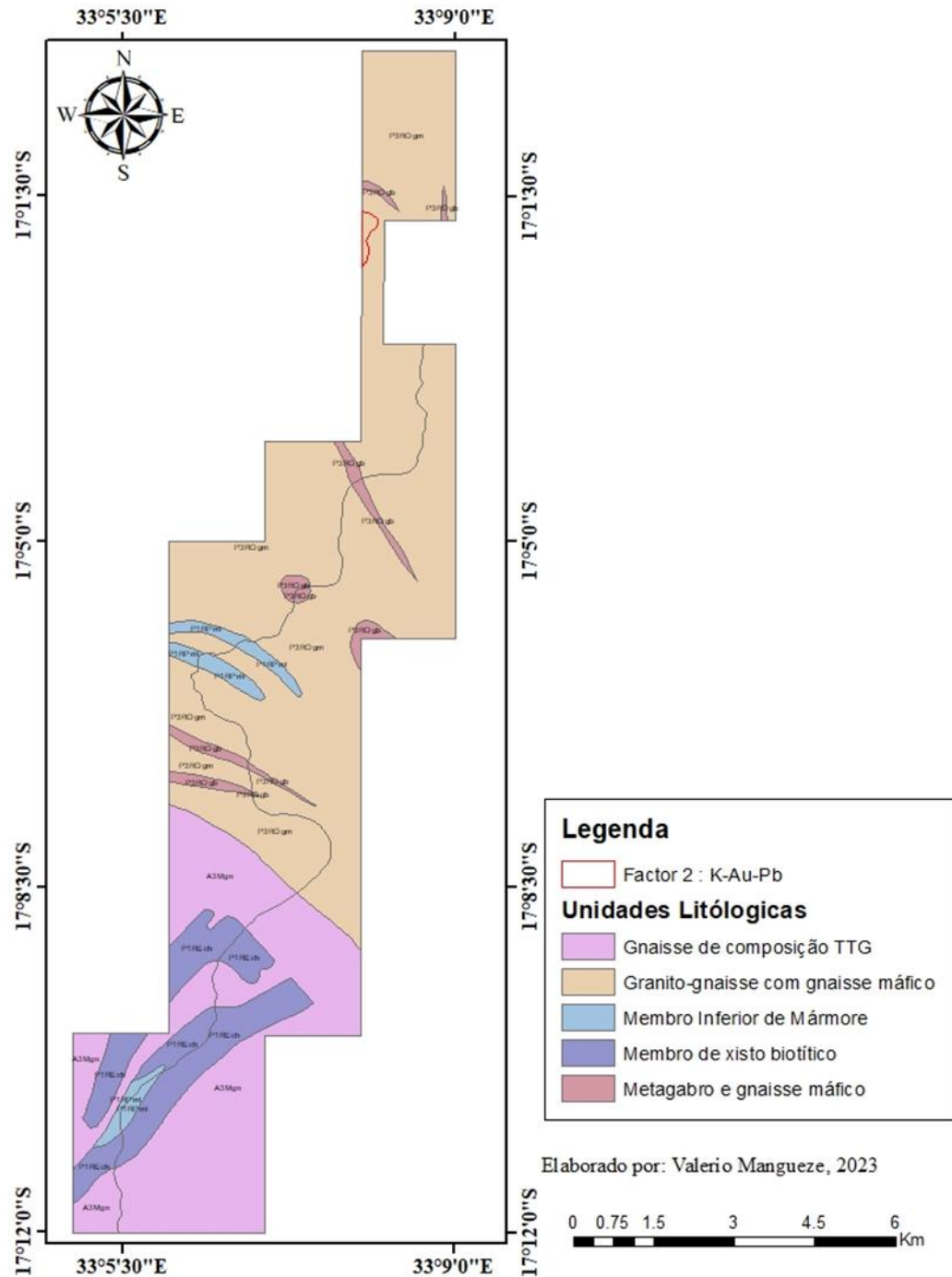
PbO	0,150	0,901	-0,002	-0,043	0,141	0,856
% Var	24,0	18,5	17,1	10,8	8,1	78,5
variância	3,607	2,782	2,564	1,619	1,209	11,782

Como mostra a tab.4, o primeiro factor de cerca de 24% do total da variância permitiu agrupar Ti-V-Mn-Fe-Zn, o segundo de cerca de 18.5% do total da variância para a associação de K-Au-Pb, o terceiro de 17.1% para Cr-Ni-Cu, o quarto de cerca de 10.8% para Ca-Sc-Co e o quinto com cerca de 8.1% para Sb. Neste processo de agrupamento das variáveis em análise, foi aplicado o teste de KMO para avaliar a fiabilidade dos resultados da análise factorial tendo obtido um valor correspondente a 0.82 o que, na escala de KMO, implica que a técnica aplicada é viável no tratamento dos dados em análise. Os valores deste teste variam de [0; 1], onde, a análise é considerada excelente: ]0.9; 1.0], boa: ]0.8; 0.9], média: ]0.7; 0.8], aceitável: ]0.6; 0.7], fraca: ]0.5; 0.6] e inaceitável quando é menor ou igual a 0.5 (Carvalho, 2013).

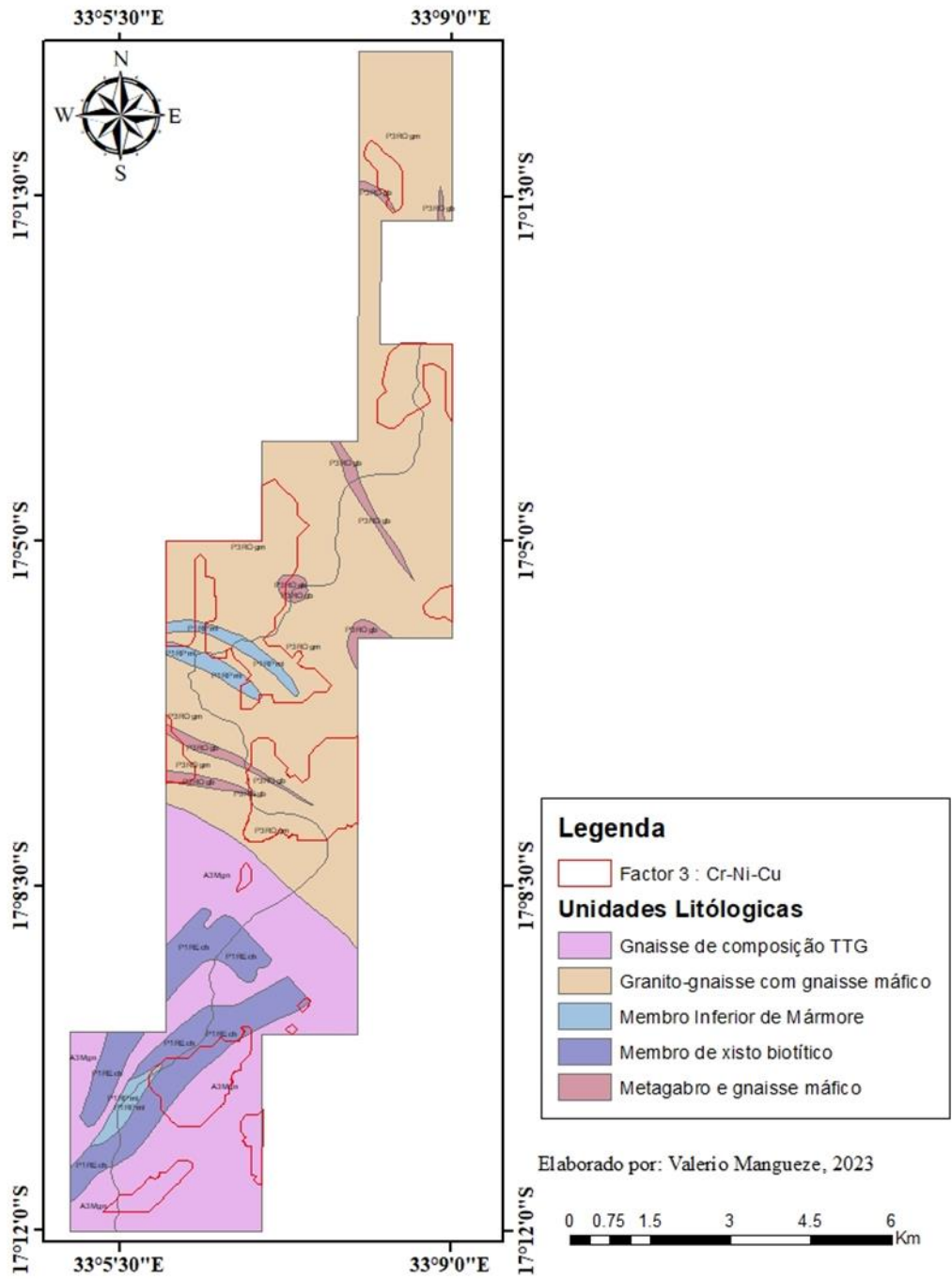
Uma vez empregada a AF para indicar as zonas de ocorrência das mineralizações (fig.21,22,23,24 e 25) dos factores definidos, foi aplicada a krigagem indicativa (KI) baseada no método de vizinhos naturais, com teor de corte correspondente a anomalia de primeira ordem – tab. 2



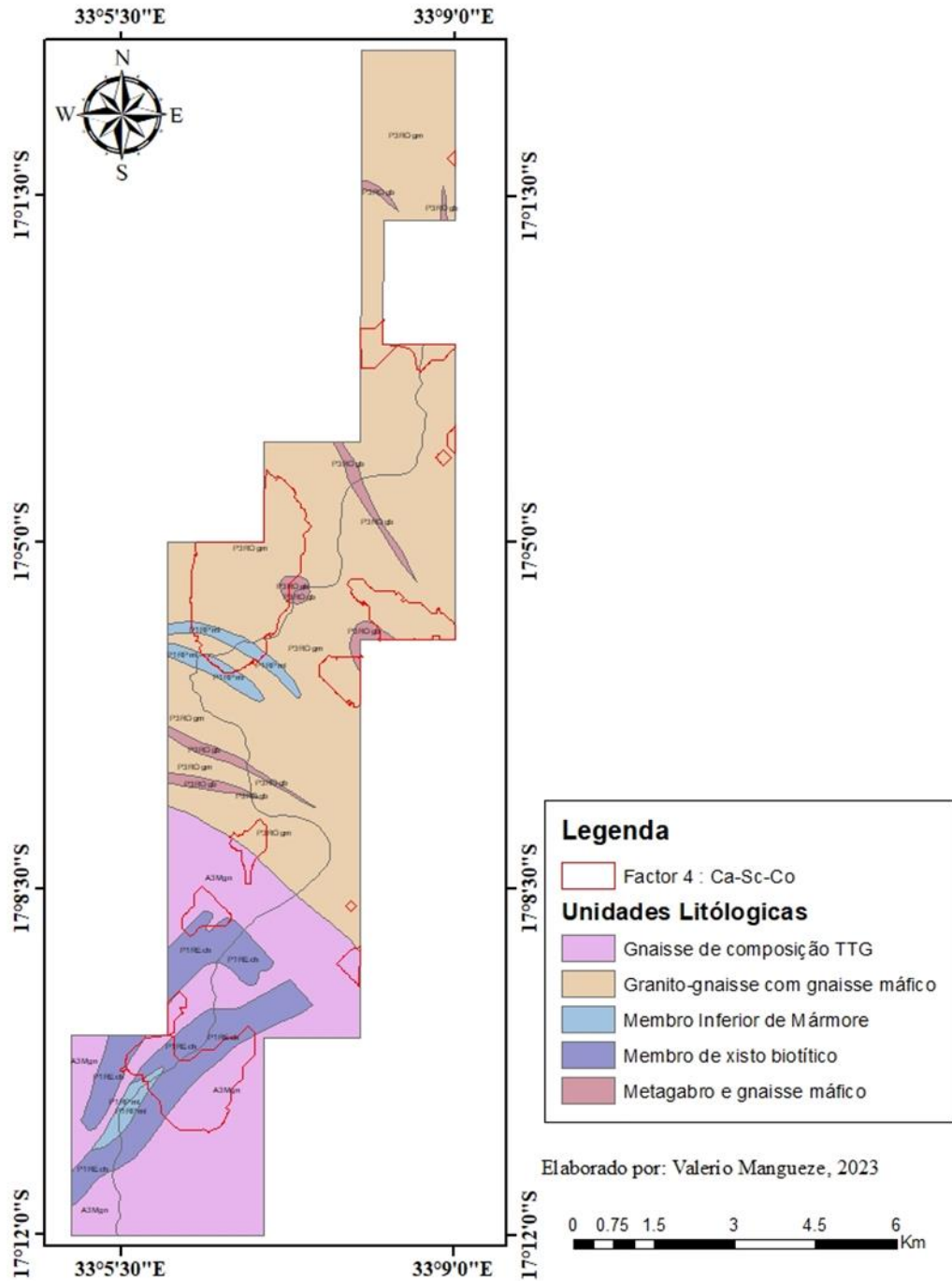
**Figura 20.** Mostra as áreas favoráveis para o alojamento do factor 1 (Ti-V-Mn-Fe-Zn) definidas por AF e KI para diferentes elementos da área de estudo e sua relação com as metalotectos



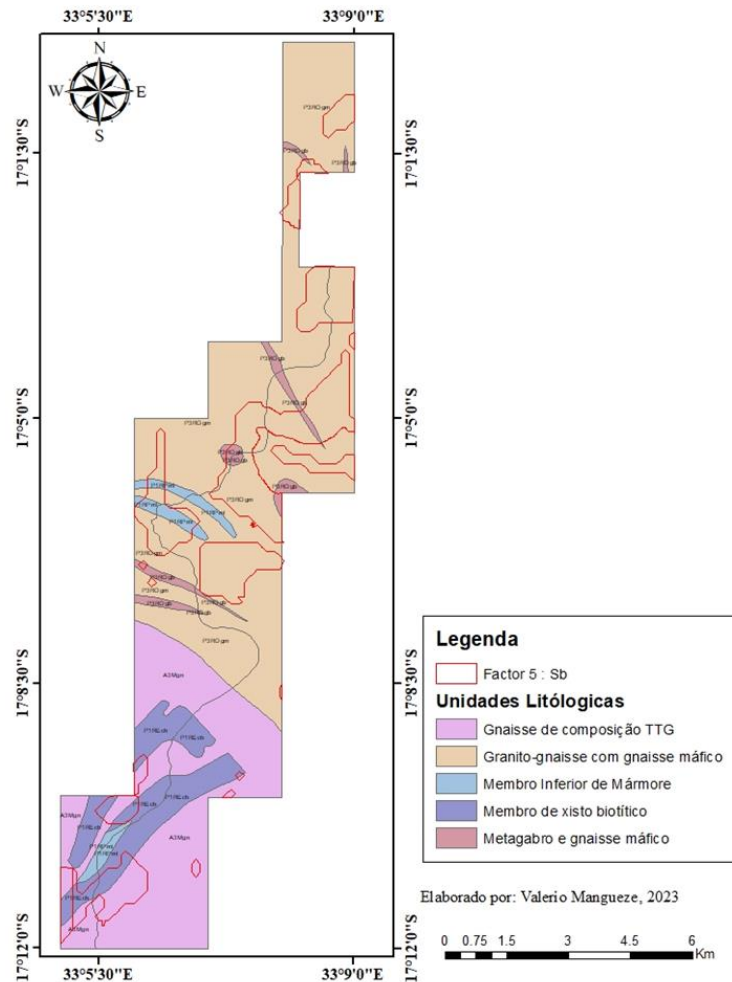
**Figura 21.**Mostra as áreas favoráveis para o alojamento do factor 2 (K-Au-Pb) definidas por AF e KI para diferentes elementos da área de estudo e sua relação com os metalotectos



**Figura 22.** Mostra as áreas favoráveis para o alojamento do factor 3 (Cr-Ni-Cu) definidas por AF e KI para os elementos da área de estudo e sua relação com os metalotectos.



**Figura 23.** Mostra as áreas favoráveis para o alojamento do factor 4(Ca-Sc-CO) definidas por AF e KI para os diferentes elementos da área de estudo e a sua relação com os metalotectos



**Figura 24.** Mostra as áreas favoráveis para o alojamento do factor 5 (Sb) definidas por AF e KI para diferentes elementos da área de estudo e sua relação com os metalotectos

## 5.2. Análise Geoestatística

Como vem descrito no capítulo anterior, a krigagem é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semi-variograma. O uso do semi-variograma permite expressar o grau de continuidade ou dependência espacial para posteriormente quantificar a variação dos teores no espaço.

### 5.2.1. Modelagem de semi-variogramas empíricos

No processo de estimativa, foram modelados os semi-variogramas de todos os elementos tendo os resultados ilustrados por meio da tabela 5 na qual são apresentados parâmetros e modelos do semi-variograma definidos para as variáveis em análise.

**Tabela 5.** Ilustra os resultados da aplicação da análise geoestatística para variáveis em estudo.

Variável	Modelo	Efeito pepita	patamar	Alcance	Tamanho
K <sub>2</sub> O	Esférico	0.3777	0.4445	6,910.1332	575.8444
CaO	Esférico	0.7196	0.6884	22,342.4425	1,861.8702
TiO <sub>2</sub>	Esférico	0.1015	0.0475	2,054.3683	262.4120
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Esférico	0.0006	0.0003	2,173.9349	276.9249
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Esférico	39,492.7947	47,390.7963	829.93701	97.4598
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Esférico	3,305.1308	4,616.3867	5,911.1829	522.6663
MnO	Esférico	57,860.2545	55,631.4110	281.1634	29.8199
FeO	Esférico	256,758,167.5628	177,711,713.5405	2,091.3513	273.9595
CoO	Esférico	679.5598	122.8946	22,103.1929	1,841.9327
NiO	Esférico	355.5492	205.0939	4,006.6604	395.0553
CuO	Esférico	188.8642	57.5231	2,546.6761	273.9595
ZnO	Esférico	331.8495	212.6289	2,903.2485	370.3429
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Esférico	315.0037	236.7927	695.1432	76.0827
Au	Esférico	3,603.8569	2,881.7106	4,261.3292	474.3989
PbO	Esférico	26.5890	40.3623	9,745.5679	1,116.4949

A análise geoestatística realizada por meio de semi-variogramas, apresentou uma dependência (variabilidade) espacial para todas as variáveis em estudo. Quanto ao modelo teórico para modelar a dependência espacial das variáveis, foi o esférico para todos e com efeito (Ef.) pepita.

### **5.2.2. Krigagem ordinária**

O produto final da aplicação da krigagem é a superfície interpolada para cada variável estudada. Os resultados da aplicação desta técnica de interpolação são apresentados nos mapas em anexo 1. Entretanto, a krigagem ordinária foi aplicada para todos os elementos.



## **6.DISCUSSÃO**

Esta parte do capítulo consiste fundamentalmente na discussão dos resultados apresentados no capítulo anterior. Entretanto, para uma interpretação efectiva de dados geoquímicos, no geral, exige-se a consideração de múltiplas características, dentre elas: as litológicas, estruturais e entre outras.

As principais características litológicas da área de estudo são: Metagabro e gnaiss máfico migmatítico, Mármore com intercalações calco-silicatadas, Membro de xisto biotítico, Granito gnaiss máfico e Gnaiss de composição TTG (Norconsult, 2011 & GTK, 2006).

Antes de avançar na discussão dos resultados da presente tese, importa realçar que as rochas hospedeiras dos teores considerados anómalos para os elementos analisados (tab. 2) não são revelados nos mapas (figuras 6 a 20) apresentados no presente projecto científico tese dada a cartografia geológica mais recente não favorecer à esta vantagem. No entanto, serviram como auxílio na discussão dos resultados, relatórios anteriores de estudos relacionados efectuados na área de estudo bem como para áreas adjacentes a escala mais detalhada possível.

Os resultados da análise factorial obtidos neste estudo estão de acordo com os obtidos por Cossa (2015) que também identificou associações similares a partir da análise de agrupamentos hierárquicos e análise de factores.

As características geoquímicas da área de estudo são apresentadas em duas linhas principais – a discussão dos resultados da análise estatística (uni, bi e multivariada) e geoestatística (krigagem indicativa e ordinária). Entretanto, a análise exploratória de dados permitiu o entendimento das variáveis geoquímicas para posterior selecção dos valores correspondentes as anomalias (tab. 2); a análise bivariada no estudo do comportamento de pares de variáveis (tab. 3) e multivariada para a distinção das principais associações geoquímicas (tab. 4) que foi auxiliado pela krigagem indicativa na identificação das suas zonas de maior probabilidade de ocorrência na área de estudo (fig. 5,6,7,8 e 9). E a análise geoestatística por meio da krigagem ordinária e inverso da distância ponderada (tab.5), determinar distribuição espacial dos teores dos elementos na área estudada.

### **6.1. Análise Estatística**

As características geoquímicas distintas na área de estudo (tab. 3) são resumidas em cinco (5) factores – factor 1 formando a associação de Ti-V-Mn-Fe-Zn, factor 2 para associação de K-Au-Pb, factor 3

constituído por Cr-Ni-Cu, a associação Ca-Sc-Co forma o factor 4 e o elemento Sb representa o factor 5, respectivamente. A ocorrência destes elementos está intimamente associada a características geológicas e estruturais (fig. 21,22,23,24 e 25).

**Os factores 1 e 2** (tab. 4) que representa a associação geoquímica de Ti-V-Mn-Fe-Zn e K-Au-Pb, apresentam teores anómalos (tab. 2) que se concentram na região NW. Sobre Granito gnaissé máfico como mostram os mapas de teores de fundo – anomalias geoquímicas (fig. 21 e 22). Através da tab. 3, os elementos desta associação apresentam uma correlação positiva e média a forte representando a sua maior afinidade entre estes elementos (Chuva,2017)

No Granito gnaissé máfico os componentes félsicos e máficos estão intimamente bandados, sendo o componente félsico dominante-que podem ser a fonte dos teores destes elementos, o mesmo foi descrito por Norconsult, 2011.

**Factor 3 e 4** representado pelas associações Cr-Ni-Cu e Ca-Sc-Co, apresentam teores anómalos (tab. 2) que concentram se nas regiões S-SW, NE, NW sobre Metagabro e gnaissé máfico migmatítico, Mármore com intercalações calco-silicatadas, Membro de xisto biotítico, Granito gnaissé máfico e Gnaissé de composição TTG, podendo ocorrer a teores anómalos - anomalia de primeira ordem (fig. 23 e 24) na área de estudo. Entretanto, Lächelt (2004) diz que partes destes elementos ocorrem em forma de óxidos (ocasionalmente em Gnaisses) cujo seus protólitos podem estar associados a sedimentos alterados durante o metamorfismo regional relacionado com o último evento Pan-Africano.

De acordo com Chuva, 2017 é possível notar que As relações entre pares de variáveis definidos na tabela 3, mostram uma correlação positiva e média a fraca nalguns elementos correlação negativa.

**Factor 5** relaciona-se com o Sb na qual os seus teores anómalos concentram-se em quase toda região N e S na região central a SW e SE da área de estudo, sobre Metagabro e gnaissé máfico migmatítico, Mármore com intercalações calco-silicatadas, Membro de xisto biotítico, Granito gnaissé máfico e Gnaissé de composição TTG, mas há teores anómalos de primeira ordem (tab. 2) como mostra o mapa da fig. 25 ((Norconsult, 2011 & GTK, 2006).

Os resultados da análise estatística bivariada (tab. 3) mostram uma correlação negativa e fraca deste elemento em relação a outros seleccionados. Esta característica também é testemunhada pela tab. 4 da análise multivariada bem como pelo mapa da fig. 25 (Chuva,2017)

## 7.CONCLUSÕES

- A técnica estabelecida para a selecção de teores de fundo e anomalias geoquímicas demonstrou-se ser eficaz e adequada. Sua aplicação efectiva possibilitou a discriminação precisa das populações das variáveis estudadas, culminando na elaboração de mapas detalhados de teores de fundo e anomalias geoquímicas.
- A técnica de análise multivariada aplicada permitiu a definição de 5 factores como (1) Ti-V-Mn-Fe-Zn, (2) K-Au-Pb, (3) Cr-Ni-Cu, (4) Ca-Sc-Co e (5) Sb
- As anomalias geoquímicas dos factores 1 e 2 estão apenas concentradas na região NW da área de estudo, em relação ao factor 5 as anomalias geoquímicas predominam em quase toda extensão na Parte N e S na região central a SW e SE da área de estudo, e as anomalias geoquímicas dos Factores 3 e 4 constituídas pelas associações Cr-Ni-Cu e Ca-Sc-Co, apresentam teores anómalos que concentram-se nas regiões S-SW, NE, NW ao longo das linhas de drenagem de primeira ordem;
- A associação geoquímica de Cr-Ni-Cu está intimamente associada a solos residuais de rochas básicas e ultrabásicas (depósitos magmáticos) relacionadas com elementos do grupo da platina na qual seus elementos hospedam em metassedimentos siliciclásticos e paragneisses migmatíticos nas regiões S-SW, NE e NW. O factor 2 K-Au-Pb associado a paragneisses migmatíticos podendo ocorrer também nas zonas de contacto com o metassedimento siliciclástico e em uma zona de falhamento;
- As associações V-Ca, Sb-Cu, Ni-Ca e Co-Cu apresentam correlações fracas, as associações V-Ti, V-Fe, Pb-K, Fe-Ni, Fe-Mo e Zn-Fe apresentam correlações positivas médias a fortes
- As técnicas aplicadas para mapear a distribuição espacial – extensão dos teores das variáveis analisadas foram altamente eficazes, proporcionando uma localização mais confiável de áreas incomuns em comparação com a abordagem empregada para identificar as áreas favoráveis de ocorrência dos factores definidos;

## 8. RECOMENDAÇÕES

Em virtude das limitações que o presente trabalho apresenta, recomenda-se:

- Um mapeamento detalhado e uma amostragem litogeoquímica de alta densidade especialmente para as zonas definidas potenciais para a ocorrência das associações geoquímicas pelo presente estudo de forma a determinar com exactidão a rocha geradora das anomalias;
- Uma caracterização mineralógica das amostras para áreas definidas potenciais de forma a reconhecer o minério bem como a fonte dos teores anómalos;
- Estudo detalhado das principais estruturas (falhas e fracturas), especialmente para áreas definidas potenciais para a ocorrência das associações geoquímicas no presente estudo para aprimorar a possível implicação geológica dessas estruturas pois sabe-se que estas, são normalmente principais condicionantes na génese de mineralizações;
- Um estudo de campo na área de estudo para confirmar os resultados obtidos através da interpretação das imagens

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Alperin, M. (2013).**Introducción Al Análisis Estadístico de Datos Geológicos. Universidad Nacional de La Plata.
- **Andriotti, J. L. (2010).** Interpretação de dados de prospecção geoquímica com o auxílio de estatística. Porto Alegre: Ministério de Minas e Energia, Serviço Geológico do Brasil – CPRM
- **Barton, CM; Carney , J.N.; Crow , MJ.; Dunkley , P.N. & Simango, S.(1991).** The geology of the country around Rushinga and Nyamapanda. Bulletin, Zimbabwe Geological Survey, Harare, 92, 220 pp.
- **Carvalho, F. R. (2013).**Análise Fatorial. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologias. Departamento de Matemática, Portugal.
- **Cháuque, F. R. (2012).** Contribuição para o conhecimento da evolução tectônica do cinturão de Moçambique, em Moçambique. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. São Paulo.
- **Chuva, P. J. (2017).** Processamento estatístico-matemático de dados de geoquímica de solo nos distritos de Namuno, Balama e Montepuez, Província de Cabo Delgado. Universidade Eduardo Mondlane, Tese de Licenciatura.
- **Cossa, E. (2015)** Análise Estatística Multivariada Aplicada a Sedimentos de Corrente de Namapa, Nampula. Projecto Científico, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, não publicado.
- **Diener, F. S., Eberhardt, D. B., Polo, H. J. de O. e Moriton, L. (2011).** Integração de Dados Geológicos e Geoquímicos na Delimitação de Áreas Com Potencial Prospectivo para Sn, Etrs, Th, U, Cu, Au E Egp na Folha Mata Azul, Goiás. XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica, pp. 1757-1760.
- **Grantham, G. H., Marques, J. M., Wilson, M. C., Manhiça, V., & Hartzer, F. J. (2011).** Explanation of the geological map of Mozambique, scale 1:1 000 000. Ministério dos Recursos Minerais. Direcção Nacional de Geologia, Maputo.

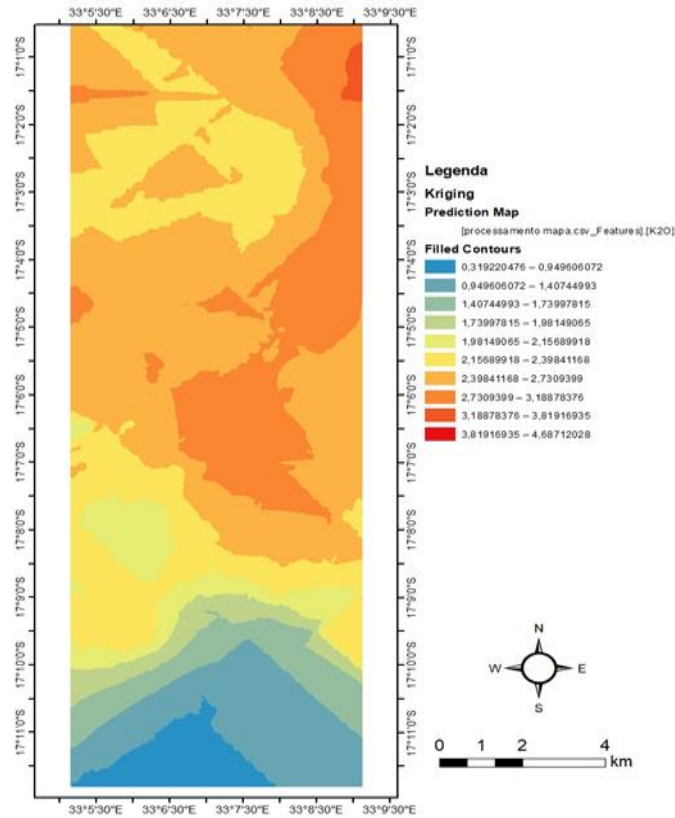
- **Grunsky, E. C. (2007)** The Interpretation of Regional Geochemical Survey Data. In “Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration” edited by B. Milkereit, pp. 139-182
- **GTK Consortium. (2006).** Notícia Explicativa/Map explanation. Folhas: Mecumbura (1631), Chioco (1632), Tete (1633), Tambara (1634), Guro (1732,1733), Chemba (1734), Manica (1832), Catandica (1833), Gorongosa (1834), Rotanda (1932), Chimoio (1933) e Beira (1934). Escala 1:250 000. Vol. 2. Direcção Nacional de Geologia, Maputo.
- **Hawkes, H. E., & Webb, J. S. (1962).** Geochemistry in Mineral Exploration. New York: 16 Harper.
- **Journel, A. G. (1983).** Non parametric estimation of spatial distributions. Mathematical Geology.
- **Kroner, A., & Stern, R. J. (2005).** Pan-African Orogeny. Encyclopedia of geology. Vol. 1. Elsevier Ltd.
- **Landim, P. M. (2006).** Sobre Geoestatística e Mapas. Terra Didática 2(1):19-33
- **Landim, P. M., & Sturaro, J. R. (2002).** Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica,Texto Didático.
- **Lebela-Mouakoumbat, N. J. (2014)** Integración de métodos matemático-estadísticos y geoestadísticos en el procesamiento de datos geoquímicos de suelos en el sector de Avaliação geoestatística do potencial em Ouro na zona Norte da Província de Nampula- Distrito de Eráti.
- **Licht, O. A. (1998).** Prospecção Geoquímica – Princípios, Técnicas e Métodos. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil – CPRM.
- **Matheron, G. (1971).** The theory of Regionalized variables and its applications. Les cahiers du centre de Morphologie mathématique in fontainebleu, Paris.
- **Ministério da Administração Estatal. (2005).** Perfil do Distrito de Changara, Província de Tete.
- **Ministério da Administração Estatal. (2005).** Perfil do Distrito de Guro, Província de Manica

- **Medri, W. (2011).** Análise Exploratória de Dados. Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Estatística.
- **McKinley, J.M., Deutsch, C.V., Neufeld, C., Patton, M., Cooper, M. e Young, M.E. (2014).** Use of geostatistical Bayesian updating to integrate airborne radiometrics and soil geochemistry to improve mapping for mineral exploration. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 114, pp. 575-586.
- **Mekonnen, S. Z. (2008)** Geological and Mineral Potential Mapping by Geoscience Data Integration. MSc. Thesis. International Institute for Geo-information and Earth Observation Enschede, The Netherlands, não publicado.
- **Norconsult Consortium (2011).** Mineral Resources Management Capacity Building Project, Republic of Mozambique. Credit No. NDF3486, Scale: 1:1000000, National Directorate of Geology, Republic of Mozambique.
- **Pekkala, Y., Korkiakoski, E., Kuivasaari, T., & Lehto, T. (2007).** Final Technical Report. Mozambique.
- **Quadros, Telmo Fernando Peres de (2000).** Integração de Dados em ambiente SIG para o Mapeamento de Favorabilidade Mineral de Ouro na Ilha Cristalina de Rivera (Uruguai). Tese de Doutorado, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Brasil
- **Vicini, L. (2005).** Análise Multivariada da teoria à prática. Santa Maria – UFSM. Brasil.
- **VINYU, M.L.; HANSON, R.E.; BOWRING, S.A.; JELSMA, HÁ.; KROL, M.A & DIRKS, P.H.G.M. (1999).** U-Pb and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronological constraints on the tectonic evolution of the easternmost part of zambesi orogenic belt, northeast Zimbabwe. Precambrian Research, 98: 67-82.
- **Yamamoto, J. K. (1991).** Comparação de Métodos Computacionais para Avaliação de Reservas: Um Estudo de Caso na Jazida de Cobre de Chapada. Universidade de São Paulo - Brasil.

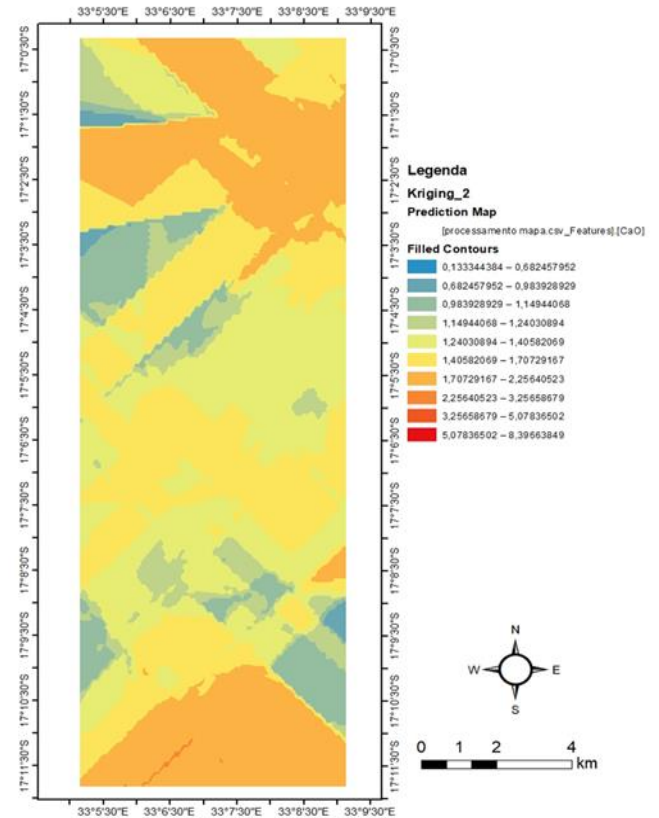
## **ANEXOS**



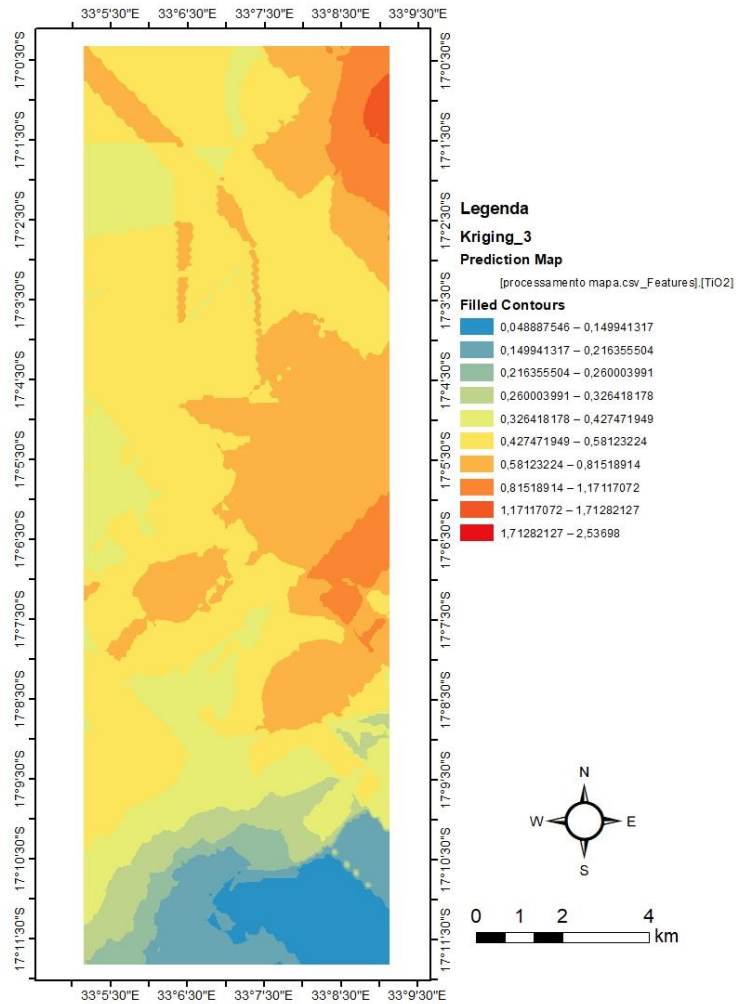
### 1. mapas resultantes da aplicação da krigagem ordinária das variáveis da área de estudo



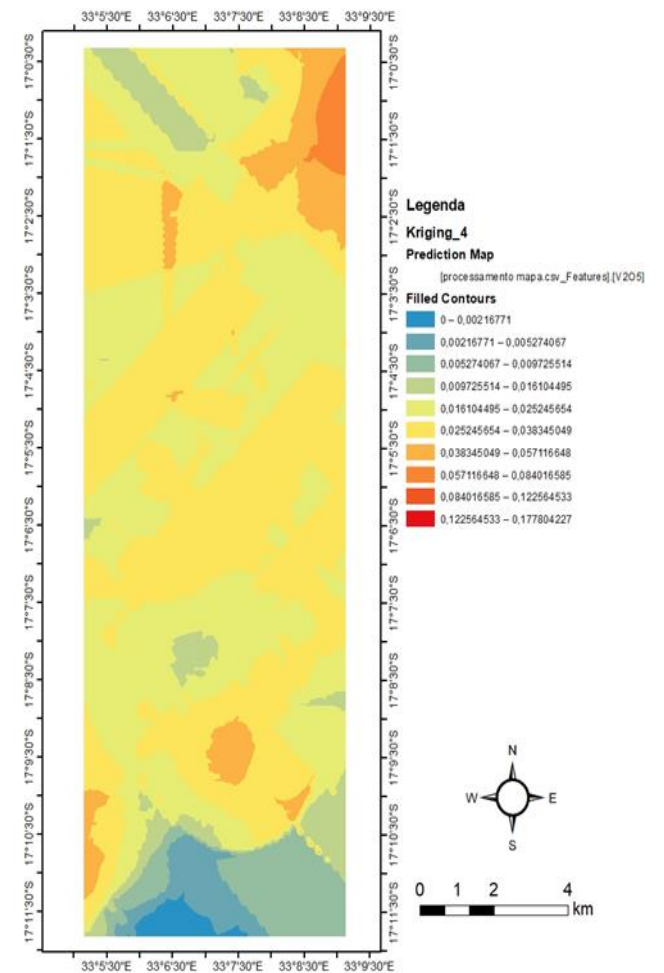
K



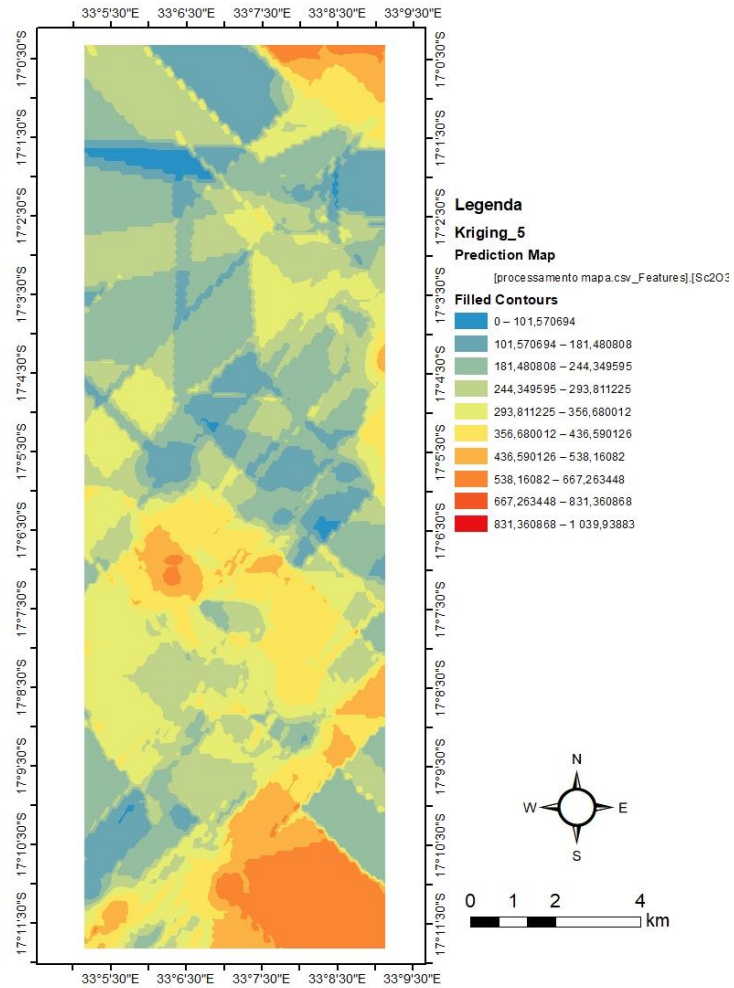
Ca



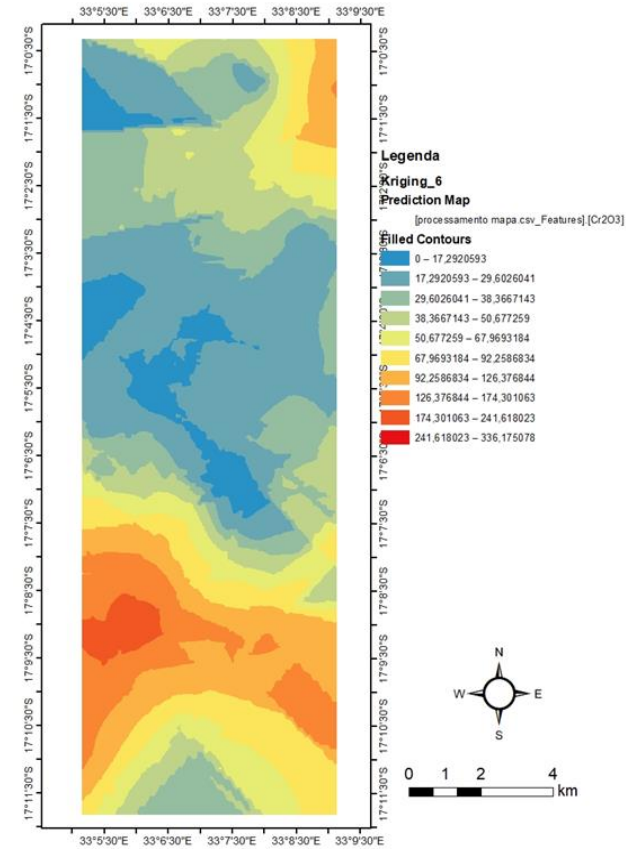
Ti



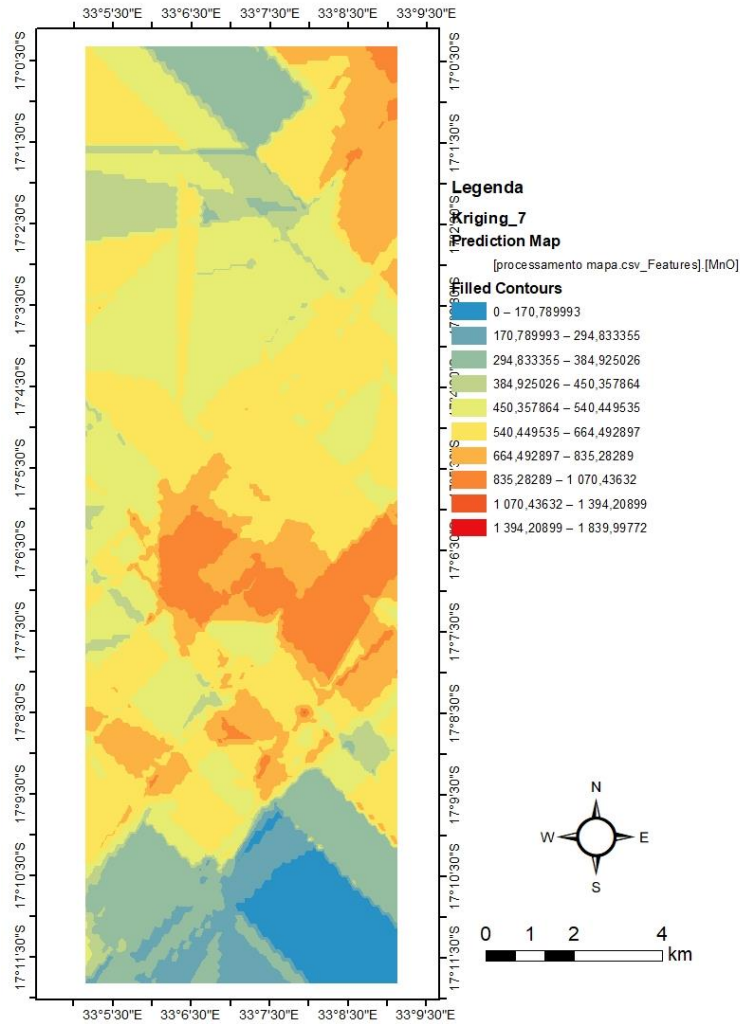
V



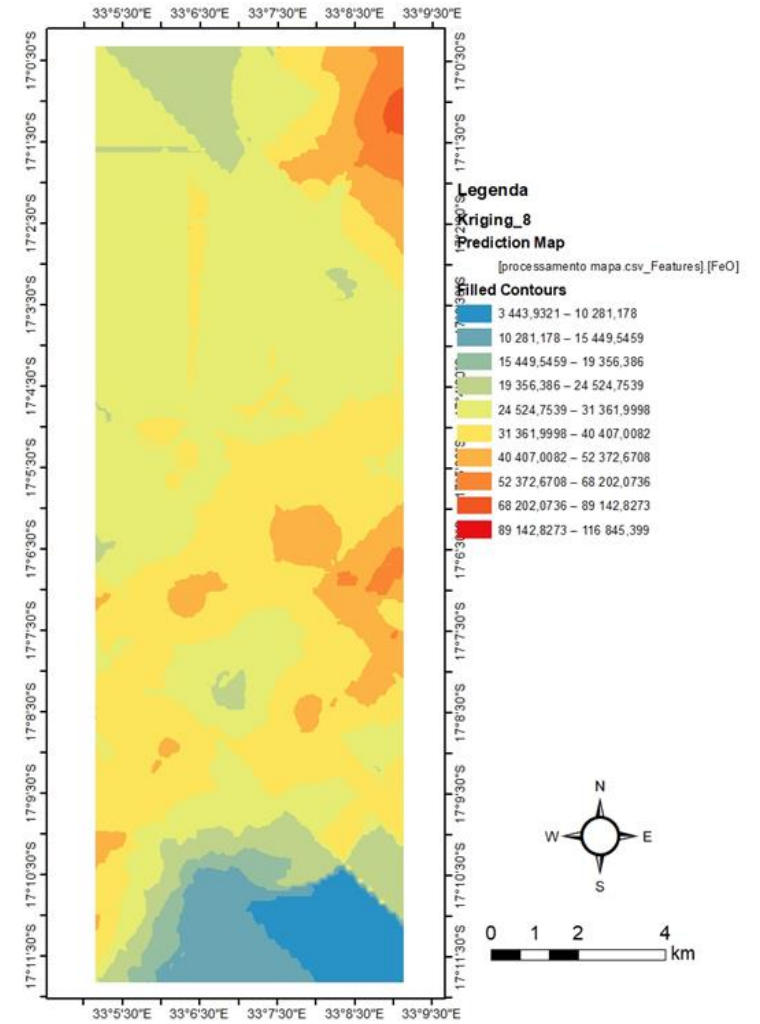
Sc



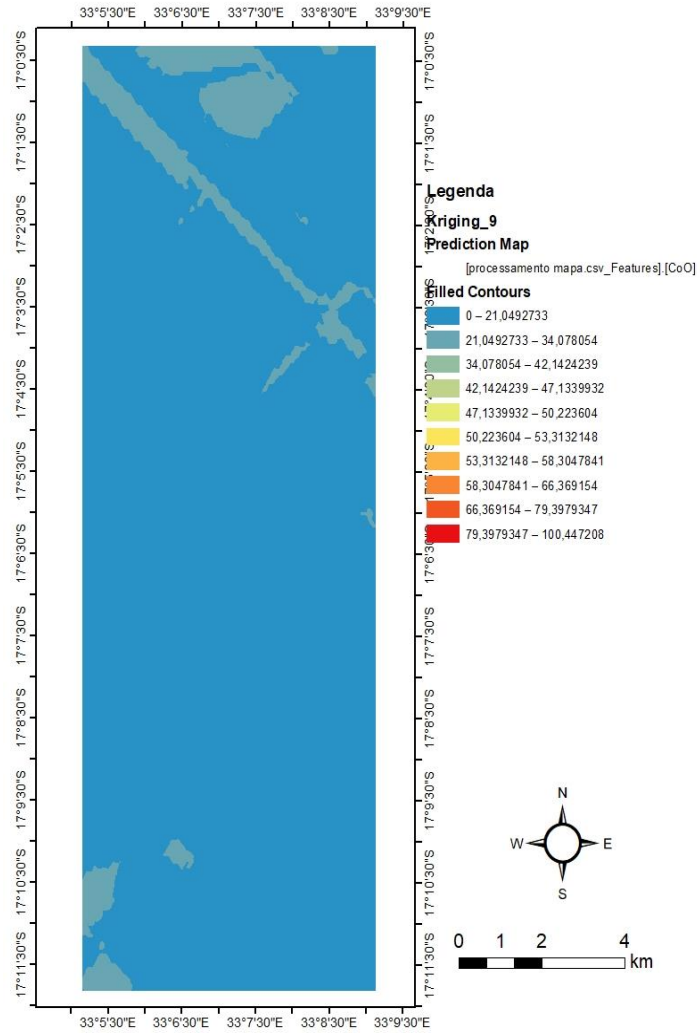
Cr



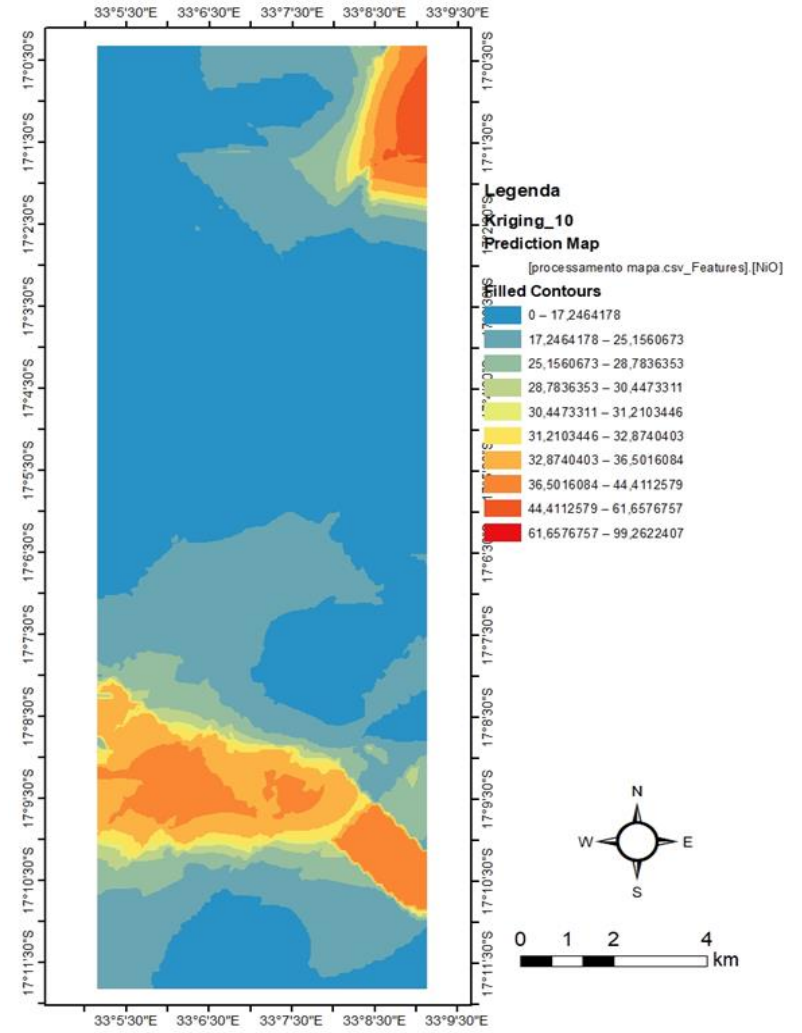
Mn



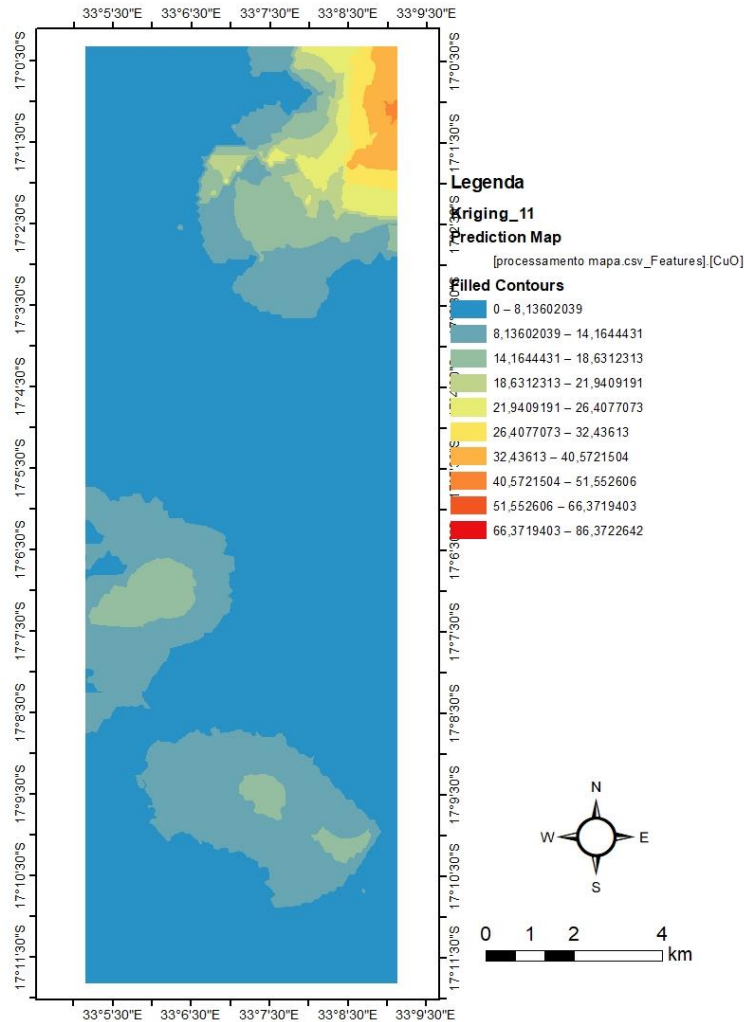
Fe



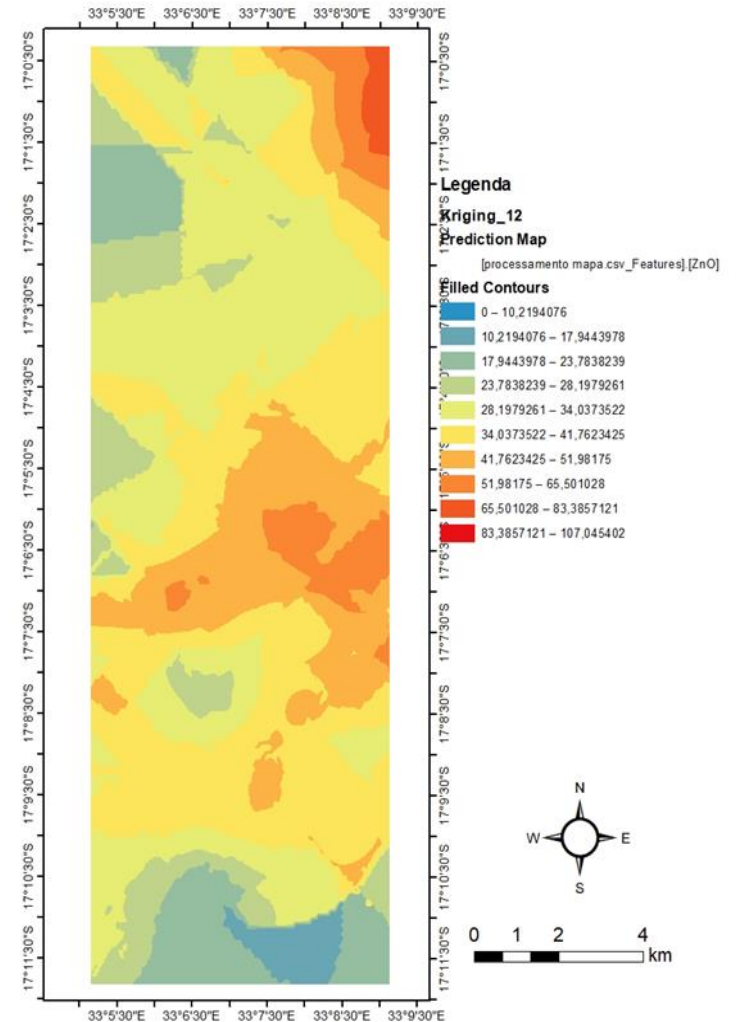
Co



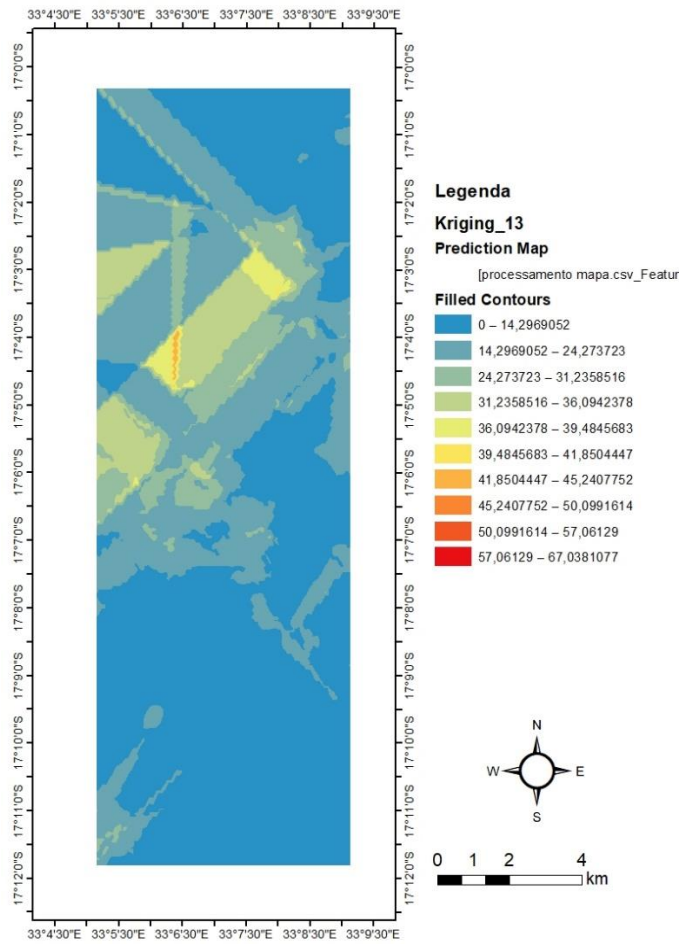
Ni



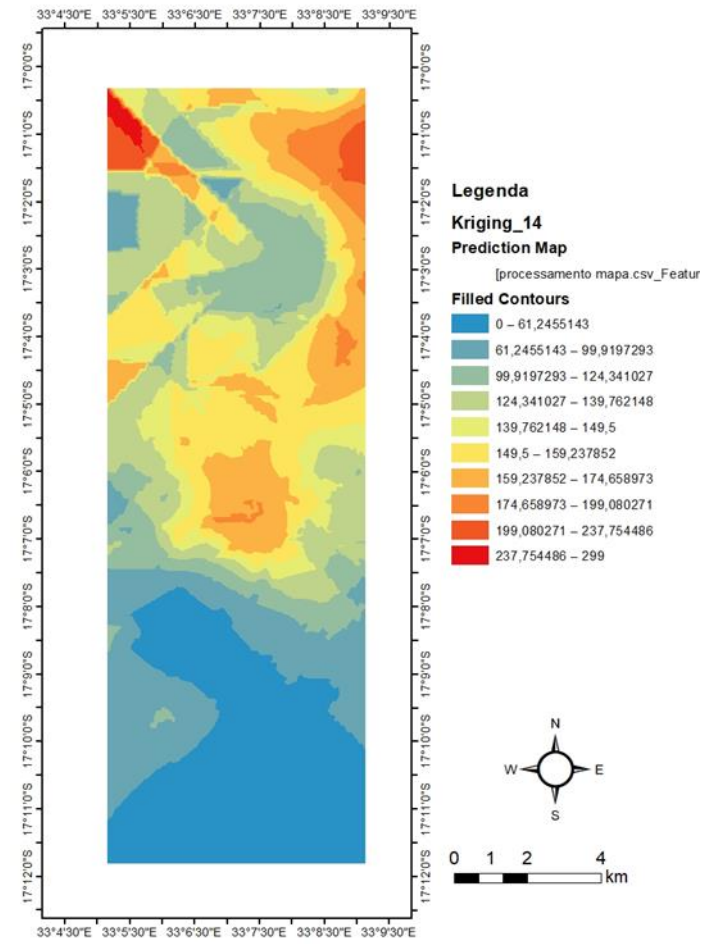
Cu



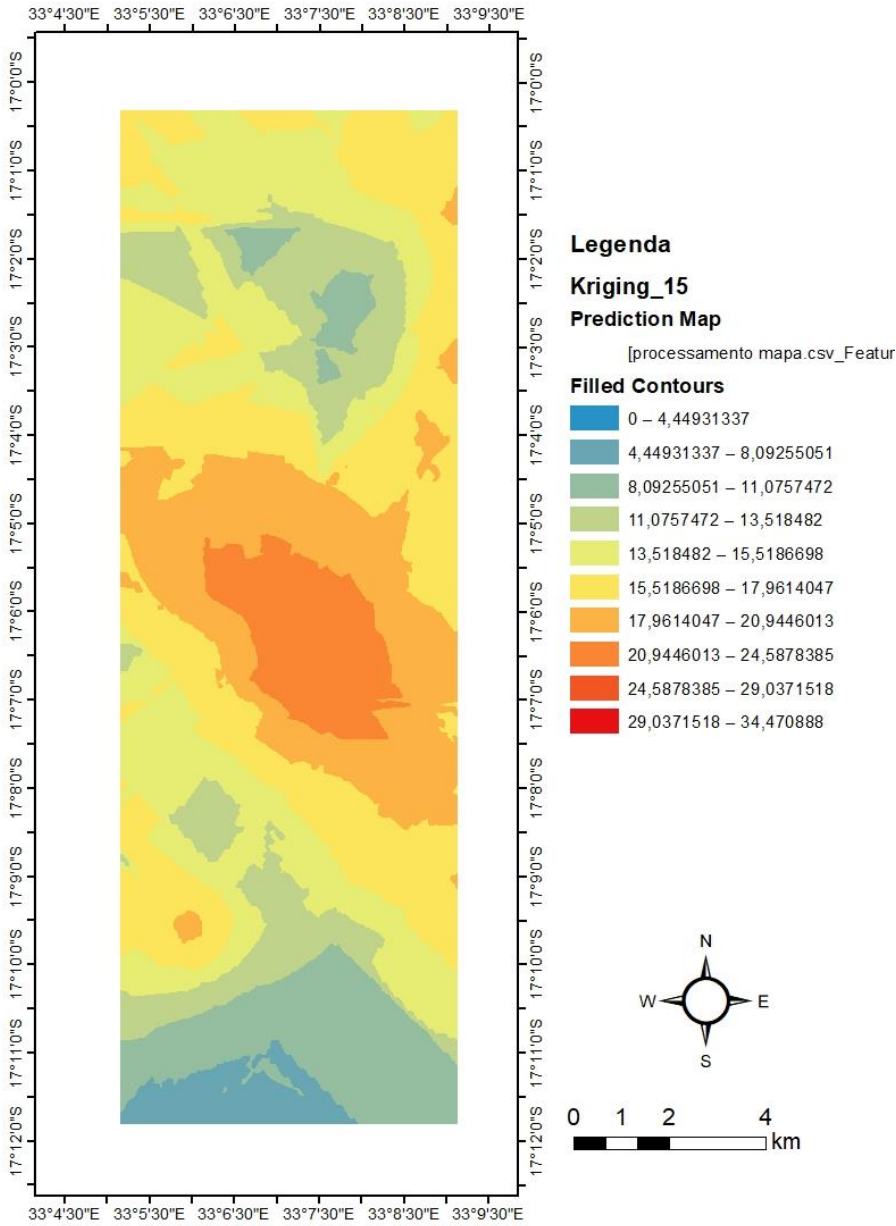
Zn



Sb



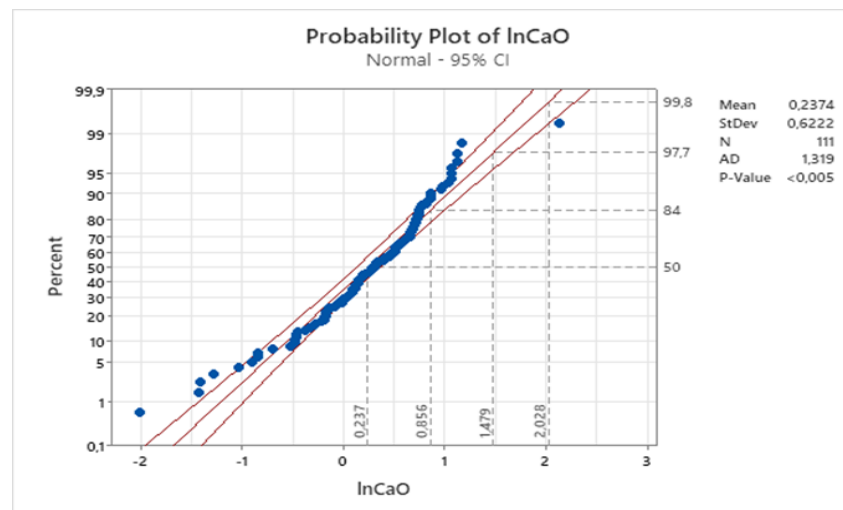
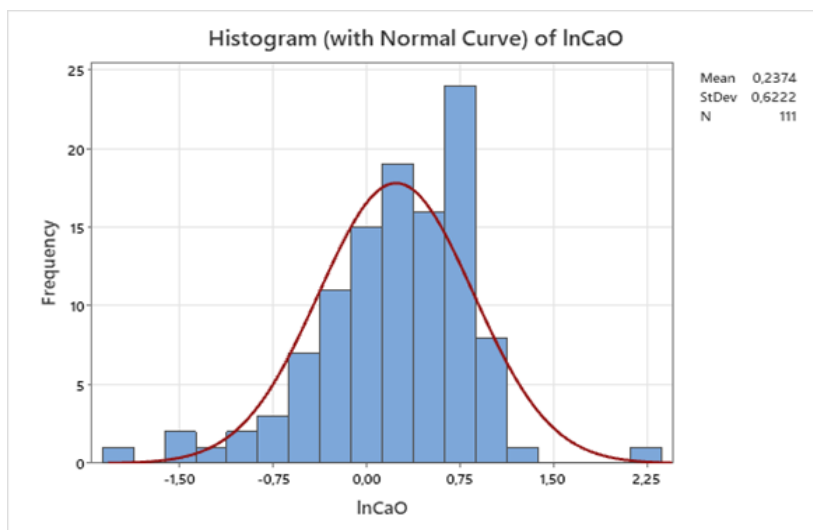
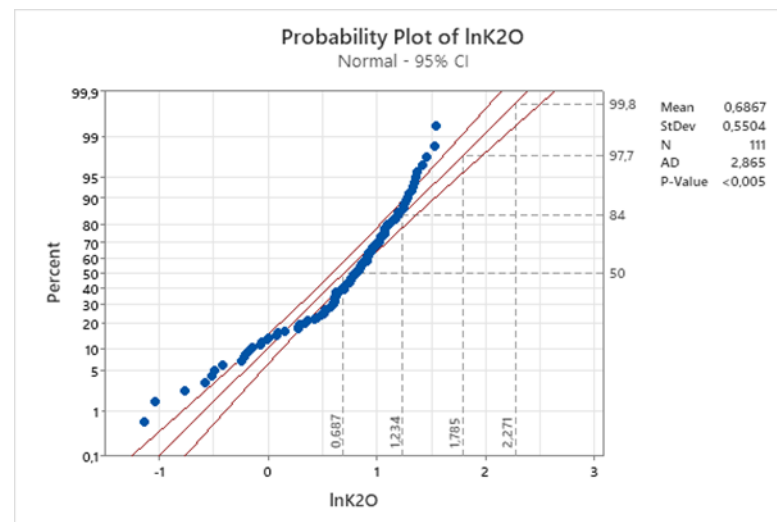
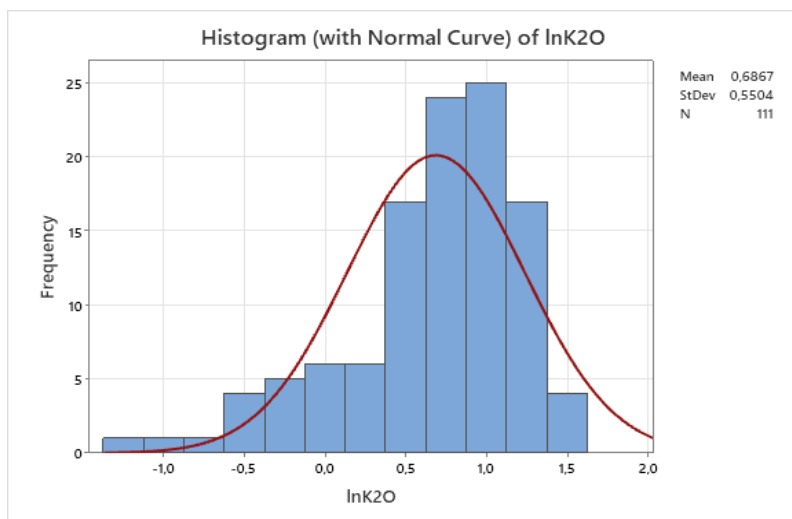
Au

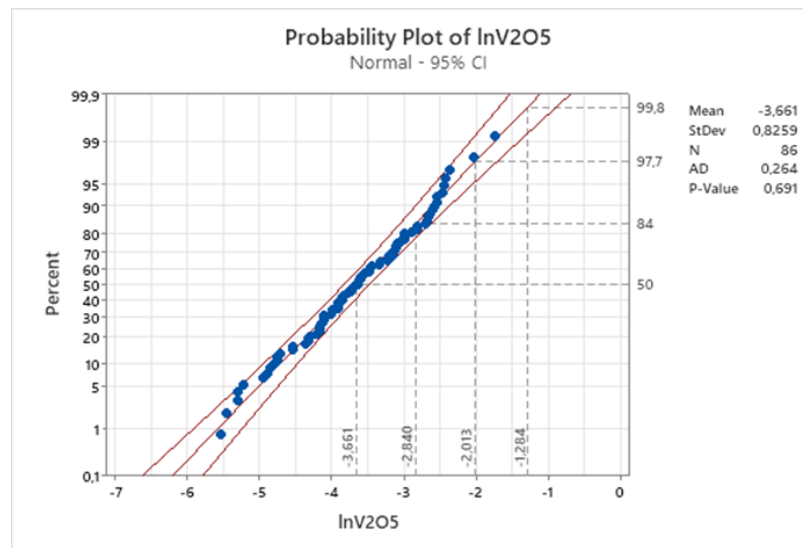
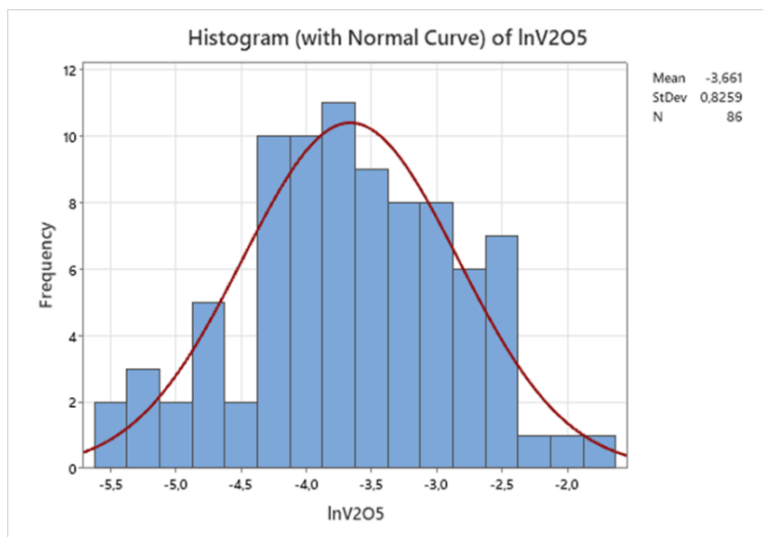
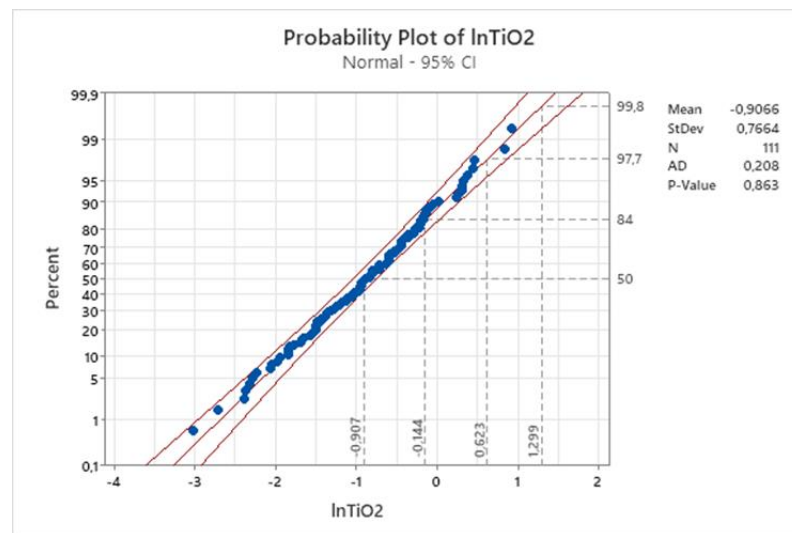
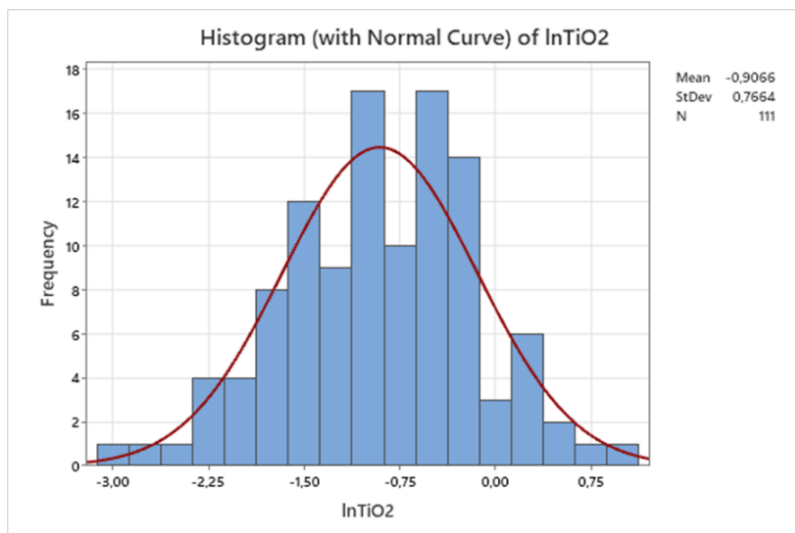


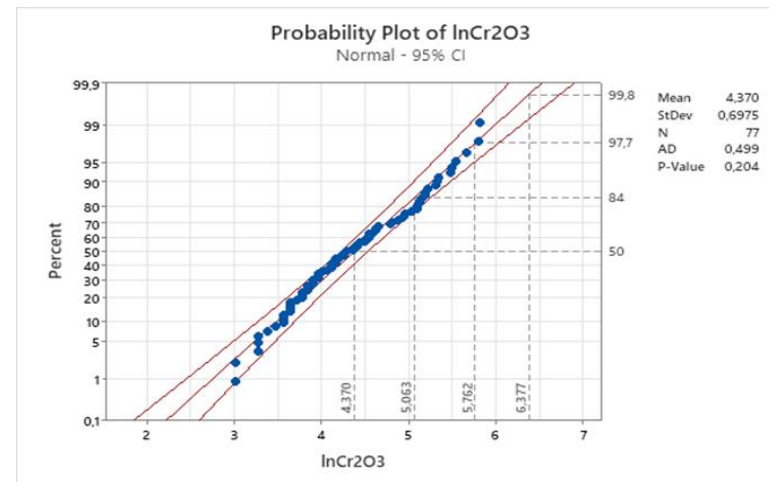
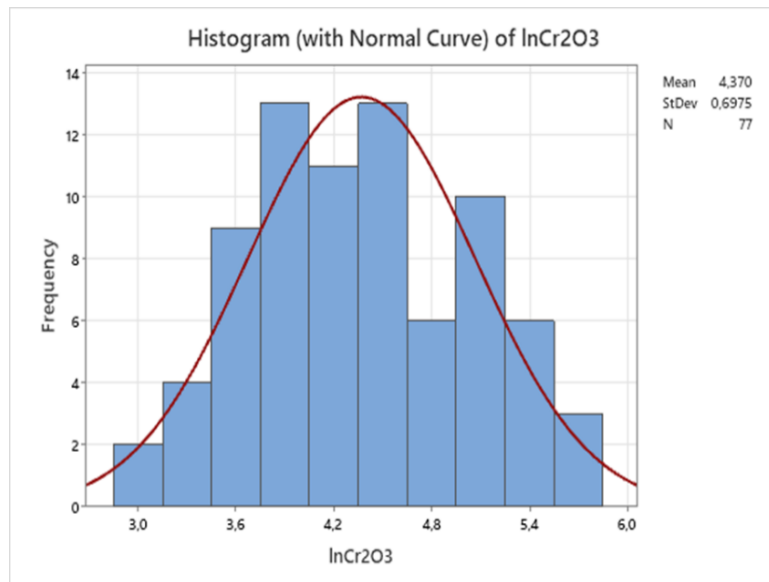
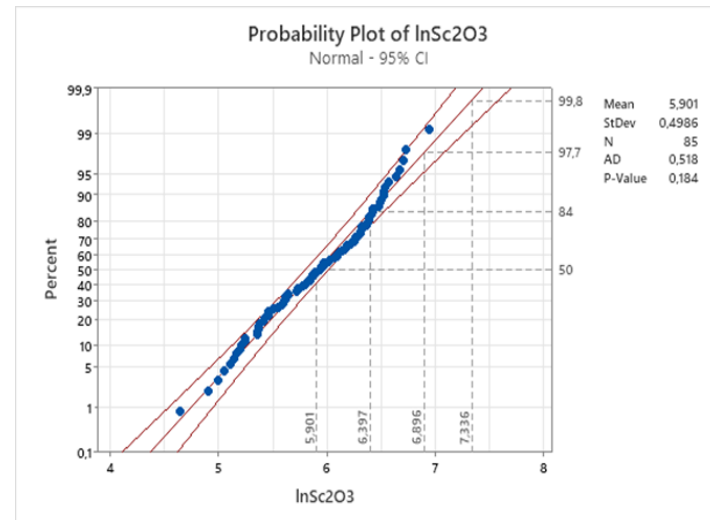
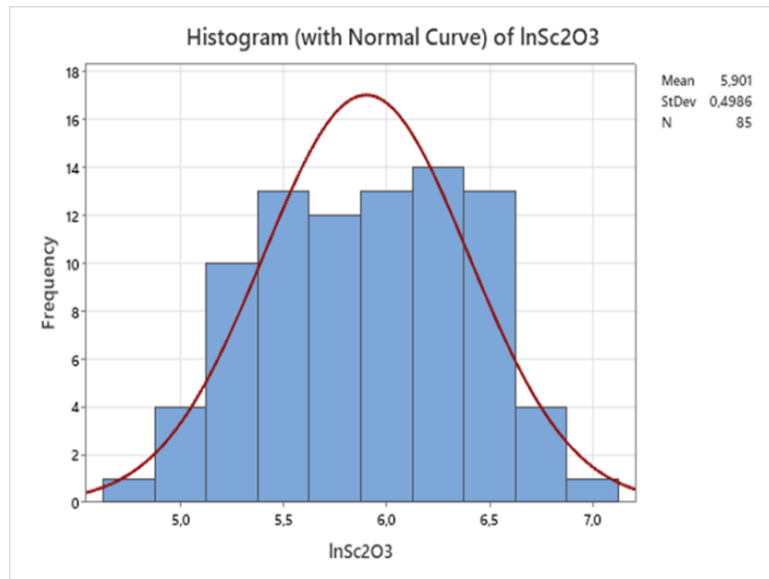
Pb

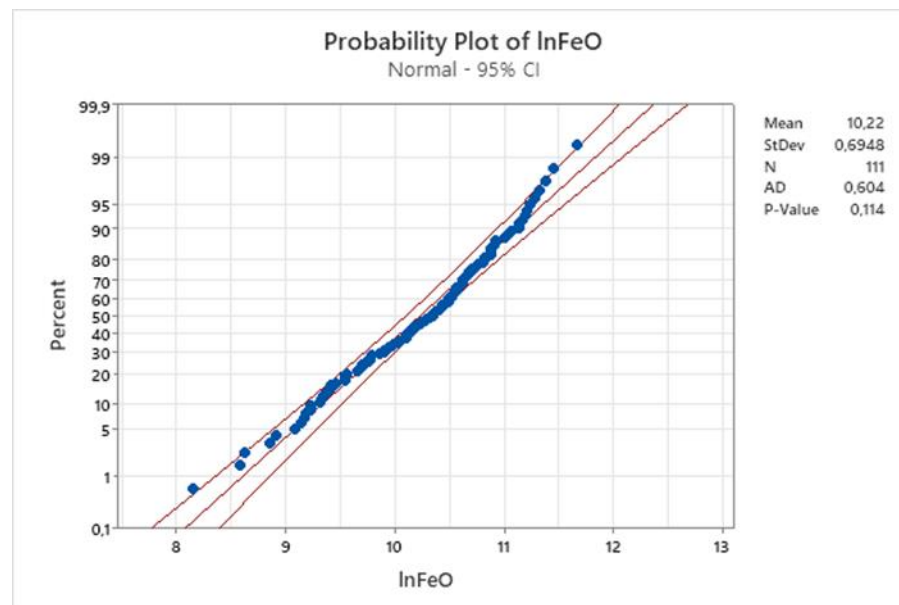
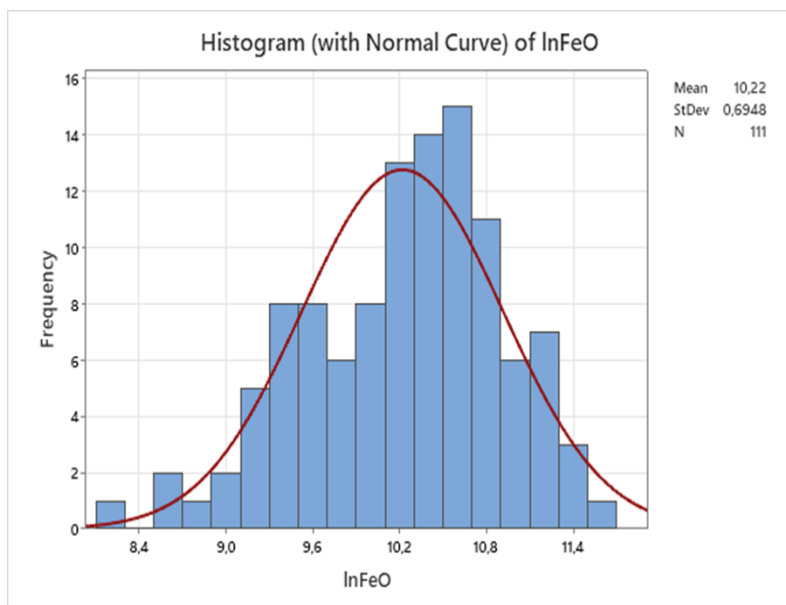
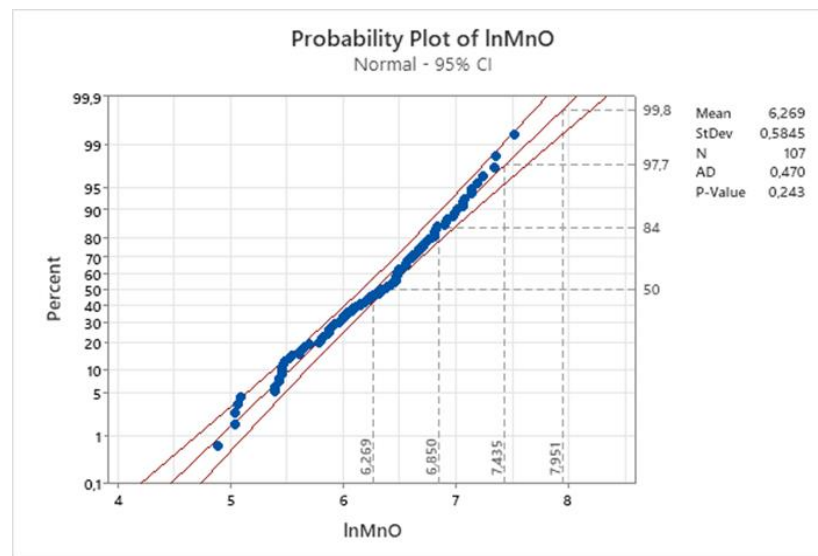
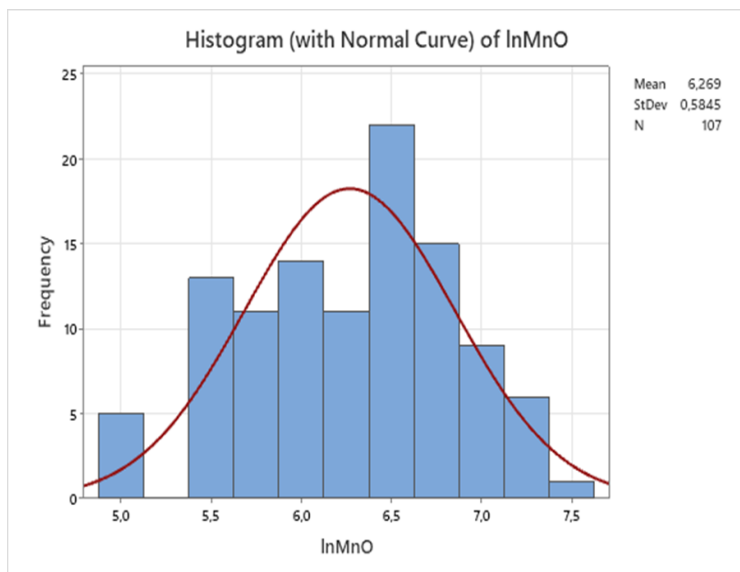
**2.Histogramas e gráficos probabilísticos de teores (logaritimizados) dos elementos da área de estudo:**

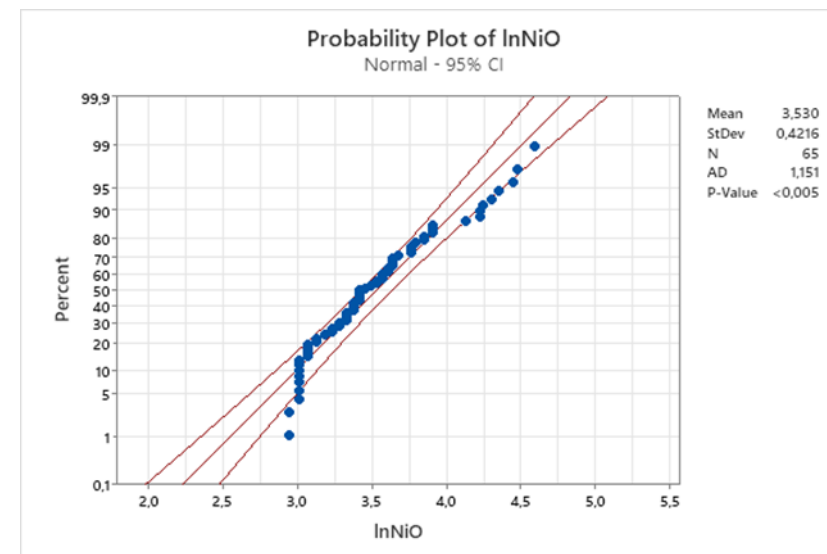
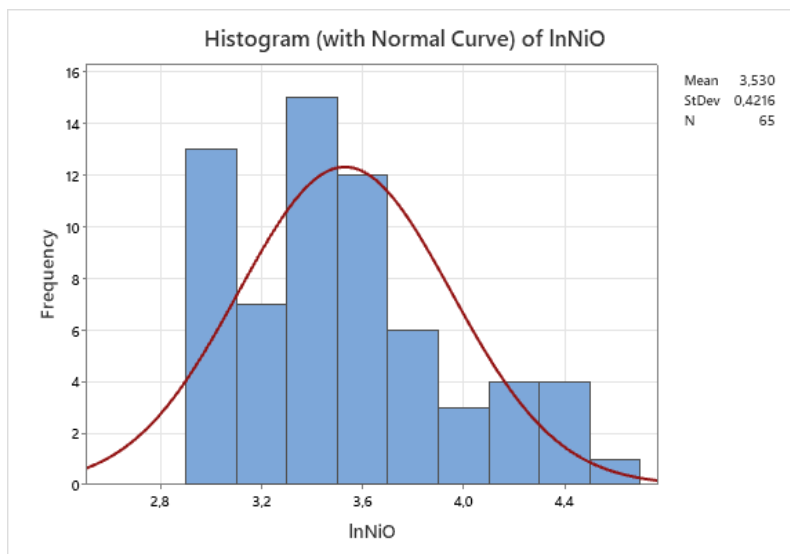
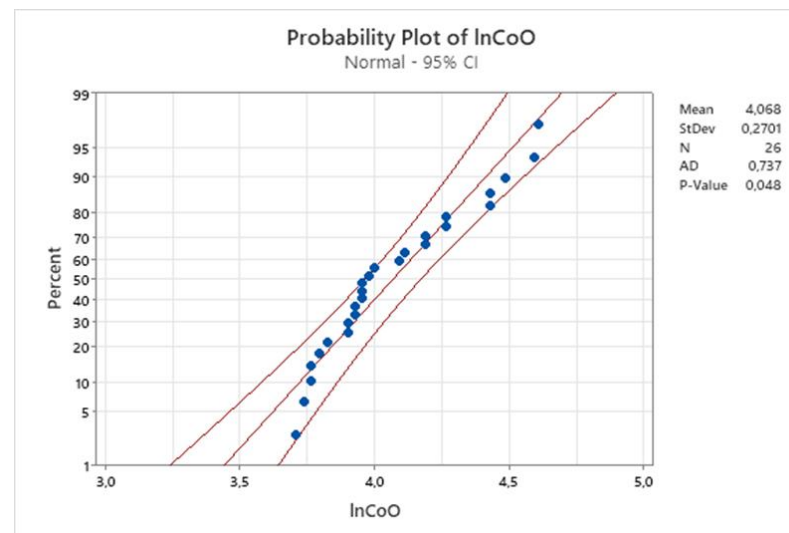
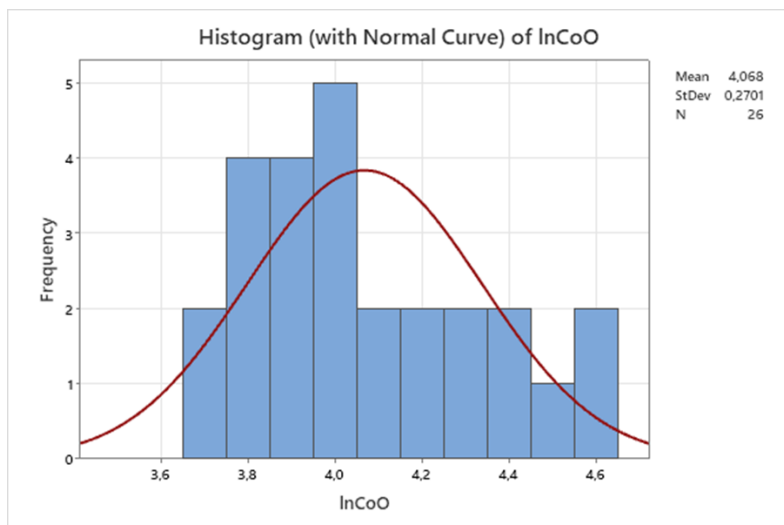


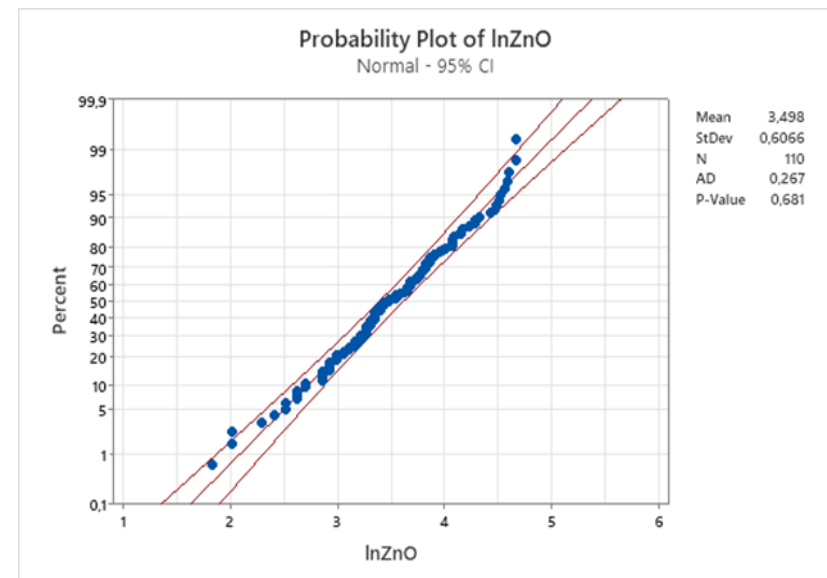
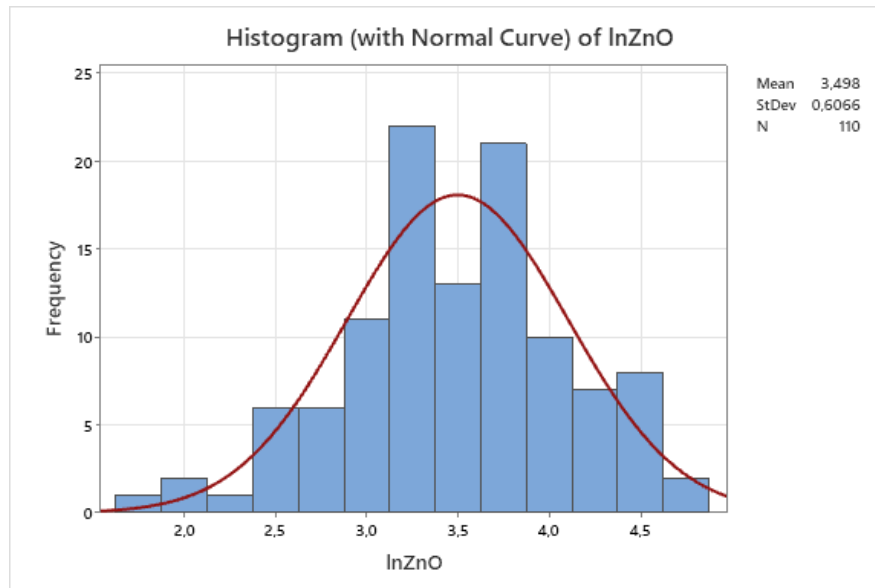
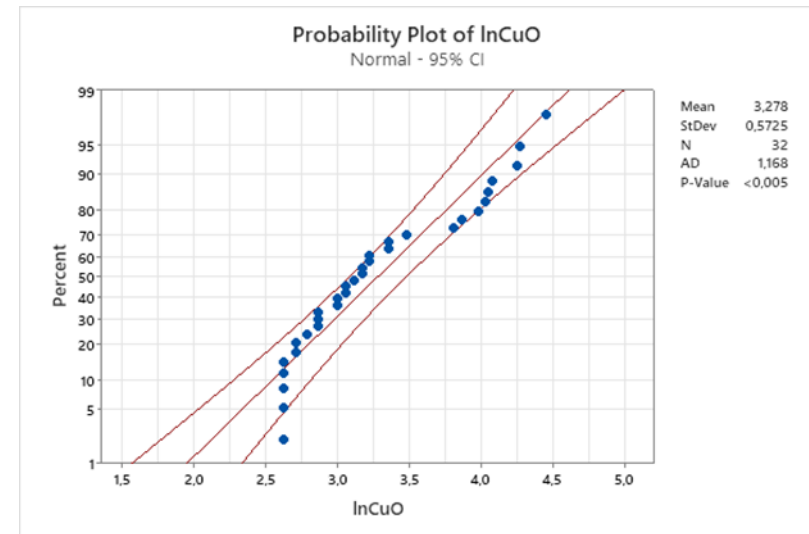
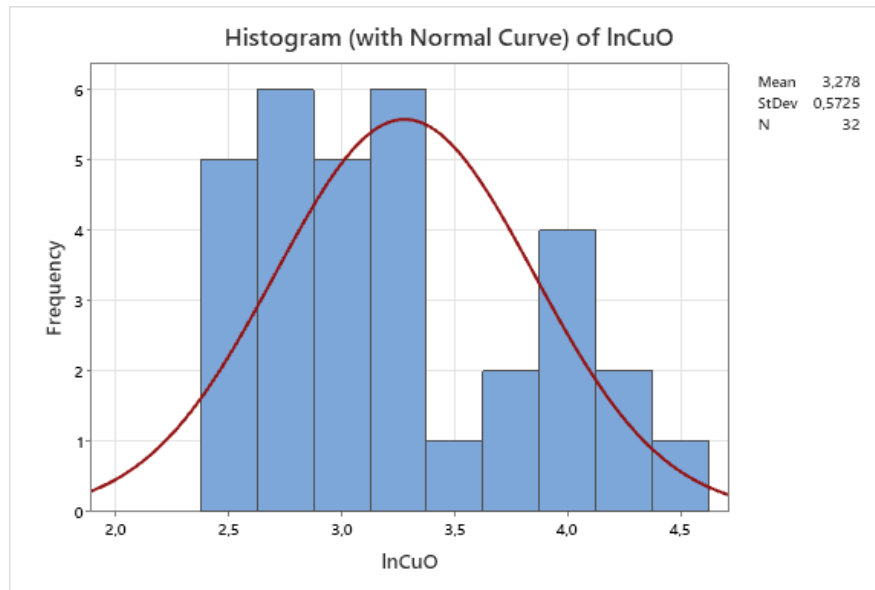


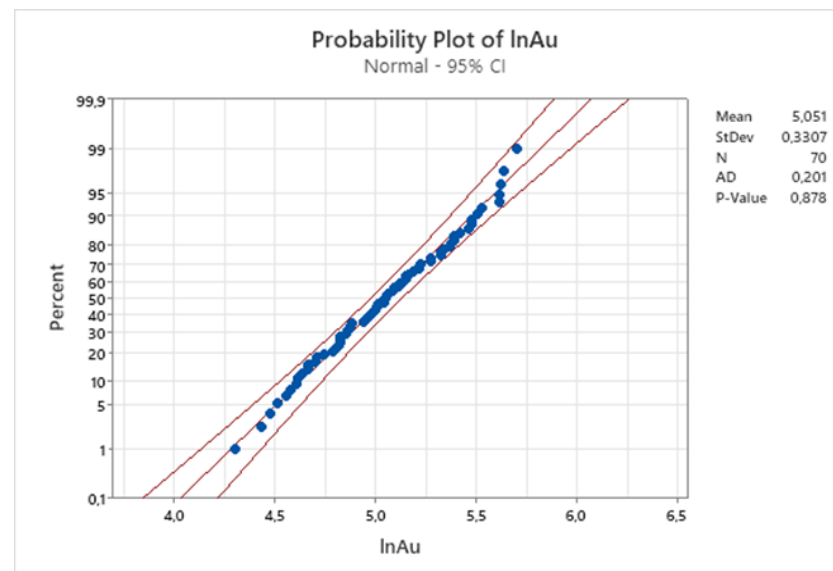
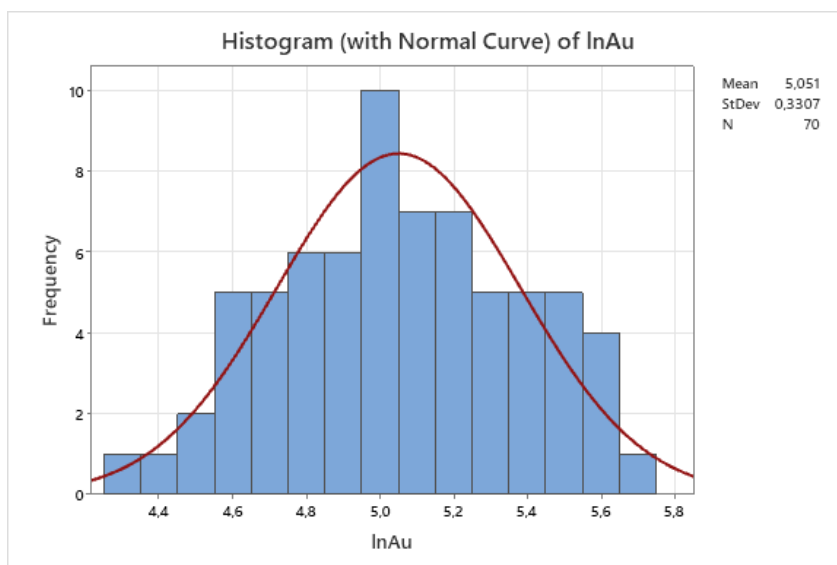
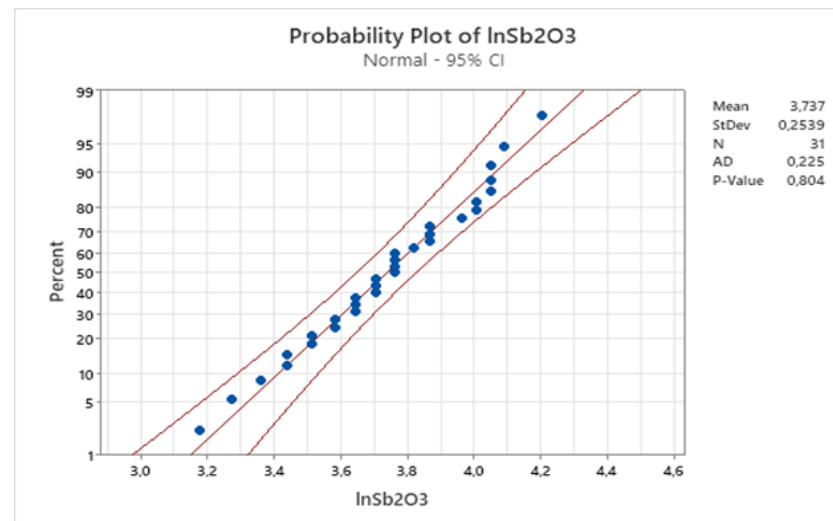
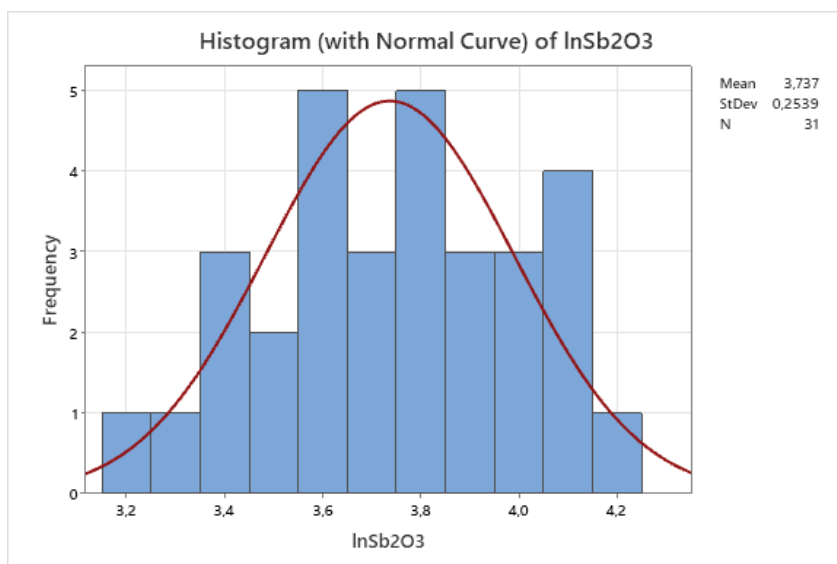


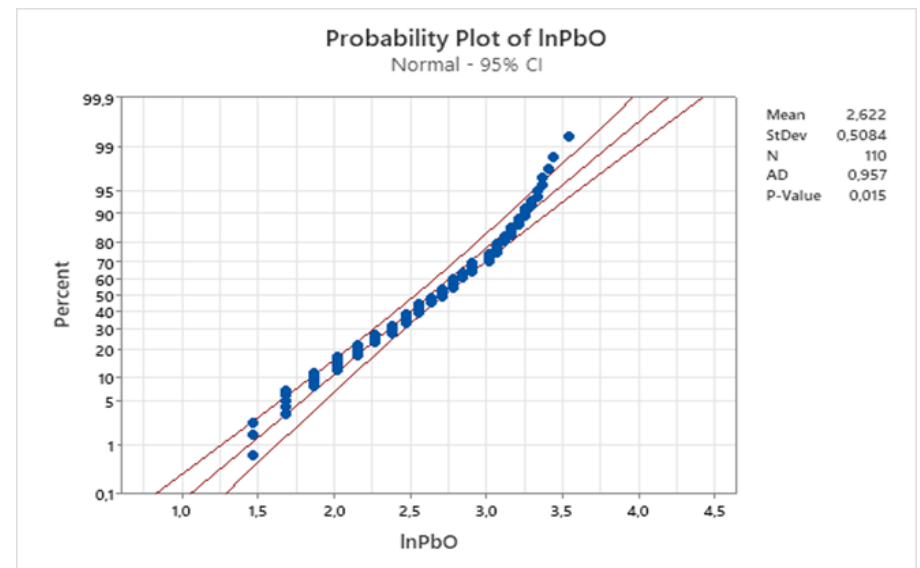
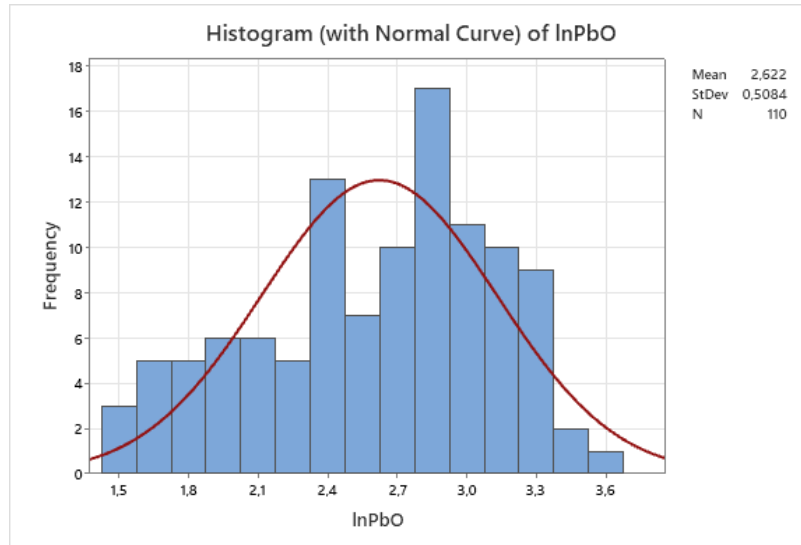






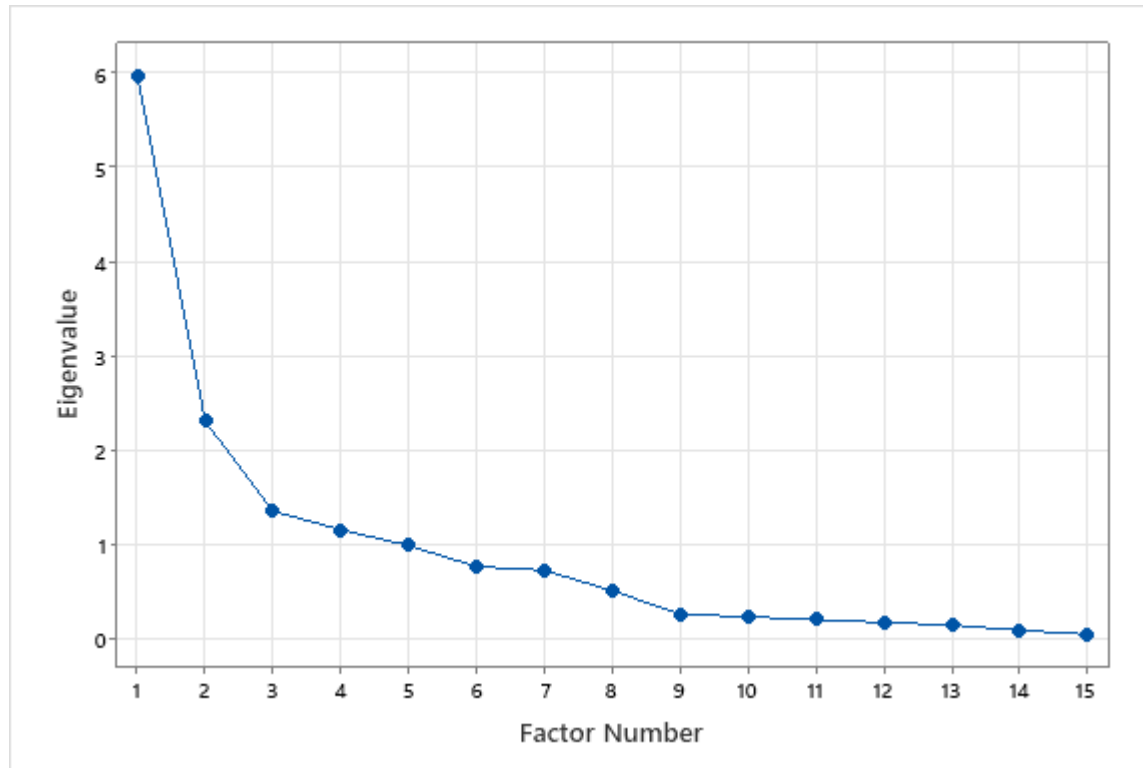








**8 O gráfico abaixo – Screen plot mostra a relação entre a distância de ligação e os factores extraídos por meio da análise factorial**



**1. Tabela dos resultados de análise laboratorial das amostras da área estudada**

%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
K2O	CaO	TiO2	V2O5	Sc2O3	Cr2O3	MnO	FeO	CoO	NiO	CuO	ZnO	Sb2O3	Au	PbO
3.289778	2.110703	1.263067	0.039988	714.7662	131.5468	1020.069	68834.9	61.03122	39.45038	53.82619	92.10883	0	196	18.31266
2.522444	1.166518	0.918018	0.093544	662.6159	84.77459	725.6693	55335.77	0	47.08593	45.06379	72.19341	0	0	9.694937
1.771734	0.98756	0.415294	0	361.9846	38.0024	419.6486	21906.34	0	0	0	23.64957	0	111	10.77215
2.898763	1.744251	0.392435	0.007141	361.9846	49.69545	512.6169	31509.98	0	0	0	39.83085	0	167	18.31266
2.277186	1.750967	0.385928	0.010711	555.2476	38.0024	591.3817	36821.9	52.13083	20.36149	0	46.05442	0	122	16.15823
3.25894	1.140213	0.657896	0.019994	309.8343	0	471.2977	24607.97	0	0	0	26.13899	0	252	20.46709
2.905268	1.090821	0.431979	0.021065	331.3079	0	353.7961	25773.53	59.75973	30.54223	0	28.62842	0	216	17.23544
4.264786	2.3627	1.354168	0.086403	607.3979	166.6259	995.5356	76430.33	0	68.72001	57.58151	98.3324	0	275	21.54431
2.310674	1.670932	2.53698	0.132104	0	0	1189.22	116845.4	0	43.26816	0	83.39584	0	220	17.23544
4.109873	1.317633	1.451109	0.088545	435.6086	204.6283	1172.434	79063.78	0	87.80891	58.83328	95.84298	0	276	18.31266
3.765115	1.382276	1.365347	0.078191	613.5332	154.9329	1265.402	73409.66	0	68.72001	71.351	75.92755	57.46124	274	29.08481
3.67212	1.09334	1.398384	0.076406	383.4583	207.5516	1400.981	82552.74	0	77.62816	70.09923	88.37469	40.70171	205	9.694937
3.289778	1.487217	0.392602	0.016424	343.5786	61.38849	439.017	24391.84	44.50193	20.36149	0	27.38371	55.06702	170	16.15823

2.497629	0.744238	0.54377	0.045344	0	0	597.8379	35872.47	0	38.17778	17.52481	39.83085	0	162	14.0038
0.31922	0.244022	0.183203	0.005356	0	20.46283	0	6983.064	0	0	0	0	0	0	0
2.563642	8.396638	0.957562	0.032133	0	169.5492	792.8131	60003.15	52.13083	69.99261	86.37226	54.76742	40.70171	184	8.617722
1.852924	0.431935	0.488542	0.068908	549.1122	55.54197	393.8241	26409.05	0	0	23.78367	18.67071	40.70171	0	6.463292
2.777339	1.077529	0.250778	0.01321	322.1049	0	275.0312	17540	0	0	0	21.16014	0	131	16.15823
1.679702	2.313728	0.585983	0	484.6913	52.61871	614.6238	31319.58	0	21.63408	15.02126	46.05442	57.46124	0	4.308861
2.128538	0.636919	0.237263	0.019994	0	26.30935	396.4065	16253.51	0	0	0	24.89428	31.12484	120	10.77215
2.478837	1.035973	0.308342	0.015353	0	0	510.0345	16690.91	0	0	0	23.64957	0	74	12.92658
3.463964	1.986454	0.74883	0.043201	463.2176	49.69545	747.6201	39585.28	100.4472	0	0	47.29913	0	215	24.77595
3.921955	2.082439	0.802723	0.018566	349.7139	43.84892	652.0694	29096.53	0	0	0	28.62842	0	299	26.93038
2.478837	1.215351	0.278309	0.014996	236.2103	0	338.3013	24812.52	0	0	0	27.38371	0	115	15.08101
1.844492	2.648418	0.449332	0.015353	681.0219	78.92806	641.7396	38679.59	54.6738	0	20.02835	53.5227	57.46124	132	15.08101
2.808177	0.84624	0.2708	0.016067	171.7893	0	273.74	13894.09	0	0	0	17.426	0	100	12.92658
3.903404	1.578165	0.877139	0.016424	0	0	643.0308	30166.89	0	20.36149	13.76949	37.34142	0	280	25.85317
3.061866	1.649105	0.644882	0.031062	392.6613	35.07914	717.9219	38575.38	0	0	0	46.05442	47.88436	236	20.46709
2.910086	1.369124	0.697774	0.036061	352.7816	38.0024	643.0308	32927.7	99.17572	0	0	38.58613	0	147	14.0038

2.038193	0.948522	0.695104	0	0	90.62111	705.0097	53119.15	0	21.63408	23.78367	90.86412	0	0	17.23544
1.8151	0.826931	0.645215	0.031419	0	26.30935	367.9995	20770.37	0	0	0	22.40485	33.51905	128	11.84937
2.704099	0.850158	0.28882	0	165.654	0	237.5857	11790.68	0	0	0	18.67071	31.12484	156	11.84937
3.809204	1.297764	1.59577	0.078548	475.4883	0	831.5498	44489.38	0	25.45186	16.27304	39.83085	0	219	23.69874
2.208524	1.382696	1.570074	0.085332	0	46.77218	1074.3	87961.14	0	25.45186	0	72.19341	0	173	22.62152
3.148357	1.92153	0.850276	0	0	70.15828	912.8971	49863.04	0	30.54223	0	68.45927	0	175	22.62152
2.511362	1.00561	0.385261	0	380.3906	38.0024	796.6867	28194.7	43.23044	0	0	63.48041	0	148	28.0076
2.995613	1.479241	0.666406	0.027492	334.3756	0	633.9922	35806.86	66.11715	27.99704	0	49.78856	0	186	24.77595
3.485165	1.153086	0.360733	0.019994	180.9923	0	654.6518	40801.01	0	27.99704	0	47.29913	0	179	25.85317
3.602493	1.368704	0.41496	0.016424	245.4133	0	933.5567	34866.44	0	19.08889	0	42.32028	38.30749	206	28.0076
3.837873	1.972601	0.615516	0.026421	558.3152	0	755.3675	46883.53	0	38.17778	0	64.72513	0	155	29.08481
2.908159	2.146103	0.640377	0.040345	527.6386	0	825.0937	50031.57	0	43.26816	13.76949	58.50156	59.85545	226	25.85317
3.565392	1.239697	0.817907	0.035347	306.7666	0	415.7749	22857.06	40.68748	0	0	28.62842	35.91327	140	24.77595
1.850997	1.123143	0.815237	0.050342	0	0	742.4552	44870.18	0	0	0	43.56499	28.73062	144	12.92658
2.328743	0.75809	0.158843	0.013567	0	26.30935	355.0873	19948.3	0	0	0	26.13899	0	196	31.23924
4.68712	1.314834	0.21941	0	190.1953	0	334.4277	16146.73	0	0	0	24.89428	0	184	30.16203

2.388974	0.861491	0.750833	0.059982	0	0	1005.865	52807.82	53.40231	0	0	28.62842	47.88436	155	21.54431
2.70964	1.825125	0.332035	0.012853	389.5936	64.31175	1563.675	27090.89	0	34.36001	13.76949	34.85199	0	157	16.15823
2.168772	2.061311	0.408954	0.029277	668.7512	49.69545	649.4869	24405.99	0	29.26964	21.28012	32.36256	33.51905	129	16.15823
1.690303	0.623906	0.093771	0	211.669	20.46283	0	9301.318	0	0	0	6.22357	35.91327	0	5.386076
2.354763	2.025072	0.8718	0.042844	760.7812	52.61871	1165.978	53371.3	50.85935	30.54223	20.02835	58.50156	55.06702	247	15.08101
2.825764	2.174367	1.301443	0.050342	598.1949	73.08154	1549.472	72853.89	0	38.17778	32.54607	87.12998	0	163	23.69874
2.18925	2.099509	1.017462	0.059982	791.4579	99.39089	1320.925	62372.87	0	38.17778	47.56733	105.8007	43.09593	110	15.08101
2.597611	1.285171	0.436818	0.015353	276.09	0	693.3886	33781.92	0	0	25.03544	44.8097	0	240	21.54431
2.261526	1.121884	0.401445	0.027135	407.9996	0	494.5397	26191.64	0	0	0	26.13899	23.94218	88	8.617722
2.950561	0.991338	0.207397	0.008569	134.9773	0	284.0698	11929.62	0	0	0	19.91542	43.09593	130	20.46709
2.591107	1.063257	0.284482	0.021779	282.2253	0	389.9504	17690.52	0	0	0	29.87314	0	209	22.62152
2.0088	1.945457	0.488041	0.026421	653.4129	58.46523	884.4901	40844.75	0	24.17926	0	49.78856	0	97	12.92658
4.606412	1.868361	0.553614	0.023921	223.9396	0	560.3923	32122.35	0	22.90667	0	38.58613	0	239	34.47089
1.666692	0.627964	0.224916	0.018209	377.3229	0	298.2733	15753.06	0	0	0	27.38371	45.49014	106	11.84937
2.471128	2.918745	2.301886	0.06748	837.4729	90.62111	1839.998	94526.09	83.91792	29.26964	0	99.57712	0	0	20.46709
1.80474	1.660858	0.839598	0.030705	444.8116	81.85132	906.441	47459.88	0	0	0	47.29913	0	0	11.84937

2.017955	0.91704	0.254115	0.026778	0	35.07914	451.9293	20569.68	0	0	0	23.64957	0	125	11.84937
3.525158	1.793503	0.354894	0.008569	269.9546	46.77218	663.6904	33470.59	0	20.36149	0	31.11785	0	145	21.54431
2.206356	1.662677	0.632368	0.021422	681.0219	52.61871	643.0308	33792.22	0	0	0	36.09671	43.09593	173	18.31266
2.667719	0.832808	0.48654	0.028206	343.5786	163.7026	788.9394	38738.77	50.85935	49.63112	28.79075	43.56499	0	0	23.69874
1.871234	0.808741	0.553781	0.040702	0	119.8537	622.3712	31208.95	0	29.26964	0	29.87314	0	125	16.15823
2.360304	0.683093	0.451501	0.021065	266.887	178.319	912.8971	42762.91	0	43.26816	13.76949	44.8097	0	158	15.08101
1.634891	0.428857	0.244771	0.01571	214.7366	137.3933	867.7042	40997.84	0	31.81482	0	28.62842	0	0	12.92658
1.929296	0.711497	0.304004	0.018566	0	102.3142	467.424	30703.36	0	26.72445	0	34.85199	0	0	17.23544
2.061562	1.351354	0.25812	0	518.4356	78.92806	355.0873	23006.29	45.77341	35.6326	0	22.40485	0	0	18.31266
2.328984	0.61789	0.158676	0.019994	0	0	153.656	8853.62	0	0	0	11.20243	0	84	11.84937
2.294774	1.210594	0.590488	0.02535	0	172.4724	401.5714	40602.89	0	47.08593	13.76949	52.27799	0	0	14.0038
1.562133	0.404511	0.191713	0	414.1349	70.15828	365.4171	12808.29	0	0	0	14.93657	0	0	8.617722
3.214851	0.845121	0.238598	0	147.248	64.31175	220.7997	13836.19	0	21.63408	0	13.69185	0	95	14.0038
1.316634	0.133344	0.557618	0.177804	174.857	0	1267.984	35866.04	0	26.72445	25.03544	42.32028	0	91	12.92658
1.338558	2.835772	0.392101	0.01321	273.0223	201.705	686.9325	36878.5	49.58786	62.35705	22.5319	58.50156	0	0	10.77215
2.137934	2.004923	0.621022	0.055341	690.2249	333.2518	770.8622	63602.75	71.20308	99.26224	56.32974	107.0454	0	142	21.54431

1.089686	1.1647	0.100945	0	217.8043	0	0	5284.898	0	0	0	7.468284	26.3364	0	8.617722
1.008496	0.590885	0.188542	0.02285	441.7439	105.2374	131.7051	12204.92	0	27.99704	0	26.13899	0	0	4.308861
0.803472	3.076715	0.296662	0	303.699	93.54437	413.1925	19225.3	43.23044	35.6326	0	24.89428	0	0	9.694937
0.84491	2.374314	0.15901	0.008212	579.7889	40.92566	287.9435	11265.79	0	20.36149	0	13.69185	0	0	7.540507
0.354154	1.054442	0.048888	0.004284	0	0	153.656	3443.932	0	0	0	7.468284	0	0	4.308861
0.988258	2.608961	0.161012	0	588.9919	67.23502	529.4029	15684.88	0	0	0	27.38371	0	0	11.84937
0.556528	1.977079	0.092102	0.003927	227.0073	32.15588	228.5471	7438.482	0	0	0	12.44714	0	0	6.463292
0.935256	3.079094	0.125806	0	282.2253	0	327.9715	11377.71	0	0	0	17.426	38.30749	0	9.694937
0.937424	1.510024	0.211735	0.004999	552.1799	61.38849	256.9541	14210.56	0	22.90667	0	18.67071	0	0	5.386076
1.165576	1.567811	0.065906	0.007498	1039.939	0	0	5548.629	0	0	0	12.44714	0	0	7.540507
1.532981	0.238705	0.378586	0.070336	0	93.54437	233.712	25234.49	0	0	0	19.91542	0	0	10.77215
1.867861	0.496438	0.354393	0.044273	0	143.2398	374.4557	38029.91	71.20308	21.63408	0	26.13899	0	124	15.08101
1.831	0.277043	0.440488	0.071764	211.669	163.7026	486.7924	68295.86	0	30.54223	0	46.05442	52.6728	106	5.386076
1.439745	0.353719	0.385261	0.074264	0	178.319	552.6449	54298.86	66.11715	19.08889	0	24.89428	0	101	7.540507
0.464496	1.923489	0.169354	0	184.06	29.23262	220.7997	11124.27	0	0	0	14.93657	0	0	6.463292
0.861534	2.89286	0.223081	0	236.2103	93.54437	352.5048	19958.6	83.91792	36.90519	0	28.62842	0	0	8.617722

0.654101	2.038224	0.349221	0	104.3006	43.84892	227.2559	13906.95	0	0	0	19.91542	0	0	6.463292
0.613144	2.110563	0.105951	0	190.1953	0	158.8209	10146.54	52.13083	20.36149	0	17.426	0	0	7.540507
0.597966	2.268114	0.137653	0	214.7366	0	235.0032	10214.73	0	0	0	21.16014	0	0	9.694937
0.785162	3.222653	0.223915	0.008926	450.9469	81.85132	436.4345	21526.83	0	34.36001	0	31.11785	67.03811	0	8.617722
1.077881	2.387186	0.220912	0.010711	819.0669	64.31175	324.0978	17538.71	49.58786	20.36149	0	17.426	0	0	5.386076
0.808531	1.845134	0.12931	0.007855	595.1272	35.07914	161.4033	12305.27	0	27.99704	0	18.67071	0	0	6.463292
1.396379	2.889781	0.55011	0	536.8416	122.777	705.0097	43344.4	0	49.63112	17.52481	58.50156	43.09593	0	5.386076
2.012173	0.61775	0.536094	0.04463	500.0296	336.1751	664.9816	55204.55	0	30.54223	0	29.87314	0	0	10.77215
2.929601	1.189186	0.227085	0	236.2103	61.38849	250.4979	17276.27	0	35.6326	15.02126	32.36256	0	168	21.54431
2.116974	1.175753	0.551779	0.024993	0	102.3142	510.0345	29443.88	0	29.26964	0	38.58613	38.30749	103	16.15823
2.786012	0.933131	0.492713	0	276.09	184.1655	559.1011	41539.46	0	36.90519	0	39.83085	47.88436	125	23.69874
2.614476	1.682826	0.758007	0.043916	518.4356	242.6307	844.4621	52757.64	41.95896	73.81038	17.52481	59.74627	0	151	26.93038
3.438426	1.595095	0.803391	0.047843	0	289.4029	915.4796	49361.31	0	85.26372	28.79075	63.48041	0	149	20.46709
1.857502	1.398507	0.098109	0	257.684	46.77218	235.0032	9563.762	0	0	0	9.957712	0	0	12.92658
1.668138	1.09376	0.326862	0.049985	613.5332	254.3238	1082.048	70960.18	89.00386	44.54075	21.28012	41.07556	0	0	10.77215
1.83606	1.964906	0.451	0	0	140.3166	436.4345	27578.47	0	33.08741	0	34.85199	0	0	7.540507



2.10035 2.089995 0.854781 0.023921 484.6913 239.7074 1105.29 43559.24 0 49.63112 0 29.87314 0 0 18.31266