



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Ciências

Departamento de Geologia

Licenciatura em Geologia Aplicada

Projecto Científico

Análise Prospectiva dos Elementos Radioactivos (U, Th, K) em Sedimentos de
Corrente no Distrito de Bárue, Província de Manica

Autora:

Cenissa Januário Zuanze

Maputo, Maio de 2024



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Ciências

Licenciatura em Geologia Aplicada

Análise Prospectiva dos Elementos Radioactivos (U, Th, K) em Sedimentos de
Corrente no Distrito de Bárue, Província de Manica

Autora:

Cenissa Januário Zuanze

Supervisores:

Supervisor: Prof. Doutor Estêvão Inácio Sumburane (UEM)

Co-supervisor: Doutor Vicente Albino Manjate (INAMI)

Maputo, Maio de 2024

Dedicatória

Dedico o presente trabalho de Licenciatura aos meus pais, Januário Macitela Zuanze e Cândida Navai Manhiça (em memoria) e a minha irmã Rosina Januário Zuanze Semo pelo apoio e conselhos durante o meu percurso académico.

Agradecimentos

À Deus, por tudo quanto tem feito por mim, pela sua graça que excede todo o entendimento e seu Amor.

À minha família, de modo especial ao meu filho Ilyan Chichache e meus irmãos Rosina, Alberto, Ana, Nelsa e Elidio, cunhados, em especial ao Agostinho Semo, sobrinhos, ao meu parceiro Feliz Chichache e sogros pelo seu amor, paciência e apoio incondicional que foram essenciais para minha motivação e bem-estar durante esse período desafiador.

A presente pesquisa é o culminar de um longo percurso, que contou com a colaboração preciosa e incansável de várias pessoas que se tornaram parte da minha vida, e que não poderia deixar de prestar os meus sinceros e merecidos agradecimentos.

- Aos meus Supervisores Prof. Doutor Estêvão Inácio Sumburane e Doutor Vicente Albino Manjate, pelas oportunidades, orientações e apoio ao longo dessa jornada académica e profissional. Suas contribuições, desafios e confiança alavancaram significativamente para meu crescimento e sucesso.
- Aos meus colegas de faculdade, Madania Monjane, Beatriz Cossa, Isaura Siteo, dr. Latifo Quimice, dr. Walter Machel, Joelma Naene, Cintia Chivale, Neyma Chirindza, Jardel, dra. Amelia Massingue, Lenilde Mabjaia, dra. Gladys Fumo, Susana Capete, Lélío Macuacua, agradeço pela parceria, colaboração e amizade ao longo desses anos de estudo. Nossos momentos de estudo em grupo, apoio mútuo foram essenciais para meu crescimento intelectual e académico.
- A minha amiga Joaquina Mahoze, e seu Parceiro, pelas correntes de oração, sem esquecer das minhas amigas Silvia Magaia e Benvinda Samula por espectarem pela realização deste sonho.
- Ao corpo Docente do Departamento de Geologia da Universidade Eduardo Mondlane (UEM), especialmente ao Prof. Doutor Jamal, Prof. Doutor Sumburane, Prof. Doutor Magaia, Prof. Doutor Massuanganhe, Prof. Doutor Mugabe, Mestre Laura, Metre Micaela, dr. Aristides Langa, Dr. Ibrahim, Dr. Unguana e ao dr. Siquela pelos conhecimentos transmitidos com muito entusiasmo e zelo.
- Ao corpo Técnico Administrativo do Departamento de Geologia em especial à dona Atália, Sr. Guiamba, e Sr. Raimundo.

A todos outros não mencionados que contribuíram de alguma forma.

Muito Obrigada!

Declaração de Honra

Eu, Cenissa Januário Zuanze, declaro por minha honra que o presente Projecto Científico é da minha autoria e que nunca foi submetido a qualquer instituição académica para obtenção de qualquer grau. Declaro ainda que este Projecto é resultado da minha entrega à investigação com o auxílio dos meus supervisores, elaborado com base no regulamento do Projecto Científico em vigor no Departamento de Geologia da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Maio de 2024

(Cenissa Januário Zuanze)

Resumo

A pesquisa na região do distrito de Bárue é de grande relevância devido ao potencial mineral que pode ser encontrado na área. As análises geológicas, geoquímicas e de teledeteção forneceram conhecimentos valiosos sobre a distribuição e a natureza das anomalias de Urânio (U), Tório (Th) e Potássio (K), indicando áreas de interesse para futuras explorações mineiras. A pesquisa concentrou-se na análise de dados geoquímicos de sedimentos de corrente usando um gamaespectrômetro portátil. Neste trabalho foram processadas 62 amostras que forneceram dados mais detalhados em relação aos que existiam, pelo que, esta contribuição poderá fornecer agora mais detalhes para estudos mais aprofundados e valiosos para a prospecção mineral. Foi feita a integração de dados, utilizando métodos geoestatísticos e técnicas de SIG, que permitiram uma compreensão mais completa da distribuição das anomalias e dos possíveis controles geológicos e estruturais da área de estudo. É importante destacar que as anomalias de U, Th e K estão associadas a diferentes rochas e solos da região, o que sugere a presença de diferentes processos químico-geológicos que influenciam na sua ocorrência e mobilidade. Além disso, a identificação de estruturas como um controle das anomalias ressalta a importância da tectônica na formação e distribuição desses depósitos minerais. As anomalias detectadas foram sobrepostas ao mapa geológico do GTK 2006 e constatou-se que as anomalias de Th predominam em granito-gnaiss (P3ROgm), quartzito sacaroide, xisto quartzito (P1Zqs). As de U estão associadas a xisto muscovítico-biotítico (P1Zss), gnaiss, granodiorito com bandas anfibólicas (A3Mqd) e xisto moscovítico biotítico (P1Zss). As de K estão em gnaiss TTG (A3Mgn), em contacto com quartzito sacaroide, xisto quartzito (P1Zqs) o que sugerem que as anomalias foram controladas pelas litologias.

Por outro lado, constatou-se que a topografia desempenhou um papel relevante das mesmas, ilustrando que as anomalias de Th ocorrem predominantemente em zonas baixas, as de K e U em zonas de declive. O mapa de “prospetividade” permitiu identificar áreas com maior potencial para ocorrências de U, Th e K, uma ferramenta que poderá ser útil para empresas de mineração e instituições governamentais na planificação de atividades de exploração mineira de forma mais eficiente e direcionada, podendo ajudar na optimização dos recursos e minimização dos riscos associados à exploração mineral.

Palavras-chave: sedimentos de corrente, análise estatística, anomalias geoquímicas, radioelementos, distribuição espacial.

Abstract

Research in the Bárue district region is of great relevance due to the mineral potential that can be found in the area. Geological, geochemical and remote sensing analyzes provided valuable knowledge about the distribution and nature of Uranium (U), Thorium (Th) and Potassium (K) anomalies, indicating areas of interest for future mining exploration. The research focused on analyzing geochemical data from stream sediments using a portable gamma spectrometer. In this work, 62 samples were processed, providing more detailed data in relation to those that existed. Therefore, this contribution can now provide more details for more in-depth and valuable studies for mineral prospecting. Data integration was carried out, using geostatistical methods and GIS techniques, which allowed a more complete understanding of the distribution of anomalies and possible geological and structural controls in the study area. It is important to highlight that U, Th and K anomalies are associated with different rocks and soils in the region, which suggests the presence of different chemical-geological processes that influence their occurrence and mobility. Furthermore, the identification of structure as a control of anomalies highlights the importance of tectonics in the formation and distribution of these mineral deposits. The detected anomalies were superimposed on the GTK 2006 geological map and it was found that Th anomalies predominate in granite-gneiss (P3ROgm), saccharoid quartzite, quartzite schist (P1Zqs). Those of U are associated with muscovitic-biotitic schist (P1Zss), gneiss, granodiorite with amphibolic bands (A3Mqd) and biotitic muscovitic schist (P1Zss). Those of K are in TTG gneiss (A3Mgn), in contact with saccharoid quartzite, quartzite schist (P1Zqs) which suggests that the anomalies were controlled by lithologies. On the other hand, it was found that topography played a relevant role in them, illustrating that Th anomalies occur predominantly in low areas, K and U in slope areas. The “prospectivity” map made it possible to identify areas with greater potential for occurrences of U, Th and K, a tool that could be useful for mining companies and government institutions in planning mining exploration activities in a more efficient and targeted way, and could help in optimizing resources and minimizing risks associated with mineral exploration.

Keywords: stream sediments, statistical analysis, geochemical anomalies, radioelements, spatial distribution.

Índice

<i>Dedicatória</i>	I
Agradecimentos	II
<i>Declaração de Honra</i>	III
Resumo	IV
Abstract.....	V
Lista de Figuras	VI
Lista de Tabelas	VII
Lista de anexos	VII
Abreviaturas.....	VIII
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	2
1.2 Problematização.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Geral:	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Relevância do projecto	3
CAPÍTULO II: METODOLOGIA	4
2.1 Pesquisa bibliográfica.....	4
2.2 Dados de sedimento de corrente.....	5
2.3 Processamento de dados	7
2.3.1 Imagens SRTM.....	7
2.3.2 Dados Geológicos.....	8
2.3.3 Integração e Interpretação de Dados	8
CAPÍTULO III - ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO	9

3.1	Localização Geográfica	9
3.1.1	Clima e Hidrografia.....	10
3.1.2	Solos	10
3.1.3	Fauna e flora	11
3.1.4	População	12
3.2	Geologia Regional	12
3.2.1	Cratão do Zimbabwe	14
3.3	Geologia Local	15
3.3.1	Complexo Metamórfico de Mudzi (CMM).....	16
3.3.2	Complexo de Mavonde.....	16
3.3.3	Grupo de Gairezi.....	16
3.3.4	Complexo de Bárue.....	17
3.3.5	Fanerozoico.....	17
CAPÍTULO IV - FUNDAMENTOS TEÓRICOS		18
4.1	Análise Estatística	18
4.1.1	Medidas de Dispersão e de Assimetria.....	18
4.1.2	Distribuição Normal e Lognormal.....	19
4.1.3	Método de Interpolação <i>IDW (Inverse Distance Weighting)</i>	19
4.1.4	Prospecção Geoquímica	19
4.1.5	Principais utilizações do método gamaespectrométrico	21
4.1.6	Distribuição dos Elementos Radioativos nas Rochas.....	21
4.1.7	Sedimento de Corrente	21
CAPÍTULO V- RESULTADOS		22
5.1	Dados Geoquímicos.....	22
5.1.1	Análise Exploratória de dados e Teste de Normalidade.....	22
5.1.2	Determinação de Limiares Geoquímicos	25

5.1.3 Análise da distribuição espacial das concentrações de anomalias geoquímica.....	26
5.1.4 Interpolação por <i>IDW (Inverse Distance Weighting)</i>	28
5.1.5 Análise litológica.....	30
5.1.6 Análise dos solos e meteorização	32
5.1.7 Análise de estrutura geológica.....	34
5.1.8 Análise topográfica em mapa de relevo	36
5.1.9 Mapa de prospectividade das concentrações geoquímicas de U, Th e K.....	38
CAPÍTULO VI- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	39
6.1 Conclusões.....	42
6.2 Recomendações	44
Referências Bibliográficas.....	45

Lista de Figuras

Figura 1: Fluoxugrama de actividades. Fonte: autora.....	5
Figura 2: Mapa de amostragem de sedimentos de corrente da área de estudo. Fonte: autora.....	6
Figura 3: Mapa de localização geográfica, ilustrando as vias de acesso, os rios e a informação administrativa da área de estudo. Fonte: autora.....	9
Figura 4: Enquadramento tectónico Pré-cambriano da África Austral. Modificado de Hanson (2003).....	13
Figura 5: Mapa geológico ilustrando as unidades litológicas e estruturais da área de estudo (adaptado de Norconsult Consortium, 2007).	15
Figura 6: Distribuição espacial das concentrações de Urânio, Tório e Potássio. Fonte: autora.....	27
Figura 7: Interpolação por <i>IDW (Inverse Distance Weighting)</i> das concentrações de Urânio Tório e Potássio. Fonte: autora.	29
Figura 8: Distribuição espacial das concentrações anómalas de Urânio, Tório e Potássio em função da geologia. Fonte: autora.	31
Figura 9: Mapa integrado de solo e concentrações anómalas de Urânio, Tório e Potássio. Fonte: autora	33
Figura 10: Mapa integrado de estruturas geológica em relação a litologia e concentrações de Urânio, Tório e Potássio. Fonte: autora	35
Figura 11: Imagem do relevo sombreado usada para interpretação das anomalias das concentrações de U, Th, K e a sua relação com o relevo, obtidas usando azimutes de iluminação do sol de 315 graus e 60 graus e inclinação de iluminação. Fonte: autora.....	37
Figura 12: Mapa de prospectividade das concentrações geoquímicas de Urânio ,Tório e Potássio. Fonte: autora	38

Lista de Tabelas

Tabela 1: Diferentes concentrações das principais fontes de radiação gama (modificada de Dickson & Scott 1997).....	20
Tabela 2: Testes de normalidade de dados brutos e dados log-transformados das concentrações de U, Th, K	23
Tabela 3: Sumário estatístico de dados log-transformados de concentrações de U, Th, K em sedimentos de corrente.	24
Tabela 4: Determinação de Limiares geoquímicos através de percentis.....	25

Lista de anexos

- Anexo 1-** Histogramas ilustrando a distribuição de logaritmos naturais de concentrações de U, Th, e K, em amostras de sedimentos de corrente.
- Anexo 2-** Resumo estatístico dos dados brutos.
- Anexo 3-** Tabela de dados brutos e log-tranformados de sedimentos de corrente.
- Anexo 4-** Mapas geoquímico com delimitação de áreas anómalas de concentrações de U, Th e K.

Abreviaturas

CM	Cinturão De Moçambique	UTM	Universe Transverse Mercator
INAMI	Instituto Nacional de Minas	USGS	United States Geological Survey
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission	WGS	World Geodetic System
SIG	Sistema de Informação Geográfica		

Símbolos

K	Potássio	N	Norte
U	Urânio	S	Sul
Th	Tório	W	Oeste

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

I- INTRODUÇÃO

O presente trabalho insere-se no âmbito da colaboração institucional entre Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane e o Instituto Nacional de Minas (INAMI), realizado ao abrigo dos Protocolos de Cooperação entre as duas instituições.

Este Projecto Científico (PC), tem como objectivo o estudo das anomalias geoquímicas das concentrações de U, Th e K do Distrito de Bárue, no posto Administrativo de Nhampassa, Província de Manica no centro-oeste da República de Moçambique.

De acordo com GTK (2006), a área de estudo está inserida na folha 732 Bàrue, na Escala 1:50 000, que consiste em rochas de idade arcaica do Complexo de Mudzi, rochas de idade paleoproterozóica do grupo de Gairezi e rochas de idade neoproterozóicas da suite de Guro com aluviões do quaternário.

Para se alcançarem os objectivos deste trabalho foi usada a técnica gamaespectrômetria terrestre para análise do comportamento das concentrações dos elementos urânio (U), tório (Th), e potássio (K) em sedimentos de corrente. Foi feita a integração de dados geoquímicos de sedimentos de corrente com dados de Teledeteção e SIG, e dados Geológicos. Com base em métodos estatísticos foram determinados os limiares dos elementos em estudo, os resultados foram projectados em mapas geoquímicos através do método de interpolação geoestatístico *IDW (Inverse Distance Weighting)* para avaliar a distribuição espacial de anomalias geoquímicas. Os dados geológicos permitiram relacionar as rochas, o tipo de solo a meteorização. O processamento e integração de dados de Teledeteção e SIG foram usados para extrair a rede de drenagem e elaborar mapas de relevo sombreado, para auxiliar na interpretação de anomalias geoquímicas a fim de gerar alvos e produzir mapas de prospectividade geoquímico de concentrações de U, Th e K.

O presente projecto científico representa o culminar de estudos e um dos requisitos para a obtenção do grau de licenciatura em Geologia Aplicada na Universidade Eduardo Mondlane (UEM).

1.1 Contextualização

Os Sedimentos de corrente podem representar depósitos que reflectem a história geológica e hidrodinâmica de uma determinada região, podendo conter informações valiosas sobre os processos de erosão, transporte e deposição de materiais ao longo do tempo.

A área de estudo consiste em rochas de idade arcaica do Complexo de Mudzi, rochas de idade paleoproterozóica do Grupo de Gairezi e rochas de idade neoproterozóicas da suite de Guro com aluviões do quaternário. Os elementos U e Th são elementos incompatíveis e pertencem ao grupo dos litófilos (LILE) que devido a sua maior carga têm substituído o K nos feldspatos das rochas ígneas mais evoluídas, como é o caso das rochas graníticas. Actualmente não existem estudos detalhados com a integração de dados que possam proporcionar uma interpretação mais efectiva das anomalias das concentrações geoquímicas de Urânio (U), Tório (Th). Neste contexto, no presente trabalho fez-se uma análise do comportamento desses elementos (Urânio, Tório e Potássio), visando a identificação das suas anomalias geoquímicas na região de estudo e fez-se a integração dos dados geoquímicos de sedimentos de corrente, dados de Teledeteção e SIG e dados geológicos, processando-os com base em métodos estatísticos que permitiram a sua caracterização estatística e determinar os limiares geoquímicos.

1.2 Problematização

A falta de estudos geológicos com a integração de dados geoquímicos de sedimentos de corrente, de Teledeteção e SIG e dados geológicos para a determinação das anomalias geoquímicas de elementos de interesse, como é o caso de U, Th e K para a pesquisa e prospecção geológica em sedimentos de corrente, especialmente na área de estudo, com aplicação de métodos radioactivos, se julgou oportuno ao uso do Gamaespectrômetro Portátil RS-125/230, é um instrumento que permite medir as concentrações de elementos radioactivos, como é o caso de U, Th e K. Sem um contexto geológico adequado, torna-se desafiador compreender plenamente os processos que influenciam a distribuição e concentração dos radioelementos nos sedimentos de corrente.

Outro factor a observar, é a carência significativa de trabalhos que explorem o uso dos elementos radioactivos como ferramentas de análise em estudos geoquímicos. Esses elementos são fundamentais para compreender os processos geológicos e ambientais que moldaram a paisagem e influenciaram a composição dos sedimentos de corrente. A ausência de investigações prévias que utilizem especificamente os elementos radiogénicos pode limitar a contextualização e a interpretação adequada dos resultados da pesquisa.

1.3 Objetivos

Para se alcançarem os objectivos deste trabalho, os mesmos foram divididos em:

1.3.1 Geral:

Para identificar as concentrações anómalas de U, Th e K, seus respectivos controles topográficos, estruturais, litológicos, e de meteorização.

1.3.2 Objetivos específicos

- Distribuir espacialmente as anomalias geoquímicas de concentração de U, Th e K;
- Interpolar dados através *IDW (Inverse Distance Weighting)* produzindo mapas geoquímicos de concentrações de U, Th, e K;
- Sobrepor áreas de distribuição espacial das anomalias geoquímicas aos mapas topográficos, estruturais, litológicos e meteorização;
- Avaliar as anomalias geoquímicas U, Th e K sobre o controle topográficos, estruturais, litológicos e meteorização;
- Elaborar mapa de prospectividade das concentrações geoquímicas de U, Th, e K.

1.4 Relevância do projecto

O estudo proposto é de extrema importância científica, uma vez que poderá contribuir para o conhecimento sobre a distribuição espacial das anomalias geoquímicas de modo a permitir estabelecimento da relação existente entre os elementos urânio (U), tório (Th) e potássio (K) e a geologia da área de estudo, contribuindo desta forma na atualização e no enriquecimento da informação geológica, através da elaboração de mapa de prospectividade destes elementos para ajudar no direcionamento dos trabalhos em zonas com anomalias com vista a descobrir novas áreas com potencialidade econômica.

CAPÍTULO II: METODOLOGIA

Para responder aos objectivos do presente trabalho foi usado um conjunto de materiais e dados de revisões bibliográficas: cartas geológicas; jazigos; hidrográficas; topográficas na escala 1:50 000; Modelo Digital de Terreno do Sensor *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* e softwares da *Microsoft (MS-Excel e Word)*; *ArcGis 10.8*; *Minitab 19*, *Surfer 11.1*, *IBM SPSS Statistics 25* e *PAST*.

A metodologia usada à volta do tema: *Análise Prospectiva dos elementos Radioactivos (U, Th, K) em Sedimentos de Corrente no Distrito de Bárue, Província de Manica*, obedeceu as seguintes fases:

2.1 Pesquisa bibliográfica

Esta fase consistiu na revisão de literatura, dissertações sobre aspetos relacionados com o trabalho. Consulta 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, tendo sido também adquirida na internet.

A seguir apresenta-se um fluxograma de atividades detalhando o processo passo a passo.

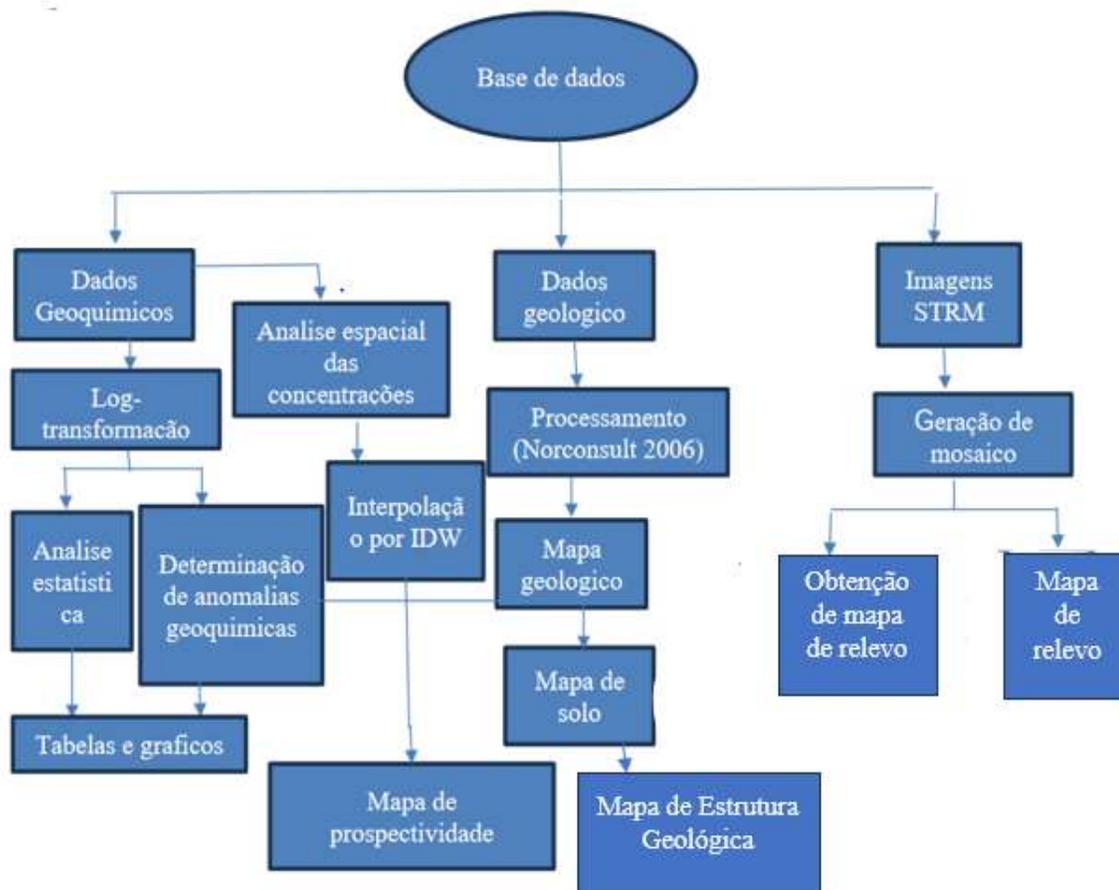


Figura 1: Fluoxograma de actividades. Fonte: autora

2.2 Dados de sedimento de corrente

Os técnicos do Instituto Nacional de Minas (INAMI) fizeram medições de concentrações de K (%), U (ppm) e Th (ppm) em sedimentos de corrente que foram feitas usando o gamaespectrômetro portátil RS-125/230. As medições foram feitas em 62 pontos tentando estabelecer uma densidade de 2 à 3 pontos por 10km².

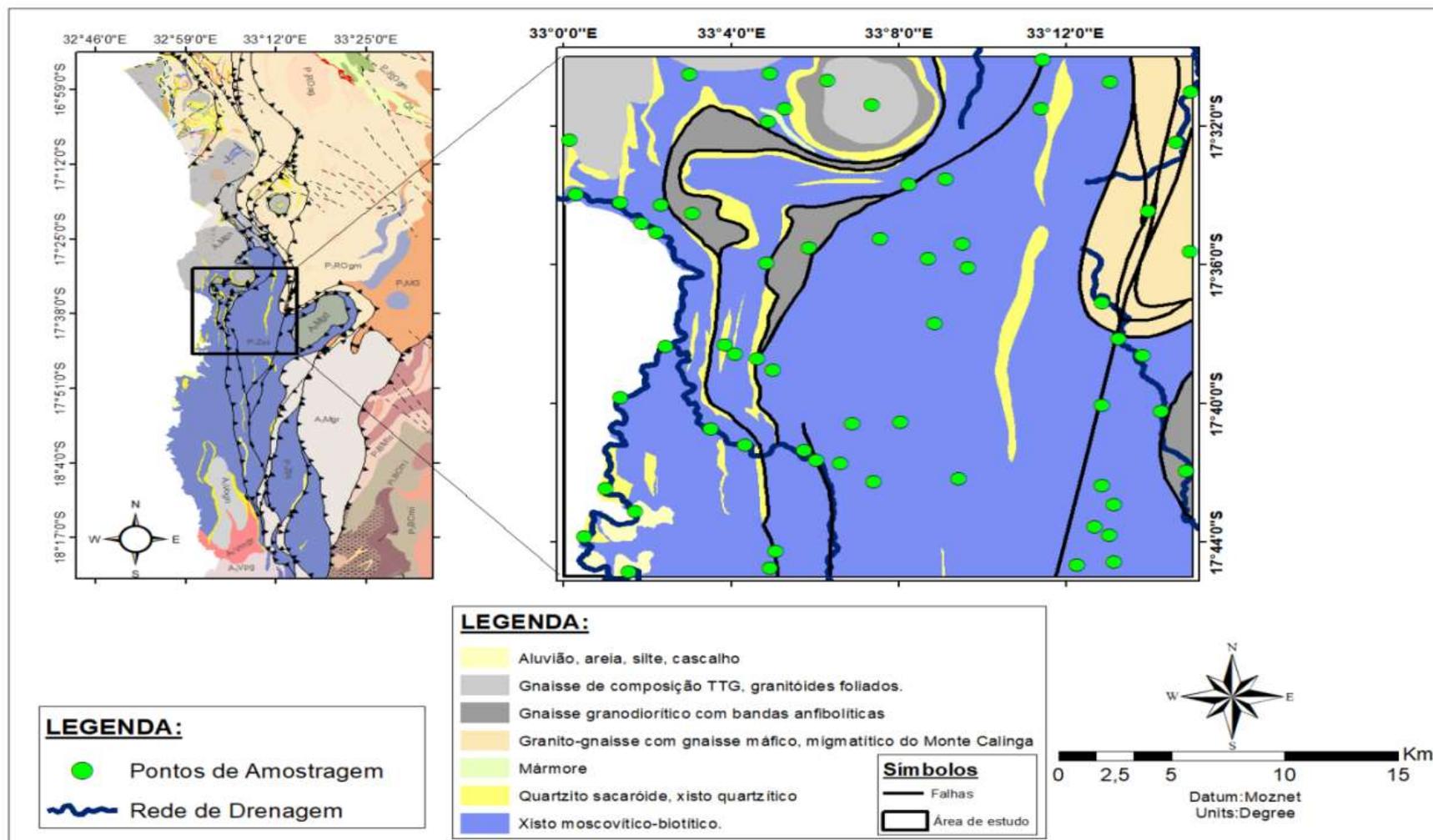


Figura 2: Mapa de amostragem de sedimentos de corrente da área de estudo. Fonte: autora.

2.3 Processamento de dados

Antes de proceder qualquer processamento estatístico dos dados, o primeiro aspeto que foi considerado foi a análise exploratória dos dados de sedimentos de corrente no que tange a análise do teste de normalidade, uma vez que a análise de dados geoquímicos por técnicas estatísticas necessita de procedimentos adequados de modo que, os dados analisados representem condições mais próximas às do terreno. Assim sendo, deve-se dar especial atenção aos dados censurados que podem ter resultado de não análise do conteúdo de um determinado elemento, não sendo necessariamente que esta amostra não contenha concentrações deste elemento.

Deste modo, houve necessidade de aplicar este procedimento a fim de proceder com os cálculos estatísticos. A base de dados foi organizada numa tabela de *Microsoft Excel 2013* e, foi feito o processamento estatístico que antes se iniciou com a transformação logarítmica dos dados brutos de concentrações dos elementos químicos (U, Th, K) com recurso a ferramenta *Microsoft Excel 2013* e *PAST*, com vista a reduzir a assimetria e acomodar os dados a uma distribuição mais próxima da lognormal (Webster et al. 2007).

A aplicação da estatística elementar clássica se fundamenta na estimativa de parâmetros estatísticos que caracterizam de maneira geral os conteúdos log-transformados de cada um dos elementos indicadores investigados, de maneira que se obteve os parâmetros estatísticos tais como: mínimo, máximo, média, desvio padrão, variância, mediana, coeficiente de variação. Os métodos estatísticos foram empregues num conjunto de 62 amostras e, se fundamentaram na estimação de parâmetros estatísticos que caracterizaram de uma forma muito generalizada os dados das variáveis log-transformadas. Os dados para estimação de fundos geoquímicos e análise estatística bivariada foram processados no *PAST*, *Microsoft Excel 2013*.

2.3.1 Imagens SRTM

As imagens *SRTM* necessárias para abranger toda área de estudo foram aglutinadas para gerar um mosaico, processo realizado no programa *ArcGIS 10.3*. A extração automática da rede de drenagem e das bacias hidrográficas menores foi feita usando um limiar do fluxo acumulado de 3000, definido de acordo com o grau de detalhe desejado, no programa *ArcGIS 10.3*. A rede de drenagem extraída foi convertida para a extensão *KML* (do inglês, Keyhole Markup Language), importada e comparada visualmente com a rede de drenagem em tempo real fornecida pelo *Google Earth*, o que revelou

consistência entre ambas. As imagens *SRTM* foram úteis para obter imagens sombreadas do relevo, onde foi usado azimute de iluminação do sol de 315 graus e uma inclinação de iluminação do sol de 60 graus.

2.3.2 Dados Geológicos

A compilação do mapa geológico na escala de 1:50 000 foi realizada pelo consórcio constituído pela *Norconsult International of Norway*, pelos serviços de Pesquisa Geológica Britânica (*BGS*) e da Noruega (*NGU*). O mapa é baseado em observações de campo, análises petrográficas e geoquímicas, dados de sensoriamento remoto.

2.3.3 Integração e Interpretação de Dados

Os resultados obtidos no processamento de dados geoquímicos foram interpretados de forma isolada, depois integrados com os dados de sensoriamento remoto e dados geológico para finalmente os interpretar em conjunto, tendo como base as informações geológicas da área de estudo. A integração e a interpretação de dados foram feitas mediante a sobreposição dos mapas de anomalias geoquímicas com o mapa de estruturas, mapa geológico, litológico, e de relevo, a fim de verificar se existe correlação espacial entre as anomalias geoquímicas, com as estruturas, litologias, solos e relevo mapeadas na área de estudo.

Os resultados obtidos em todas as fases, nomeadamente a pesquisa bibliográfica, o processamento de dados, a integração e a interpretação de dados foram na última fase dos trabalhos, os resultados foram avaliados e validados.

CAPÍTULO III - ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO

Este capítulo apresenta o enquadramento geográfico, geológico, hidrogeológico, climático, relevo, solos e caracterização mineralógica.

3.1 Localização Geográfica

O Posto Administrativo de Nhampassa localiza-se na província de Manica no distrito de Bárue, com uma área de 1.376 km² que é limitado por Norte pelo distrito de Guro, a Sul é delimitado pelos postos administrativo de Choa e Catandica, e a Este pelo distrito de Macossa (figura 3).

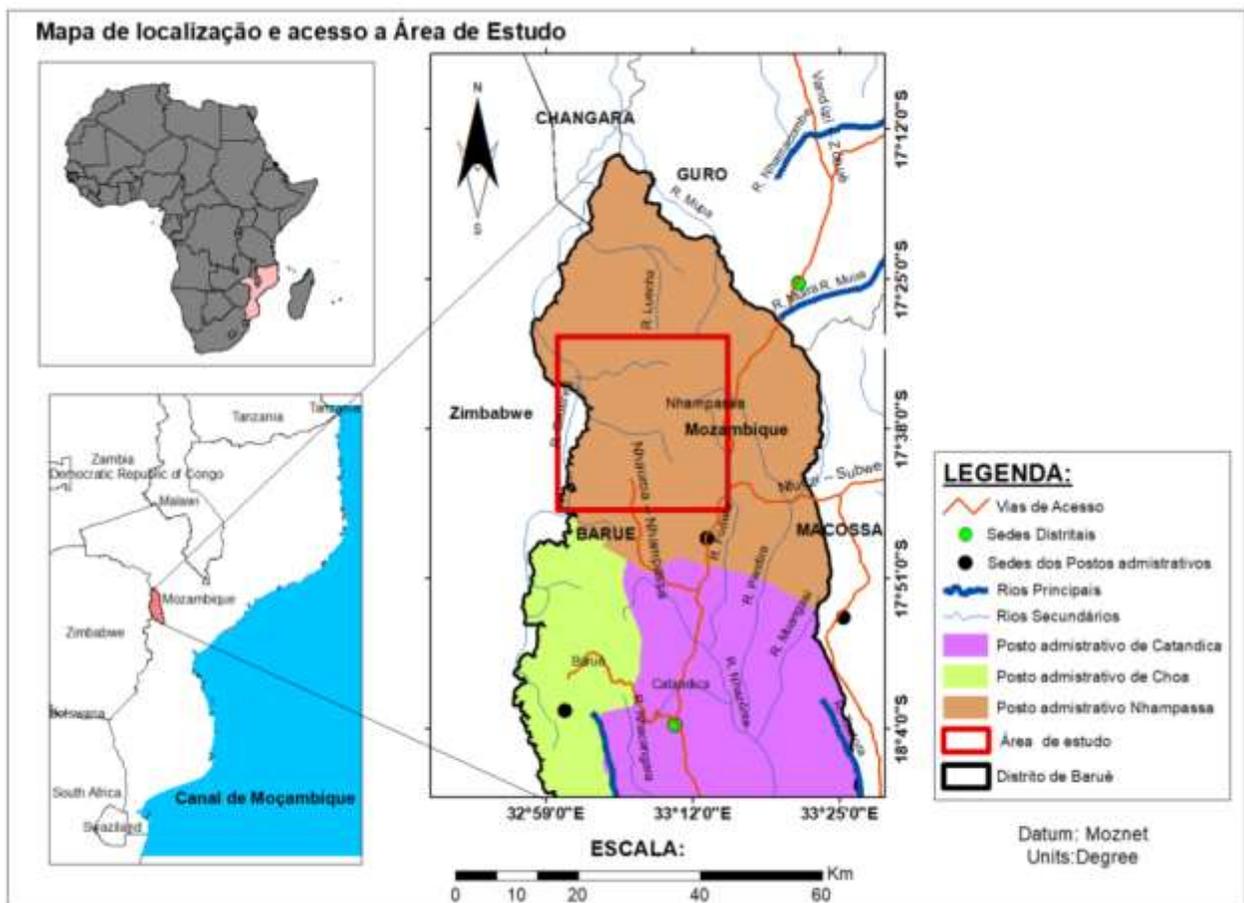


Figura 3: Mapa de localização geográfica, ilustrando as vias de acesso, os rios e a informação administrativa da área de estudo.

Fonte: autora.

3.1.1 Clima e Hidrografia

A região de Nhampassa caracteriza-se predominantemente por um clima tropical temperado chuvoso de montanha, com duas estações bem distintas, chuvosa e seca muito frio. Portanto o clima é modificado por fator de altitude, com temperatura média que variam entre 20° à 26°C.

A precipitação média anual na estação mais próxima do posto administrativo é cerca de 1.591 mm, enquanto a evapotranspiração potencial média anual está na ordem dos 1.240 mm (MAE 2005: 2). A maior queda pluviométricas ocorre sobretudo no período compreendido entre novembro de um ano e abril do ano seguinte, variando significativamente na quantidade e distribuição, de 1.000 a 1.400 mm na região planáltico.

Portanto quanto a Hidrografia o Posto Administrativo de Nhampassa-sede caracteriza-se por apresentar uma fraca rede hidrográfica, sendo drenado pelos seguintes rios: Nhadue, Nhamaiasse, Fudze, Nhampassa e Phandira este último rio como sendo o rio mais grande da região (MAE 2005:2).

3.1.2 Solos

No que diz respeito os aspetos pedológicos o solo como sendo a camada superficial da litosfera constituindo o meio natural para o crescimento das plantas, as geoforma de terreno derivam vários agrupamentos de solos, destacando-se os agrupamentos de solos argilosos vermelhos, como sendo o solo predominante do posto administrativo de Nhampassa com uma boa capacidade de retenção de nutrientes e água e também os solos arenosos vermelhos e solos vermelhos de textura média, e ainda os litólicos. Estes solos com exceção dos litólicos, são em geral, moderadamente profundos a muito profundos, enquanto os arenosos são pouco férteis (MAE 2005:2).

Estes agrupamentos de solos são localmente recortados por cursos de água que constituem a rede de drenagem natural onde ocorrem solos mais recentes.

A principal característica física do solo é a textura do solo, estando bastante relacionada com a utilização e produtividade do solo. A textura diz respeito às dimensões e características das partículas primárias do solo, essas partículas são agrupadas em função do tamanho, porém apresentam características comuns.

Fração Areia é constituída quase que essencialmente de quartzo, apresenta aspereza ao tacto, é responsável pelo aparecimento de macro-poros e, portanto, pela aeração do solo, retêm pouca água e poucos nutrientes.

Fração Argila constituída em sua maior parte por minerais de argila, apresenta sensação de untuosidade (sensação de talco) ao tacto, promove a estruturação do solo, fazendo com que ocorra o aparecimento de um alto volume de poros, principalmente de micro-poros, retém muita água e muitos nutrientes.

3.1.3 Fauna e flora

Cada região é fundamentada na similaridade da composição da fauna e flora em termos de sistemática e história evolutiva da biota.

Portanto quanto a Fauna, o Posto Administrativo de Nhampassa enquadra-se na região afro-tropical; é constituído por uma fauna e Flora diversificada com características similares em termos da sua evolução histórica e sua composição. Neste caso as espécies existentes na região de Nhampassa são: roedores, herbívoros, mamíferos e ave-fauna. Desta última fazem parte o mocho, pombo, galinha-do-mato, perdiz, rola, cegonha, águia abutre entre outras. Existem também répteis como a Jibóia, serpente propriamente dita, com nome científico (*Sagittariusserpentarius*), e cobra, gala-gala e outros.

Igualmente, nesta região existem alguns animais bravios como: tigres, macacos, gato bravo (*felislybica*), Javali (*Phacochoerusaethiopicus*), gazela, ratazana e coelhos. As principais espécies domesticadas são as seguintes: galinha, galinha-do-mato, patos, cabritos (*Sylvicarpragrimmia*), porcos e bois (*Connochaetestaurinus*). Predomina ainda a fauna aquática que se caracteriza por peixes de espécies diversificadas na água doce.

No que diz respeito a Flora ou vegetação do posto Administrativo de Nhampassa na maior parte da região em estudo consiste em mistura de diversos tipos de vegetação conjuntamente designados por ‘*miombo*’, que inclui floresta densa, capim, e que na algumas vezes encontram-se muito perturbadas devido a considerável intervenção humana.

Por sua vez, a agricultura tradicional como agricultura Itinerante e de Sequeiro o abate a vegetação para obtenção de combustível lenhoso e carvão vegetal, as queimadas descontroladas bem como a extração mineira constituem as principais atividades que afetaram seriamente a vegetação terrestre local.

O Posto Administrativo de Nhampassa possui floresta densa, floresta semi-densa, floresta aberta com árvores entre 3 a 7 m de altura, exceto em algumas áreas em que se encontram manchas esparsas de árvores com uma altura superior a 7 m. Igualmente possui formações caracterizadas pela dominância de uma camada herbácea ou arbusto (MAE 2005:2).

3.1.4 População

O território de Nhampassa é habitado maioritariamente por membros do grupo social Nhampassa, um dos seguimentos da etnia Shona, e o grupo etno-linguístico sitonga, Chibáruè e Sena e uma língua oficial Portuguesa. O Chibáruè constitui a língua base de comunicação, sendo falado por mais de 70% da população e 20% falam a língua oficial portuguesa. O Shona e o Sena são outras línguas usadas, porém por uma parcela mais pequena da população com 10%. Estas línguas têm afinidades que facilitam a percepção recíproca (MAE 2005:2).

3.2 Geologia Regional

Os terrenos que compõem a África Austral são compostos por um mosaico de cratões e cinturões móveis do arcaico e resultaram da acção sucessiva de várias orogenias que afectaram a região desde o Precâmbrico (orogenias arcaicas à cerca de 3600 – 2500 Ma e pan-africana à cerca de 650 – 500 Ma) até o Fanerozóico Arcaico. Segundo Manjate, 2012, o conjunto foi amalgamado por cinturões de dobramento proterozoico-cambrianos por vezes cobertos por sedimentos do Fanerozoico e rochas extrusivas do Neoproterozóico, Carbonífero Superio-Jurássico e Cretácico-Quaternário.

Os terrenos que colidiram e se amalgamaram durante o Ciclo Orogénico Pan-Africano, são: Gondwana Sul, Gondwana Este e Gondwana Oeste.

Os terrenos do Gondwana Este têm o seu núcleo arqueano supostamente localizado em Madagascar e Índia. Na Tanzânia constituem o embasamento cristalino de granulitos, a leste da sutura Pan-africana.

Os terrenos do Gondwana Oeste são constituídos por cratões da África central (Congo/Tanzânia) e várias unidades tectono- litoestratigráficas em Cinturões dobrados de idade Proterozóica, que foram carreados ou depositados no topo da margem sul e leste do Cratão.

Os terrenos do Gondwana Sul são constituídos pelo Cratão do Zimbabwe e várias unidades tectono-litoestratigráficas em Cinturões dobrados de idade Proterozóica que foram carreadas ou depositadas no topo da margem norte e leste do Cratão. A sua fronteira setentrional corresponde ao Cinturão Pan-africano de Damara–Lufiliano–Zambeze (CDLZ) e, parcialmente, com a Zona de Cisalhamento de Sanângoè (ZCS) (figura 4).

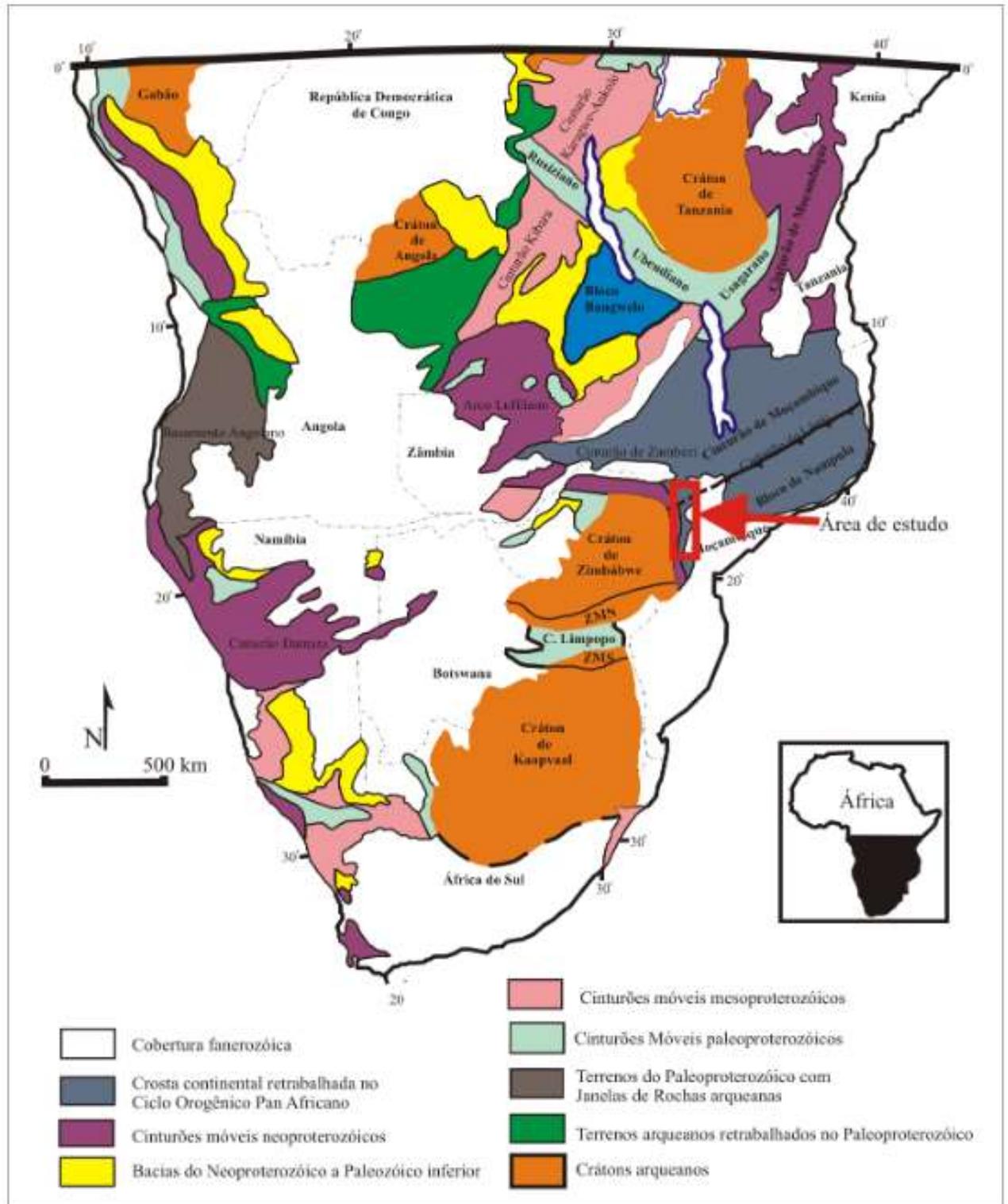


Figura 4: Enquadramento tectónico Pré-cambriano da África Austral. Modificado de Hanson (2003)

3.2.1 – Cratão do Zimbabwe

O arcaico na região da África Austral é representado pelo Cratão do Zimbabwe. A evolução deste cratão tem sido interpretada em termos de sucessivos estágios de crescimento crustal que envolveram a adição de rochas verdes e granitoides a um núcleo antigo com cerca de 3500 Ma de idade. que é limitado por cinturões móveis com diferentes idades e foi afectado, em diversos sectores, pela deformação associada a cada uma destas orogenias (Sumburane, 2011).

O Cratão do Zimbabwe é caracterizado em termos litológicos, principalmente por um grande número de associações de rochas verdes, com diversas características e pela elevada proporção deste tipo de litologias em relação a dos granitoides.

No território moçambicano, o Cratão do Zimbabwe é representado pelo Grupo de Manica, e constitui a continuação do Cratão do Zimbabwe no território moçambicano, formado colectivamente com o lado Zimbabwiano o Greenstone belt. Em termos litoestratigráficos, as rochas que constituem o Greenstone belt de Manica têm sido agrupadas em duas unidades principais: a Formação de Macequece e a Formação do Vengo. Durante o arcaico tardio e o Proterozóico, as formações do Grupo de Manica foram afectadas por várias intrusões de magmas ácidos e básicos (Sumburane 2011).

A Formação de Macequece é a unidade mais antiga do Grupo de Manica, e é composta essencialmente um pacote de rochas vulcânicas máficas e ultramáficas e sedimentares metamorfizadas. Por acção do metamorfismo, as rochas ígneas máficas e ultramáficas passam a talcoxistos, anfibolitos, serpentinitos e metabasaltos, com intercalações de formações ferríferas bandadas (BIF), metacherts e conglomerado polimícticos, cobertos por rochas metavulcânicas andesíticas, dacíticas e riódacíticas (GTK, 2006).

A Formação de Vengo repousa em discordância ou em contactos tectónicos sobre a Formação de Macequece. Na base da Formação do Vengo encontra-se uma unidade de conglomerados de grão grosso, à qual se sucedem grauvaques, arcoses, arenitos, argilitos, siltitos, quartzitos ferruginosos, quartzitos sericitosos, mármore e uma variedade de xistos. Os pacotes metassedimentares também contêm intercalações de rochas lávicas.

3.3 - Geologia Local

As formações geológicas do Posto Administrativo de Nhampassa enquadram-se no Cinturão de Moçambique (CM) que é uma estrutura orogénica com direcção aproximada N-S, exposta no flanco oriental do Cratão da Tanzânia, e que se estende para Sul a partir do Norte do Quénia, passando Uganda e Etiópia até Moçambique, onde ocupa o flanco oriental do Cratão do Zimbabwe (Cháuque, 2012).

O Posto Administrativo de Nhampassa é coberto na sua maioria por estruturas pré-cambrianas, sendo o Pré-câmbrico Inferior uma unidade constituída por rochas mais antigas formadas há mais de 600 Ma e por Formações mais antigas que apresentam também estruturas com vestígios de rochas magmáticas dispersas, extrusivas formadas a partir do resfriamento do material expelido pelas erupções vulcânicas antigas, que são mais predominantes do Posto administrativo de Nhampassa.

As principais subdivisões da região centro-oeste de Moçambique são encontradas nas unidades litológicas(figura5).

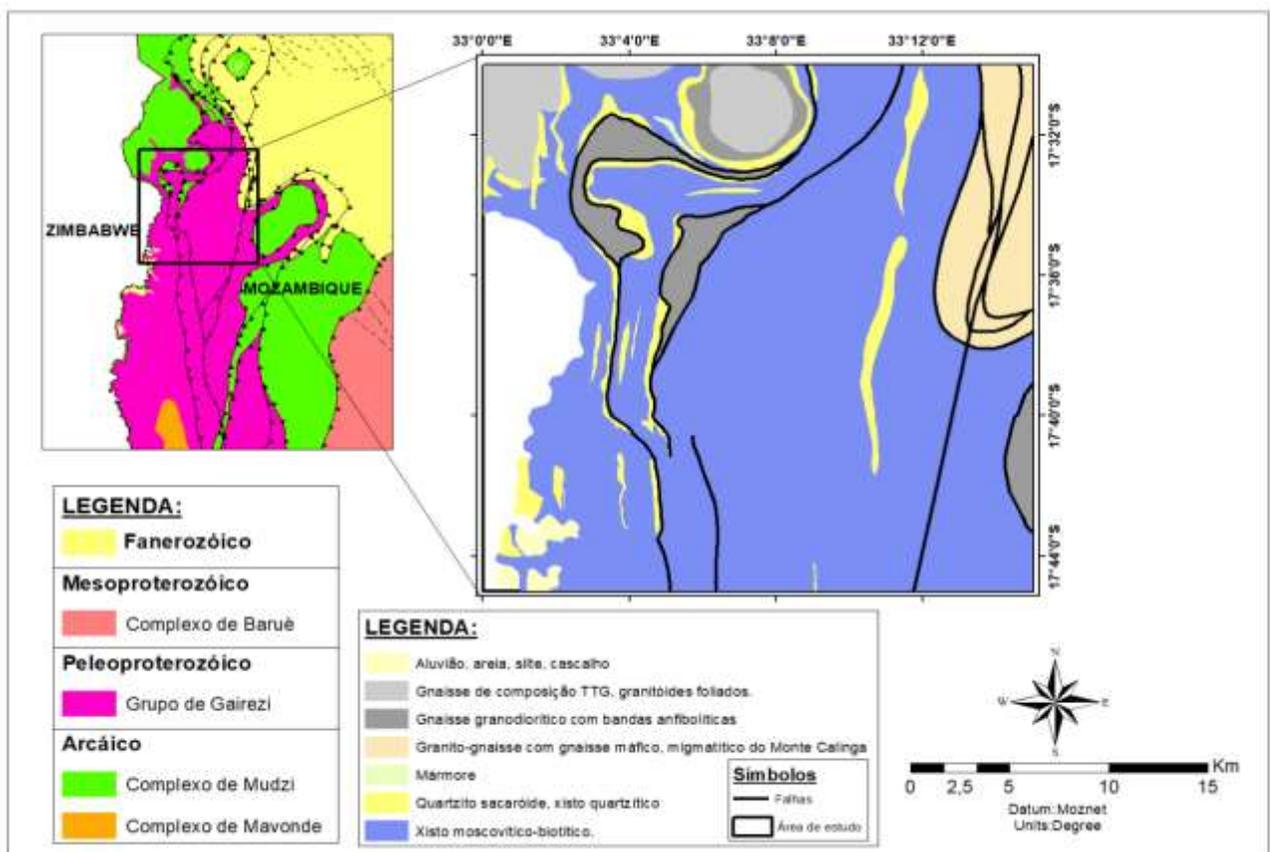


Figura 5: Mapa geológico ilustrando as unidades litológicas e estruturais da área de estudo (adaptado de Norconsult Consortium, 2007).

3.3.1 - Complexo Metamórfico de Mudzi (CMM)

As rochas do CMM estendem-se do Zimbabwe até Moçambique segundo Chaúque (2012), o complexo metamórfico de Mundzi é constituído por rochas metassedimentares de alto grau de metamorfismo e por granitos-gnaisses com granada.

As rochas do Complexo de Mudzi estendem-se do Zimbabwe até Moçambique, no extremo NE do Cratão de Zimbabwe (GTK, 2006). Essas rochas ocorrem na forma de domos de Gnaisses arcaicos (2710 - 2630 Ma) e por vezes são localmente cobertos por metassedimentos neoproterozóicos. Litologicamente, são constituídos por rochas orto-derivadas félsicas, compreendendo quartzo-monzonito, quartzo-monzodiorito e granito foliado do tipo TTG e por gnaiss granodiorito, e por orto-derivados máficos, compreendendo metagabro, anfibolito e granada-anfibolito e por rochas com protólito sedimentar como granada-gnaiss.

3.3.2 - Complexo de Mavonde

O Complexo de Mavonde, estende-se entre a Vila de Manica e a Cidade de Chimoio com uma direcção preferencial N-S ao longo da margem leste do Cratão do Zimbabwe. Este complexo é constituído por uma associação de granitoides do tipo TTG e gnaiss bandados de idade arcaica (3.3 – 2,5 Ga), com rochas plutónicas máficas e ultramáficas, a instalação das rochas do Cinturão de Rochas verdes de Manica (GTK, 2006, Manjate, 2015). O Complexo de Mavonde foi afectado pelos seguintes magmatismos tonalíticos (> 3000 Ma) e (à cerca de 2900 Ma) a norte e a sul do Cinturão de Rochas Verde de Odzi-Mutare e o magmatismo granítico à granodiorítico (2700 – 2500 Ma)

3.3.3 Grupo de Gairezi

As rochas tradicionalmente atribuídas aos Grupos Gairezi e Fronteira ocorrem junto à fronteira entre Zimbabwe e Moçambique. Na Província de Manica estes são encontrados em forma de uma faixa alongada que começa no Monte Senga Senga (norte) e continua quase até o Rio Save (sul). As litologias do Grupo de Gairezi podem ser facilmente distinguidos dos granitoides e litologias arcaicos subjacentes do Complexo Barué, tanto em fotografias aéreas como em imagens Landsat. Estes formam terrenos montanhosos elevados, com cristas longas, acentuando-se claramente dos terrenos suaves a leste e oeste. O Grupo de Gairezi consiste predominantemente em xistos pelíticos e ortoquartzitos brancos a cinzentos. Mármore e meta-conglomerados polimícticos são subordinados. As relações estratigráficas entre estes vários tipos de metassedimentos permanecem obscuras. Lentes e camadas de Meta-conglomerado

intraformacional e polimícticos são encontradas na parte basal do quartzito na região de Chicamba Real. Os clastos compreendem outras rochas supracrustais, como xistos, em adição a gneisses graníticos e granodioríticos. Apresentando a ocorrência de mineralizações de ferro de origem Hidrotermal (GTK,2006).

3.3.4 - Complexo de Bárue

Os granitoides do Complexo de Bárue consistem de ortognaisses de composição variável de granítica a tonalítica e corpos menores incluindo hornblenditos, gabros e dioritos. Na área, ocorrem gnaisses granodioríticos de granulação média, cinza-claros e levemente foliados com fenocristais arredondados de K-feldspato.

3.3.5 Fanerozoico

A cobertura Fanerozóica em Moçambique compreende sedimentos terrestres e marinhos e rochas sub-vulcânicas associadas pós-Pan-Africanas, geralmente (sub-)horizontais. A cobertura Fanerozóica é convenientemente e representada por Depósitos Aluviais (Qa), compostas por siltes, areias e cascalhos, são distribuídos nas planícies de inundação dos rios.

CAPÍTULO IV - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste capítulo tem como intenção abordar sobre alguns conceitos neste projeto científico, como: conceitos de estatística, geoestatística, e gamaespectrométricos que permitirão fazer a análise dos dados geoquímicos.

4.1 Análise Estatística

A estatística descritiva tem por objetivo descrever a realidade observada (população ou amostra), usando métodos numéricos e métodos gráficos e realizando comentários simples de maneira mais informativa possível. Pode-se dizer que a estatística descritiva se ocupa do tratamento de dados quantitativos (ordenação, exposição e sumarização de registros de dados) do fenómeno em estudo. A seguir, são apresentados alguns conceitos estatísticos como:

1. Média Aritmética

A média aritmética (\bar{x}) é a razão entre a soma de todas observações e o número de observações.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{equação 1})$$

2. **Mediana:** é o valor que divide o conjunto de observações exatamente ao meio, de tal maneira que o número de observações maiores do que a mediana seja igual ao número de observações menores do que a mediana.
3. **Moda (Mo)** é a observação com maior frequência. Os dados podem apresentar uma moda (unimodal), duas modas (bimodal) ou mais modas (polimodal).

4.1.1 Medidas de Dispersão e de Assimetria

1. Variância (S^2) é uma medida de dispersão de uma variável e é expressa como:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{equação 2):}$$

Onde: **n**- representa o número de observações;

X_i - observação feita no ponto i, a média aritmética e somatório de todas observações, da primeira (**i = 1**) à última (**n**).

1. **Desvio padrão (S)** é a raiz quadrada positiva da variância. Esta medida é usada para quantificar a dispersão em relação à média (Licht, 1998).

$$s = \sqrt{s^2}$$

(equação 3)

2. **Coefficiente de assimetria (CA)** é uma medida usada para descrever a forma de distribuição dos dados e é expresso como:

$$CA = \frac{\sqrt{n(n-1)}}{n-2} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 / n}{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n]^{3/2}}$$

(equação 4)

A distribuição é simétrica se o coeficiente de assimetria for igual a zero (a média e a mediana são similares) e assimétrica se o coeficiente de assimetria for maior do que zero (assimétrica positiva) ou menor do que zero (assimétrica negativa). Em estudos de prospecção geoquímica e estudos ambientais aceita-se a suposição da simetria se os dados tiverem valores de coeficiente de assimetria próximos de zero, geralmente, valores menores do que 0,5 (Webster et al., 2007).

4.1.2 Distribuição Normal e Lognormal

Uma variável aleatória contínua X segue uma distribuição normal com média (\bar{x}) e desvio-padrão (S) quando apresenta uma curva com forma de sino e simétrica em relação a média, isto é, as duas partes da curva são imagem uma da outra.

4.1.3 Método de Interpolação *IDW (Inverse Distance Weighting)*

Interpolação é uma técnica usualmente adotada para estimar valores desconhecidos de uma função a partir de valores conhecidos da mesma função. O *IDW* é um método que consiste na média ponderada espacial baseada nos valores vizinhos ao ponto em que se deseja interpolar. Assim é possível combinar a mudança gradual no valor estimado de acordo com a distância (BABAK, DEUTSCH, 2009).

4.1.4 Prospecção Geoquímica

Em estudos de prospecção geoquímica é imprescindível falar de conceitos como: fundo/*background* geoquímico, *threshold*/limiar geoquímico e sub-anomalia e anomalia geoquímica.

O fundo geoquímico/*background* é a abundância média de um elemento químico em materiais geológicos não mineralizados (Cortez, 2010).

***Threshold*/limiar** geoquímico é o limite superior das variações do fundo geoquímico (Cortez, 2010).

Sub-anomalia- Estas, podem ser classificadas em anomalias significativas- relacionadas a mineralizações, geralmente positivas, e anomalias não significativas - relacionadas com a variação litológica (Licht, 1998).

Anomalia geoquímica é a concentração de uma amostra que excede um determinado limiar geoquímico, causada pela presença de mineralizações ou alterações (Grunsky, 2007).

Gamaespectrometria

A gamaespectrometria é uma técnica de investigação geofísica que mede as fontes de radiação de um determinado material, as principais fontes de radiação gama detetadas na superfície terrestre provêm da desintegração natural do potássio (^{40}K) e dos elementos da série do urânio (^{238}U) e do tório (^{232}Th) (Dickson & Scott 1997) .

Tabela 1: Diferentes concentrações das principais fontes de radiação gama (modificada de Dickson & Scott 1997).

Tipo de Rocha	Rocha			Solo		
	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
INTRUSIVAS						
granitóides	0,3-4,5	0,4-7,8	2,3-45	0,4-3,9	0,5-7,8	2,0-37
rochas gnaissicas	2,4-3,8	2,1-3,6	18-55	0,7-1,9	1,6-3,8	6,0-19,0
pegmatito	2,6-5,5	0,3-1	0,3-9,6	-	-	-
aplitos	0,6-4	1,0-8,0	3,0-20	-	-	-
quartzo-feldspatos porfiríticos	1,0-5,0	1,3-2,9	6,0-14,0	-	-	-
Intrusvas intermediárias	0,7-5,6	0,1-1,2	0,8-6,1	0,7-3,4	1,5-2,6	2,9-8,4
intrusivas máficas	0,1-0,8	0,0-1,1	0,0-3,1	-	-	-
EXTRUSIVAS						
vulcânicas félicas	2,0-4,4	1,4-13	13-28	1,8-3,2	1,3-2,4	10-18,0
vulcânicas intermediarias	1,8-4,1	0,9-5,6	1,5-15	1,0-2,7	1,2-3,6	4,0-17
andesitos com baixo-K	0,7-0,9	1,0-2,5	3,0-8,0	0,8-1,5	1,2-1,5	4,0-6,0
vulcânicas máficas	0,3-1,3	0,3-1,3	2,0-5,0	0,2-1,4	0,6-2,5	3,3-13
vulcânicas ultramáficas	0,2-0,9	0,3-0,9	0,0-4,0	-	-	-
SEDIMENTARES						
folhelhos arqueanos	0,4-1,6	0,3-1,3	1,0-5,0	-	-	-
outros tipos de folhelhos	0,1-4,0	1,6-3,8	10-55,0	0,7-3,0	1,2-5,0	6,0-19,0
arenitos	0,0-5,5	0,7-5,1	4,0-22,0	0,1-2,4	1,2-4,4	7,0-18,0
carbonatos	0,0-0,5	0,4-2,9	0,0-2,9	-	-	-

4.1.5 Principais utilizações do método gamaespectrométrico:

As principais utilizações do método gamaespectrométricos são:

- Estudo de assinatura radiométrica de intrusões ígneas aflorantes;
- Prospecção mineral;
- Auxiliar na determinação dos limites geológicos de grandes estruturas;
- Caracterização de áreas com alteração hidrotermal.

4.1.6 Distribuição dos Elementos Radioativos nas Rochas

Os radioelementos K, Th e U apresentam uma ampla distribuição em rochas na crosta, suas abundâncias médias são 2 – 2,5 % para K, 8 – 12 ppm para Th e 2 – 3 ppm para U (Ramadass et al., 2015).

De acordo com Sharma (1997), a distribuição de K, Th e U depende do tipo de rocha, por exemplo, as rochas graníticas e xistosas apresentam maiores conteúdos de K, Th e U quando comparadas com outros tipos de rocha.

As rochas sedimentares possuem conteúdo de elementos radioativos que refletem as suas fontes, daí que se espera que sedimentos provenientes de rochas graníticas tenham conteúdo de elementos radioativos bastante elevado, contudo, sedimentos muito maduros constituídos por quartzo, espera-se que tenham conteúdo de elementos radioativos muito baixo (Dickson e Scott, 1997 citado em Apiah, 2015).

De acordo com Dickson e Scott (1997) citados por Apiah (2015), durante a meteorização a concentração de K diminui devido a sua fácil lixiviação e a concentração de Th e U tendem a ocorrer nos minerais mais resistentes, por outro lado, os fluídos hidrotermais oriundos dos processos hidrotermais aumentam a concentração de potássio nas rochas fonte, aumentam a mobilidade de urânio comparativamente a de tório, pois o tório é mais estável do que urânio perante alterações.

4.1.7 Sedimento de Corrente

Esse método é utilizado principalmente em Pesquisa Regional, onde o objetivo é definir um alvo a ser estudado posteriormente. As amostras coletadas informam possíveis anomalias a montante do local da coleta de amostra, pois o fundamento desse método geoquímico baseia-se no fato de que o sedimento de corrente reflete a composição das rochas localizadas na bacia (ou sub-bacia) de drenagem estudada. Sedimento de corrente é todo sedimento transportado por uma corrente fluvial. É usado em levantamentos regionais, semi-regionais e semi-detalhe. As águas pluviais, ventos e outros fatores promovem a meteorização e, subseqüentemente, o transporte das rochas até aos córregos, riachos e rios e a partir destes, o transporte pelos sistemas de drenagem da área (Sperling, 2007).

CAPÍTULO V – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados da presente pesquisa oriundos do processamento de dados geoquímicos de sedimentos de corrente e de imagens SRTM, integrados com o processamento geológico. As tabelas, os gráficos e os mapas resultantes do processamento de dados serão apresentados.

5.1 Dados Geoquímicos

O presente projecto científico se foca na análise de concentrações de tres (3) elementos químicos, nomeadamente Tório (Th), Urânio (U), Potássio(K) em sedimentos de corrente em que os técnicos do Instituto Nacional de Minas (INAMI) fizeram a colecta de 62 amostras, usando o gamaespectrômetro portátil RS-125/230. As medições foram feitas em 62 pontos estabelecendo uma densidade de 2 a 3 pontos por 10km².

5.1.1 Análise Exploratória de dados e Teste de Normalidade

A maioria dos dados geoquímicos não segue a distribuição normal, o que pode levar a erros de estimativa, inferências e interpretações menos fiáveis do que seriam se seguissem uma distribuição normal ou próxima da normal. Em caso de assimetria nos dados geoquímicos, estes podem ser transformados para uma escala logarítmica, de forma a acomodá-los à uma distribuição mais próxima da normal (lognormal) (Webster et al., 2007).

Os resultados da análise do teste de normalidade dos dados brutos feitos no programa estatístico *PAST*, (tabela 2), demonstram que os dados brutos não obedecem uma distribuição normal.

Sendo que os dados não obedecem uma distribuição normal foi preciso log-transforma-los no *Microsoft Excel* (anexo 3). E consultar a que teste de normalidade os dados log-transformados são viáveis, no caso destas concentrações (lnTh, lnU, lnK) (tabela 2), o teste de Anderson Darling foi viável, apresentando para todos elementos $p > 0,05$. Com a elaboração do histograma e gráfico de probabilidade de dados log-transformados é possível observar a acomodação dos dados a uma distribuição normal das concentrações de lnTh, lnU, lnK (anexo 1).

Tabela 2: Testes de normalidade de dados brutos e dados log-transformados das concentrações de U, Th, K. Fonte: autora.

Teste de Normalidade dos dados log-transformados para Urânio		Teste de normalidade de dados brutos para Urânio	
N	62	N	62
Shapiro-Wilk	0.9603	Shapiro-Wilk	0.9001
p(normal)	0.04309	p(normal)	0.0001029
Anderson-Darling	0.7215	Anderson-Darling	1.543
p(normal)	0.05684	p(normal)	0.000509
p (Monte Carlo)	0.0002	p (Monte Carlo)	0.0004
Teste de normalidade de dados log-transformados para Tório		Teste de normalidade de dados brutos para Tório	
N	62	N	62
Shapiro-Wilk	0.9153	Shapiro-Wilk	0.8434
p (normal)	0.0003977	p (normal)	1.43E-06
Anderson -Darling	1.959	Anderson -Darling	1.552
p (normal)	4.74E-05	p (normal)	0.0004844
p (Monte Carlo)	0.0002	p (Monte Carlo)	0.0004
Teste de normalidade de dados log-transformados para Potássio		Teste de normalidade de dados brutos para Potássio	
N	62	N	62
Shapiro-Wilk	0.9791	Shapiro-Wilk	0.9526
p(normal)	0.37	p(normal)	0.01784
Anderson-Darling	0.3888	Anderson-Darling	1.052
p(normal)	0.375	p(normal)	0.008501
p (Monte Carlo)	0.393	p (Monte Carlo)	0.0093

A tabela abaixo ilustra os parâmetros obtidos na análise estatística, nomeadamente o número de amostras (N), o valor mínimo (Mín.), a média (Méd.), a mediana (Md), o valor máximo (Máx.), o desvio-padrão (S) e o coeficiente de variação (CV). Na análise da tabela abaixo, verifica-se que os valores da média e mediana de cada elemento apresenta valores similares. E o desvio padrão è menor que a média e mediana, facto que comprova alta homogeneidade entre as amostras. O contrário se sucede para dados brutos (anexo 2), que mostra uma discrepância de homogeneidade entre as amostras. Estes parâmetros estatísticos não permitem obter muita informação sobre as variáveis em estudo, nem definir anomalias geoquímicas. Portanto, a estatística descritiva só permite de uma forma geral analisar o tipo de distribuição que os elementos apresentam.

Tabela 3: Sumário estatístico de dados log-transformados de concentrações de U, Th, K em sedimentos de corrente. Fonte: autora.

Parâmetros	ln Th	LnU	LnK
N	62	62	62
Minino	0	0	0
Máximo	1.814248	1.146128	0.6232493
Media	1.079915	0.5354923	0.3341485
Desvio padrão	0.3329302	0.3097974	0.151084
Mediana	1.152288	0.5854241	0.3222193
25 percentil	0.9601884	0.2728833	0.2304489
75 percentil	1.260465	0.761444	0.4660788
Coef. de Ass.	30.8293	57.85282	45.21464
Percentil 90	1.4239	0.946429	0.536402
Percentil 95	1.49064	0.962356	0.587635
Percentil 99	1.81425	1.14613	0.623249

5.1.2 Determinação de Limiares Geoquímicos

A discriminação de zonas anómalas das zonas de fundo geoquímico é feita mediante um limiar geoquímico. Durante a escolha do método para determinar o limiar geoquímico, deve-se levar em consideração o tipo de distribuição estatística seguido pelos dados log-transformados da variável geoquímica.

Tabela 4: Determinação de Limiares Geoquímicos através de percentis. Fonte: autora.

Definição	%	Th ppm	U ppm	K (%)	
Background	75	<1.260465	<0.761444	<0.4660788	
Limiar	90	1.260465 - 1.4239	0.76144 - 0.9464	0.4660788 - 0.5364	
Sub-anomalia	95	1.4239 - 1.49064	0.9464 - 0.96235	0.5364 - 0.5876	
Anomalia	99	1.49064- 1.81425	0.96235 - 1.14613	0.5876 - 0.63249	

Após a determinação de valores de backgrounds, limiar, sub-anomalia, anomalia, se procedeu a representação espacial das regiões com presença de anomalias para teores log-transformados com base nos limiares definidos na área de estudo.

A elaboração de mapas geoquímicos foi efetuada com o software *ArcMap* versão 10.8 através da representação de símbolos graduados que representam diferentes concentrações dos elementos.

5.1.3 Análise da distribuição espacial das concentrações de anomalias geoquímica

A distribuição espacial das concentrações de Th são classificadas em background/teor de fundo, limiar, sub-anomalia e anomalia. A distribuição espacial da anomalia de Th encontram se pontualmente a NE e a SW e ao longo de linhas de drenagem de 1^a e 2^a ordem.

A distribuição espacial de potássio revela que as anomalias estão distribuídas a NW e SW, encontram-se distribuídas ao longo do rio o que revela que as amostras foram captadas em bacias de captação.

Parte das anomalias de urânio localizam-se na parte NW e SE da área de estudo, ao longo de falhas e ao longo do rio e linhas de drenagem (figura 6).

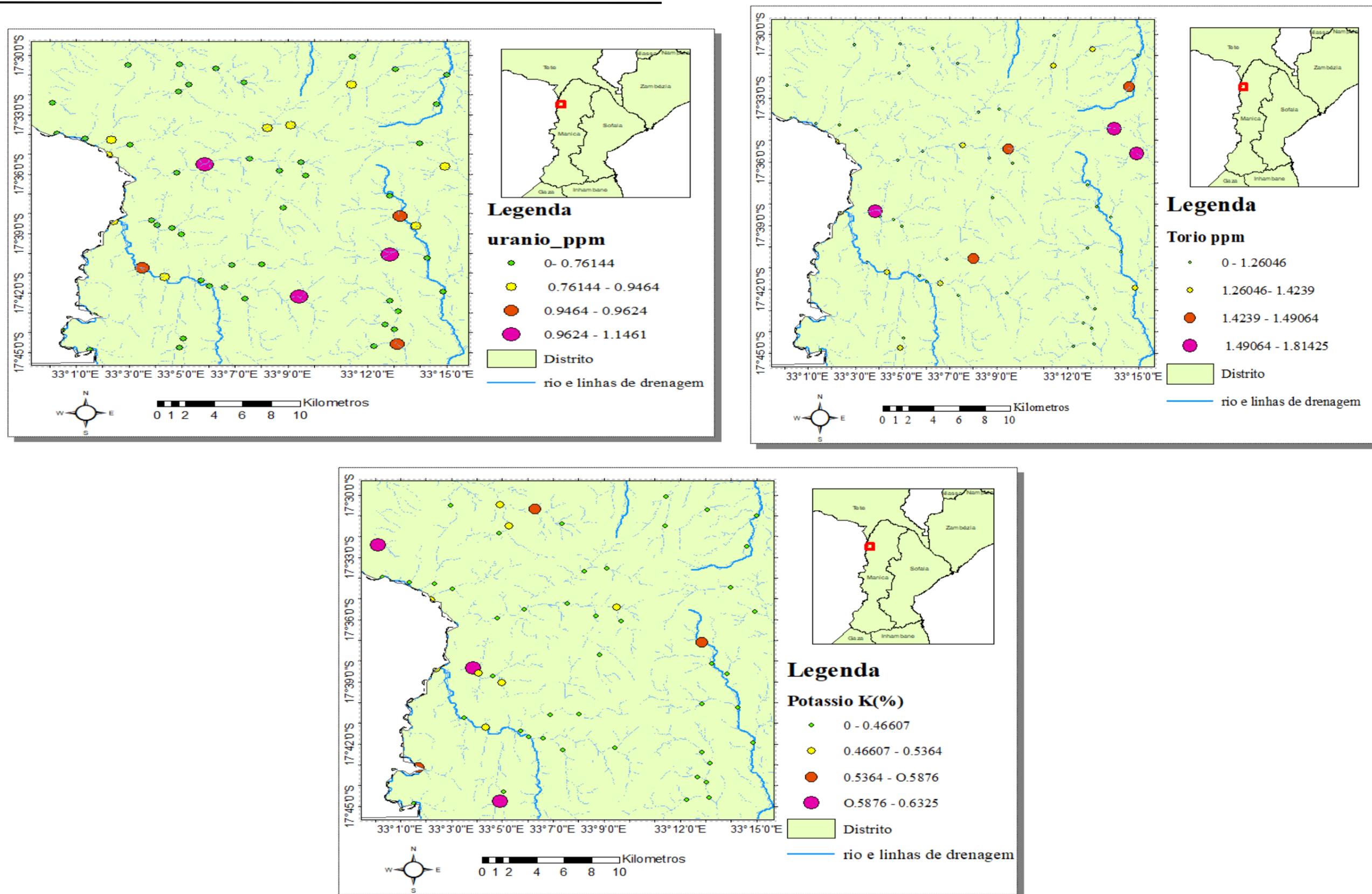


Figura 6: Distribuição espacial das concentrações de Urânio, Tório e Potássio. Fonte: autora

5.1.4 Interpolação por *IDW* (*Inverse Distance Weighting*)

Para o mapa de Urânio é possível observar que nas isolinhas que correspondem e albergam a distância de áreas com anomalias geoquímicas ocorre uma mistura de anomalias e sub-anomalias. Em áreas com estimativa de ocorrência de isolinhas de anomalias e sub-anomalias, pode ser condicionada pelas características estruturais locais (falhas, mudanças de litologia) que podem originar mistura de concentrações.

Para tório é possível observar uma variação nas concentrações de limiares, e a localização também em zonas com a delimitação de contornos para valores de sub-anomalias e anomalias de concentração de Th.

Para o K as concentrações de limiar encontram-se num campo de área estimada de ocorrência de anomalias, sendo o limiar e a anomalia assentes no campo de ocorrência de anomalia, este facto é possível pelas mudanças de litologia, falhas de acordo com a área de estudo (figura 7).

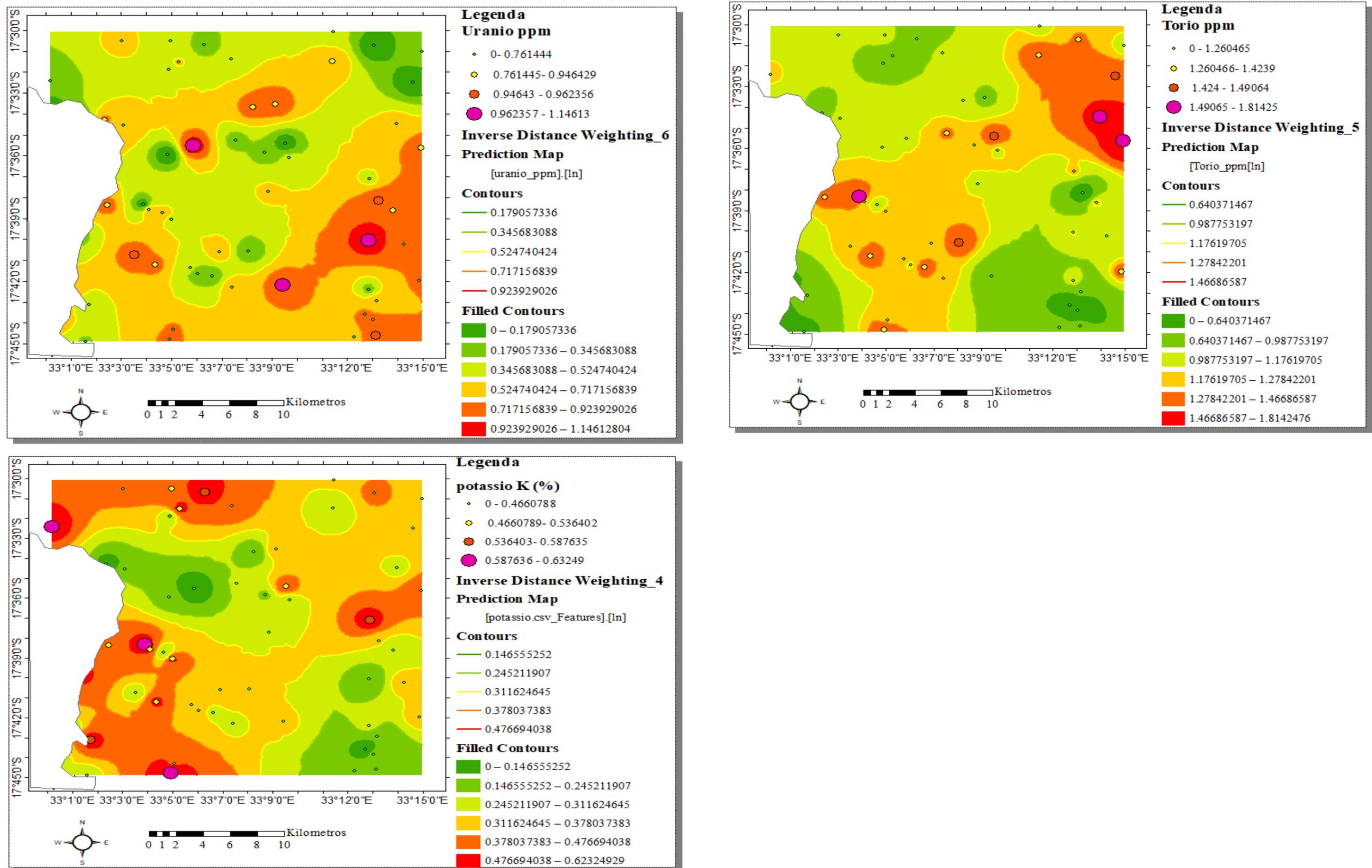


Figura 7: Interpolação por IDW (Inverse Distance Weighting) das concentrações de Urânio, Tório e Potássio. Fonte: autora.

5.1.5 Análise litológica

Para U a maior parte das anomalias estão localizadas nas rochas de xisto muscovítico-biotítico(P1Zss). É possível observar que as anomalias ocorrem em rochas de gnaiss granodiorito com bandas anfíbólicas (A3Mqd) na zona de contacto de rochas de xisto muscovítico biotítico (P1Zss). A correlação espacial forte entre as anomalias geoquímicas de U e os tipos de rocha sugere a ocorrência de mineralizações de U na área de estudo.

As anomalias de Th se localizam em grande parte no granito gnaiss do monte migmatítico do monte Calinga Muci(P3ROgm). É possível observar que as anomalias de th abrangem pouco as litologias de quartzito sacaroide, xisto quartzito(P1Zqs).

As anomalias de K a nível geológico estão assentes em gnaiss de composição TTG (A3Mgn) que faz contacto com a litologia de quartzito sacaroide xisto quartzito (P1Zqs). Ao longo das rochas de quartzito sacaroide, xisto quartzito, as anomalias de potássio estão assentes na zona de contacto com o xisto muscovítico biotítico (PLZss) (figura 8).

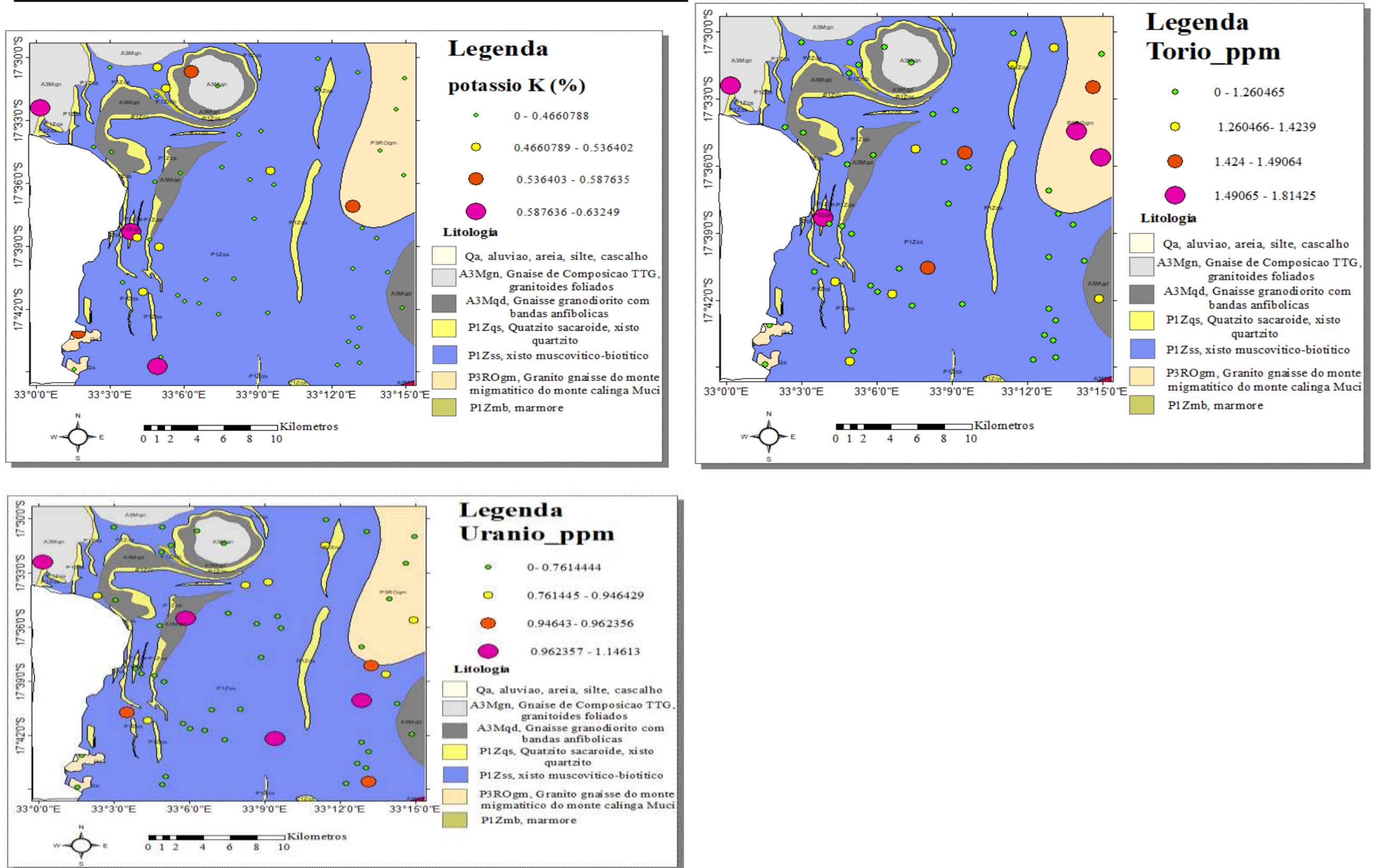


Figura 8: Distribuição espacial das concentrações anómalas de Urânio, Tório e Potássio em função da geologia. Fonte: autora.

5.1.6 Análise dos solos e meteorização

As anomalias de Urânio ocorrem comumente em solos arenosos, vermelho óxido, algumas anomalias localizam-se ao longo de falhas. As anomalias de Urânio apresentam facilidade de lixiviação, pode formar minerais solúveis.

As anomalias de Tório localizam-se maioritariamente em solos vermelhos de textura media detritos. Ocorre também em solos líticos. Durante a meteorização o tório é facilmente absorvido e tende a se concentrar em ambientes mais desenvolvidos do que o Potássio, apresenta menor mobilidade geoquímica. A maioria dos minerais com alto teor de Th é estável durante a meteorização pode se acumular em depósitos de areia contendo minerais pesados.

As anomalias de Potássio estão comumente localizadas em solos líticos. A SW observa-se a ocorrência pontual de concentração anómala de K assente em solos líticos fazendo contacto em solos arenoso, vermelho óxido e algumas ocorrem em zonas de falha. O K apresenta alta mobilidade durante a meteorização e em ambientes de alteração hidrotermal (figura 9).

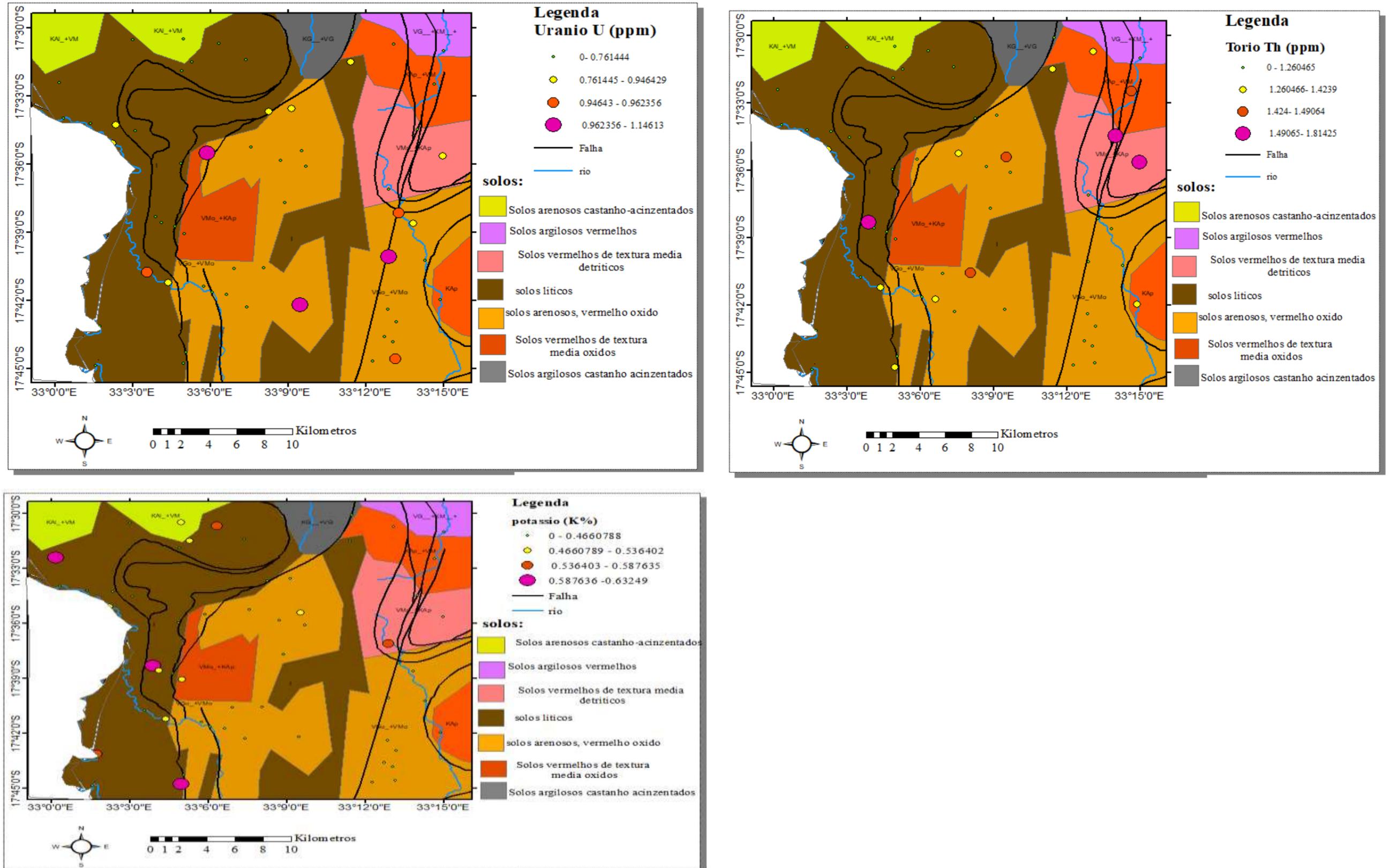


Figura 9: Mapa integrado de solo e concentrações anómalas de Urânio, Tório e Potássio. Fonte: autora

5.1.7 Análise de estrutura geológica

As concentrações anómalas do Urânio e Tório assentam se em falha normal e falha de cavalgamento. Para as concentrações anómalas de Potássio ocorre comumente em falha de cavalgamento, o estudo dessas estruturas geológicas é de extrema importância uma vez que as estruturas constituem um importante factor que controla a génese, mobilização e deposição de muitos tipos de mineralização no substrato rochoso (Groove et. Al., 2020;2022) (figura 10).

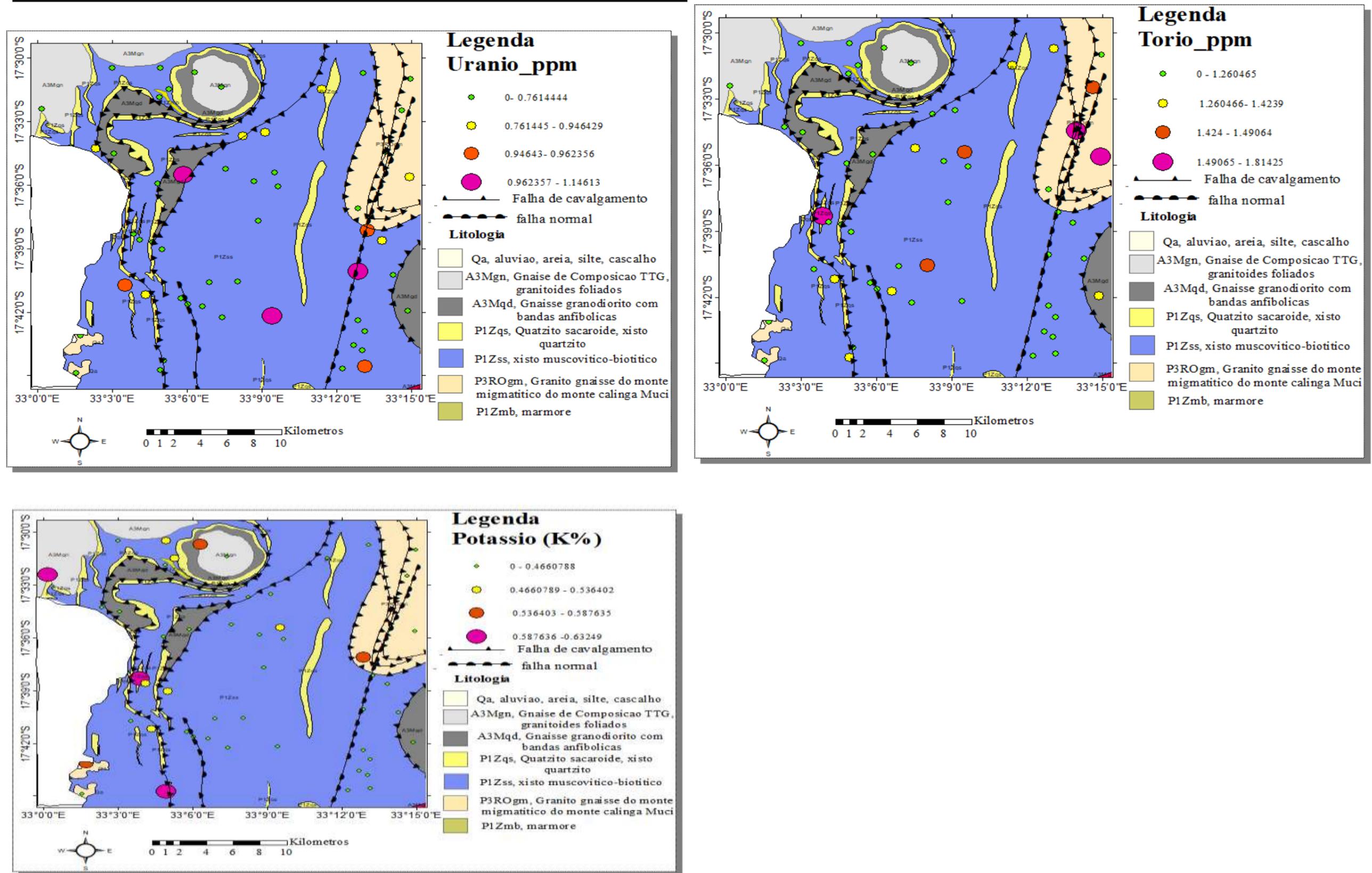


Figura 10: Mapa integrado de estruturas geológica em relação a litologia e concentrações de Uranio, Tório e Potássio. Fonte: autora

5.1.8 Análise topográfica em mapa de relevo

As concentrações de anomalia de urânio ocorrem maioritariamente em zonas de declive, e muito pouco em áreas planas ou de baixo relevo. o mesmo acontece com as sub-anomalias, o que se pressupõe que a topografia ou o relevo exerce um controle nas mineralizações de uranio de acordo com a área de estudo.

As concentrações da anomalia de tório ocorrem maior parte em zonas baixas. Deste modo o tipo de relevo e topografia torna-se condicional para a ocorrência das mineralizações de tório, como ilustra a área de estudo. As concentrações de anomalias de potássio ocorrem comumente nas zonas de declive e com alta deformação, o que demonstra um controle destas anomalias com o tipo de relevo e topografia da área de estudo (figura 11).

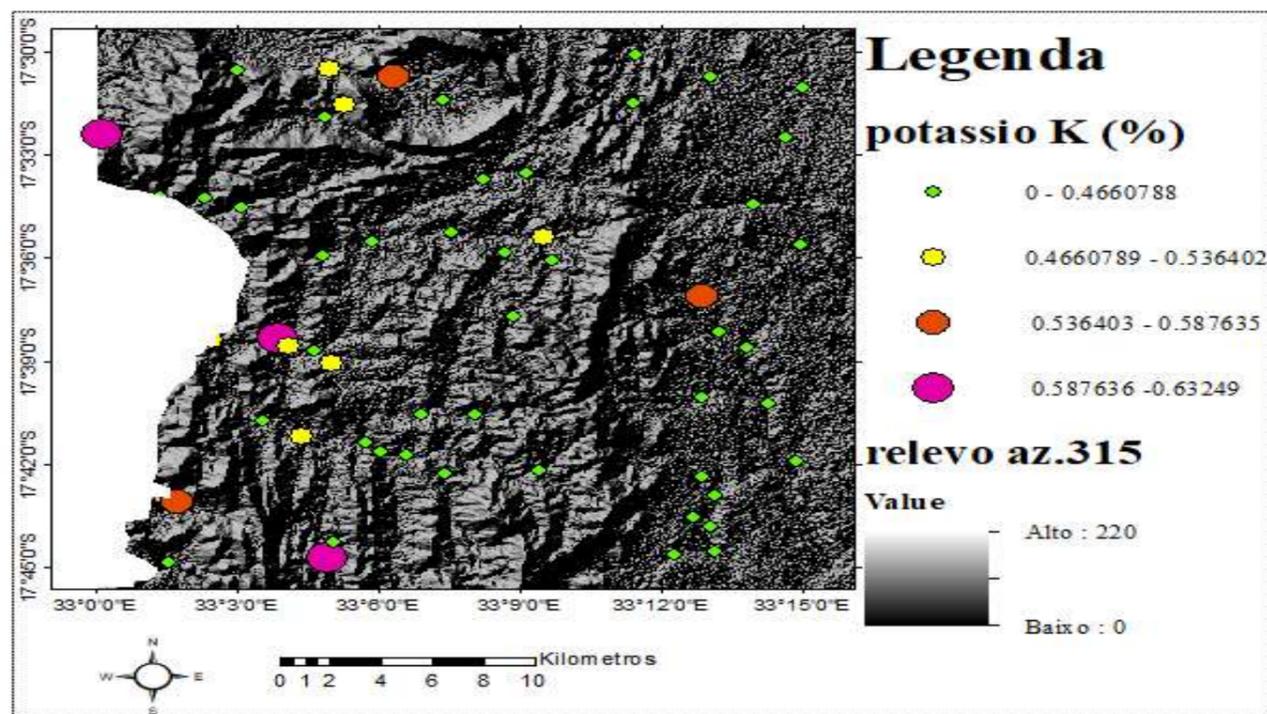
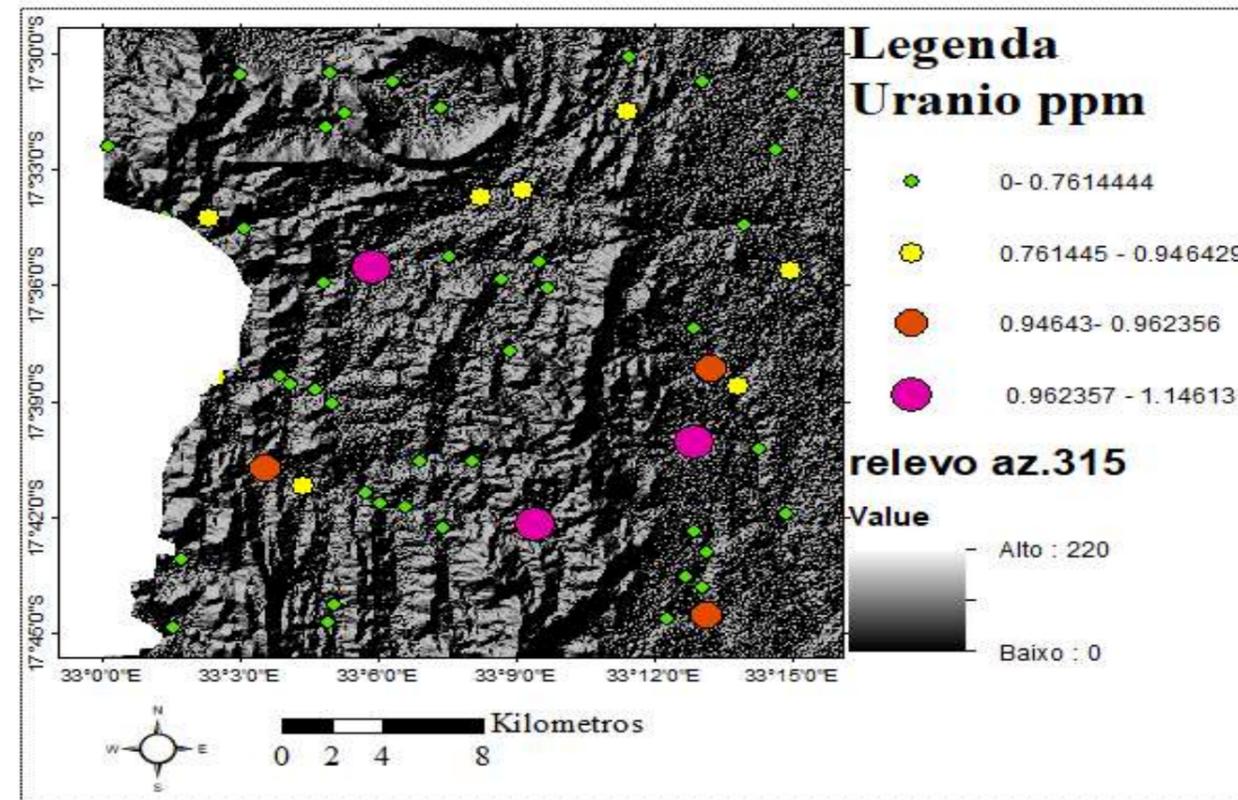
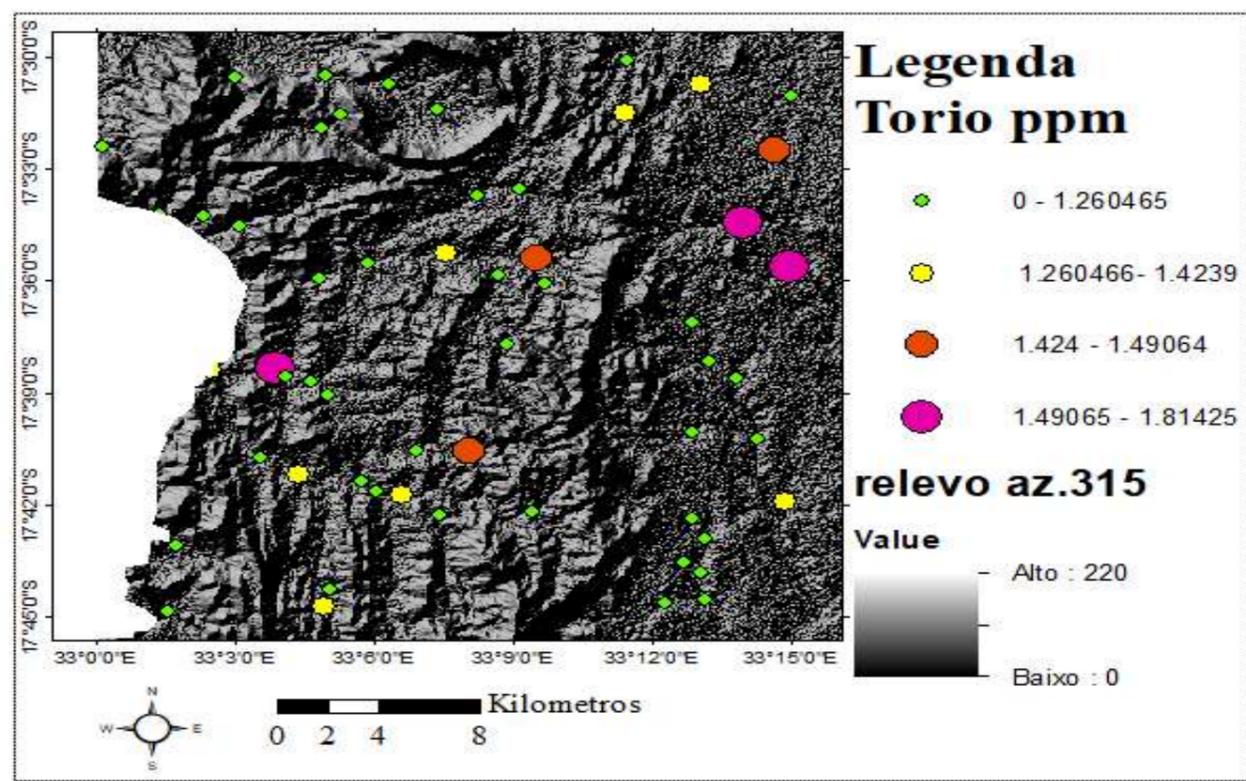


Figura 11: Imagem do relevo sombreado usada para interpretação das anomalias das concentrações de U, Th, K e a sua relação com o relevo, obtidas usando azimutes de iluminação do sol de 315 graus e 60 graus e inclinação de iluminação. Fonte: autora

5.1.9 Mapa de prospectividade das concentrações geoquímicas de U, Th e K

Para a elaboração do mapa de prospectividade das concentrações geoquímicas de U, Th, e K, se efetuou a delimitação de áreas anómalas para cada elemento, em cada mapa geoquímico (anexo 5), através da criação de *shapefiles*. Neste processo, foi possível obter uma extensão das áreas que ocorrem as anomalias de U, Th, e K, e por fim produzir um mapa de prospectividade das concentrações geoquímicas de U, Th, e K.

O U ocorre sobreposição de áreas com favorabilidade de ocorrência de concentrações anómalas de Th e K. Este facto se explica devido a ocorrência em litologias de quartzito sacaroide, xisto quartzito e xisto muscovítico-biotítico facto que reflete o controle litológico (figura 12).

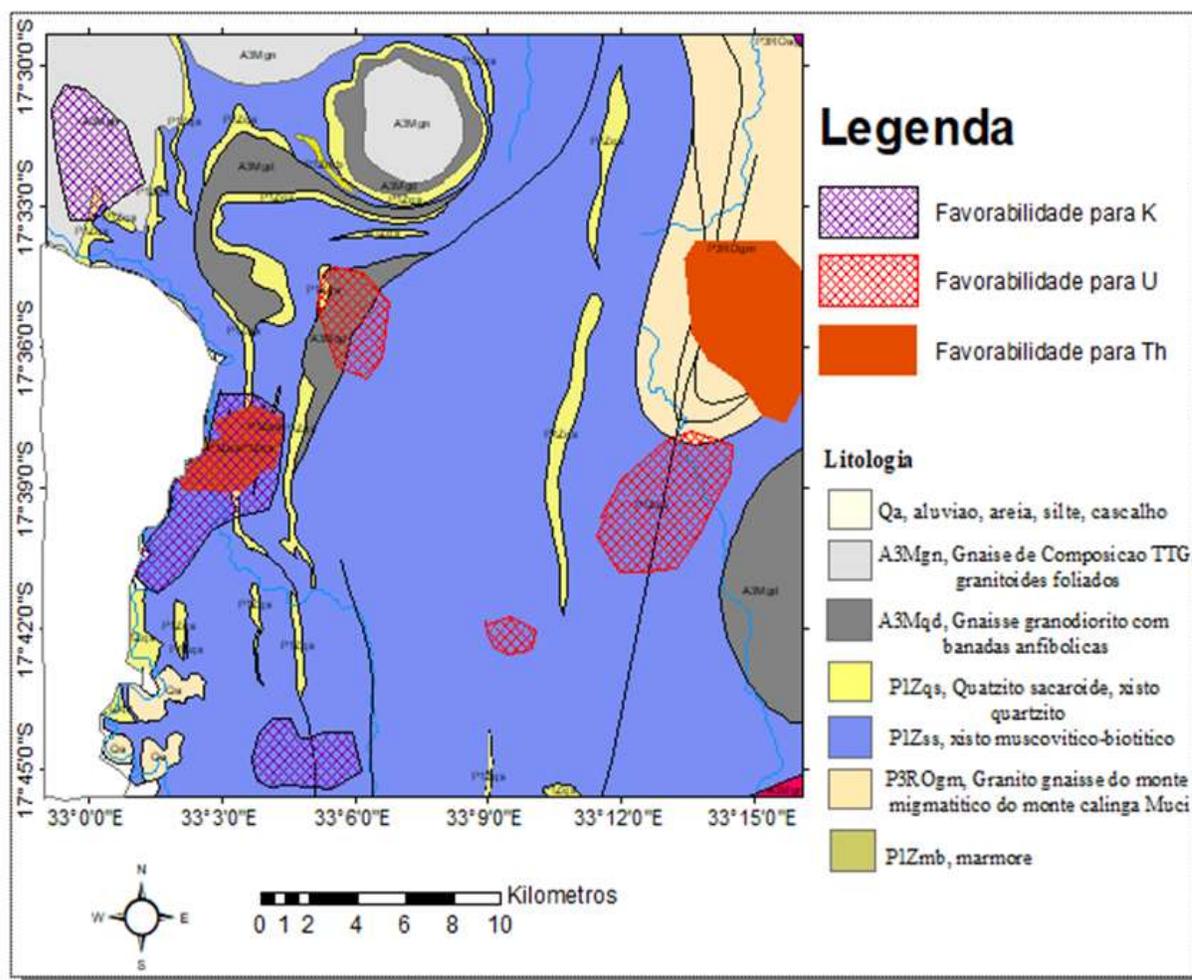


Figura 12: Mapa de prospectividade das concentrações geoquímicas de Urânio Tório e Potássio. Fonte: autora

CAPÍTULO VI- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A área de estudo é caracterizada por anomalias geoquímicas de primeira ordem e segunda ordem. Este facto comprova que o método de determinação de Limiares Geoquímicos através de percentis é eficaz para detetar anomalias geoquímicas de K,Th e U, nas regiões de Bàrue (figura 6).

Os resultados da análise da interpolação dos dados por *IDW (Inverse Distance Weighting)* produzindo mapas de concentrações de U, Th,e K evidencia que as isolinhas que correspondem a distância de áreas com anomalias geoquímicas ocorre uma mistura de anomalias, subanomalias e limiares dentro de áreas anómalas, pode ser condicionada pelas características estruturais locais (falhas, mudanças de litologia) que podem originar a mistura de concentrações (figura 7).

As anomalias de Th se localizam em grande parte em de granito gnaissé do monte migmatítico do monte Calinga Muci(P3ROgm). As anomalias de Th abrangem pouco as litologias de quartzito sacaroide, xisto quartzito(P1Zqs). O Urânio, a maior parte das anomalias estão localizadas nas rochas de xisto muscovítico-biotítico(P1Zss) sendo assentes em rochas de gnaissé granodiorito com bandas anfibólicas(A3Mqd) na zona de contacto de rochas de xisto moscovítico biotítico(P1Zss). Os tipos de rocha e as zonas de contacto sugere a mineralizações de U na área de estudo, e conseqüentemente um controle litológico. As anomalias de Potássio estão assentes em gnaissé de composição TTG(A3Mgn), faz contacto com a litologia de quartzito sacaroide xisto quartzito (P1Zqs). Ao longo das rochas de quartzito sacaroide, xisto quartzito, as anomalias de potássio estão assentes na zona de contacto com o xisto moscovítico biotítico (Figura 8).

Relativamente a meteorização, o mapa de solos demonstra que as anomalias de Potássio estão comumente localizadas em solos líticos, e algumas ocorrem em zonas de falha. O Potássio apresenta alta mobilidade durante a meteorização e em ambientes de alteração hidrotermal (Wilford et al. 1997) (Figura 9). As anomalias de Tório se assentam maioritariamente em solos vermelhos de textura media detritos. Ocorrendo também em solos líticos, e durante a meteorização è facilmente absorvido e tende a se concentrar em ambientes mais desenvolvidos do que o potássio. A maioria dos minerais com alto teor de Th è estável durante a meteorização e pode se acumular em depósitos de areia contendo minerais pesados (Figura 9). As anomalias de Urânio ocorrem comumente em solos arenosos, vermelho óxido. As anomalias de U apresentam facilidade de lixiviação, pode formar minerais solúveis, diminuindo a concentração. Os minerais insolúveis desse elemento tendem a não migrar exceto se transportados (Gunn et al. 1997).

Relativamente a sobreposição de anomalias com as estruturas, as concentrações anómalas do Urânio e Tório assentam se em falha normal e falha de cavalgamento.

Para as concentrações anómalas de Potássio ocorre comumente em falha de cavalgamento (figura 10).

Um facto de impacto adicional é que a identificação dessas anomalias geoquímicas não apenas fornece informações cruciais para a prospecção mineral, mas também pode ter implicações significativas na compreensão da evolução geológica da região. A distribuição dessas anomalias ao longo de falhas e sugere processos tectónicos e magmáticos passados que influenciaram a deposição e concentração desses elementos (Groove et. Al., 2020;2022).

As anomalias geoquímicas sobrepostas aos mapas topográficos, ilustram que as anomalias de Th ocorrem predominantemente em zonas baixas, o K e U em zonas de declive com predominância de montanhas o que evidencia o processo de transporte por gravidade (figura 11).

Para a elaboração do mapa de prospectividade das concentrações geoquímicas de U, Th e K, foram delimitadas zonas anómalas para cada elemento. Através da criação de shapefiles para cada área anómala de cada elemento, foi possível obter uma extensão da área onde ocorrem as anomalias de U, Th e K. Por fim, foi produzido um mapa de favorabilidade de ocorrência da concentração desses elementos. A sobreposição de áreas com favorabilidade de ocorrência de concentrações anómalas de Th e K se explica devido ao controle litológico (figura 12).

A discussão dos resultados revela a eficácia do método de determinação de Limiares Geoquímicos através de percentis na detecção de anomalias geoquímicas de K, Th e U na região de Bárue. A distribuição das anomalias geoquímicas de Th, K e U ao longo de diferentes direções, como NE, SW, NW e SW, sugere padrões de distribuição orientados por estruturas geológicas predominantes na área de estudo. A análise da interpolação dos dados por *IDW (Inverse Distance Weighting)* destaca a presença de misturas de anomalias, subanomalias e limiares dentro das áreas anómalas, indicando uma influência significativa das características estruturais locais, como falhas e mudanças de litologia, na distribuição dessas concentrações.

Outro fator a considerar é que a observação das anomalias geoquímicas em relação à meteorização e aos solos na área de estudo fornece informações adicionais sobre a mobilidade e a estabilidade dos elementos estudados. O facto de as anomalias de Th estarem predominantemente associadas a solos de textura média

e minerais pesados sugere um padrão de concentração influenciado pelo processo de meteorização e deposição. Da mesma forma, a ocorrência comum de anomalias de U em solos arenosos e vermelho óxido, juntamente com sua facilidade de lixiviação e formação de minerais solúveis, indica um potencial significativo de migração desses elementos dentro do ambiente local.

A sobreposição das anomalias com as estruturas geológicas, destaca o papel fundamental do controle estrutural na ocorrência dessas anomalias. Esse entendimento da interação entre anomalias geoquímicas e estruturas geológicas é essencial para a interpretação dos dados e para a formulação de estratégias eficazes de exploração mineral na área de estudo.

Autores como Wilford et al. (1997), que abordam a mobilidade do potássio durante a meteorização e em ambientes de alteração hidrotermal, e Gunn et al. (1997), que discutem a estabilidade dos minerais com alto teor de Th durante a meteorização e sua acumulação em depósitos de areia contendo minerais pesados, fornecem um contexto valioso para entender os processos geoquímicos e geológicos envolvidos na distribuição das anomalias na região de Bárue.

6.1 Conclusões

- As anomalias geoquímicas de Th ocorrem preferencialmente na parte NE, e SW, as anomalias de K e U seguem uma distribuição orientadas preferencialmente a NW e SW, da área de estudo e ao longo de linhas de drenagem de primeira ordem e segunda ordem.
- A análise da interpolação dos dados através da interpolação por *IDW (Inverse Distance Weighting)* produzindo mapas de concentrações de U, Th, e K mostrou-se ser eficaz pois permitiu localizar a distribuição espacial e extensão das áreas anómalas. A área com anomalias geoquímicas ocorre uma mistura de anomalias, sub-anomalias e limiares dentro de áreas anómalas, facto que essa estimacão pode ser condicionada pelas características estruturais locais (falhas, mudanças de litologia) que podem originar a mistura de concentrações.
- As anomalias de Th predominam em granito gnaiss do monte migmatítico do monte Calinga Muci(P3ROgm), quartzito sacaroide, xisto quartzito (P1Zqs). As anomalias de Urânio, estão localizadas nas rochas de xisto muscovítico-biotítico (P1Zss), rochas de gnaiss granodiorito com bandas anfibólicas (A3Mqd) e xisto moscovítico biotítico(P1Zss). As anomalias de Potássio estão assentes em gnaiss de composição TTG (A3Mgn), e faz contacto com a litologia de quartzito sacaroide xisto quartzito (P1Zqs). Ao longo das rochas de quartzito sacaroide, xisto quartzito, as anomalias de Potássio estão assentes na zona de contacto com o xisto moscovítico biotítico. Os tipos de rocha e a ocorrência dessas anomalias nessas litologias sugere a mineralizações desses elementos na área de estudo, e conseqüentemente um controle litológico.
- O mapa de solos demonstra que as anomalias de Potássio estão comumente localizadas em solos líticos. O Potássio apresenta alta mobilidade durante a meteorização e em ambientes de alteração hidrotermal. As anomalias de Tório se assentam maioritariamente em solos vermelhos de textura média detritos e em solos líticos. As anomalias de Urânio ocorrem comumente em solos arenosos, vermelho oxido. As anomalias de U apresentam facilidade de lixiviação, pode formar minerais solúveis, diminuindo a concentração. Os minerais insolúveis desse elemento tendem a não migrar excepto se transportados.
- Relativamente a sobreposição de anomalias com as estruturas, as concentrações anómalas do Urânio e Tório assentam se em falha normal e falha de cavalgamento. A concentração anómala de Potássio ocorre comumente em falha de cavalgamento facto que comprova o controle estrutural de ocorrência dessas anomalias.

- As anomalias geoquímicas sobrepostas aos mapas topográficos, ilustram que as anomalias de Th ocorrem predominantemente em zonas baixas, o K e U em zonas de declive com predominância de montanhas.
- A elaboração do mapa de prospectividade das concentrações geoquímicas de U, Th, e K, permitiu obter uma extensão da área que ocorrem as anomalias de U, Th, e K.

6.2 Recomendações

Para futuras investigações fazem-se as seguintes recomendações:

- A realização de mais estudos de campo com vista a validar os resultados obtidos neste estudo, sobretudo nas áreas potencialmente favoráveis para mineralizações de U, Th e K. O mapeamento geológico detalhado durante o trabalho de campo e amostragem geoquímica de solos de alta densidade é imprescindível;
- Utilizar outros tipos de métodos de integração como por exemplo os métodos baseados no conhecimento, para estudar a favorabilidade mineral da área de estudo e em outras áreas com ocorrência de sub-anomalias do território moçambicano.
- Realizar mais estudos geofísicos e incorporar os resultados nos mapas de prospectividade. Os estudos geofísicos deverão focalizar-se na caracterização estrutural detalhada da subsuperfície para identificar as principais estruturas que estão relacionadas às mineralizações de concentrações de U, Th e K na área de estudo.

Referências Bibliográficas

- A. Lima et al. / *Applied Geochemistry* 20 (2005) 611–625.
- Appiah, S.C.Y. (2015) *International Journal of innovation and Applied Studies*, 10, 716-725.
- ARMSTRONG, M. (1998). *Basic linear geostatistics*, Springer, Berlin.
- Andriotti J.L.S., (2010). Interpretação de dados de prospecção geoquímica com o auxílio da Estatística. Ministério de Minas e Energia, serviços geológicos do Brazil-CPRM. pp 30-40.
- BABAK, O.; DEUTSCH, C. V. An intrinsic model of coregionalization that solves variance inflation in collocated cokriging. *Computers & geosciences*, v.35, n.3, p. 603-614, 2009.
- Chaúque, F., (2012). Contribuição para o Conhecimento Da Evolução Tectônica Do Cinturão De Moçambique, Em Moçambique. Tese De Doutorado, Universidade De São Paulo.
- CHIOZZINI, V, G. Estudo da abundância, proveniência e padrões de distribuição elementar em sedimentos de superfície e perfis sedimentares no Complexo Estuarino Lagunar de Cananéia-Iguape, São Paulo - Brasil, com ênfase aos elementos terras raras e seu significado ambiental. 2017. Tese (Doutorado em Oceanografia Química) Instituto Oceanográfico, São Paulo.
- Dickson, B. L. and Scott, K. M. (1997) Interpretation of Aerial Gamma Ray Surveys-Adding the Geochemical Factors. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, Vol. 17(2), pp.187–200.
- 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.
- GTK Consortium, 2006. Notícia Explicativa da Carta Geológica de Moçambique 1:250.000, Volume 2, 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 / Scale 1:250 000. Ministério dos Recursos Minerais, Direcção Nacional de Geologia.
- (Groove et. Al., 2020;2022) *Geoestatistical Analysis of Lineament Domains: Case od the Apennine Seismic Province of Italy*.

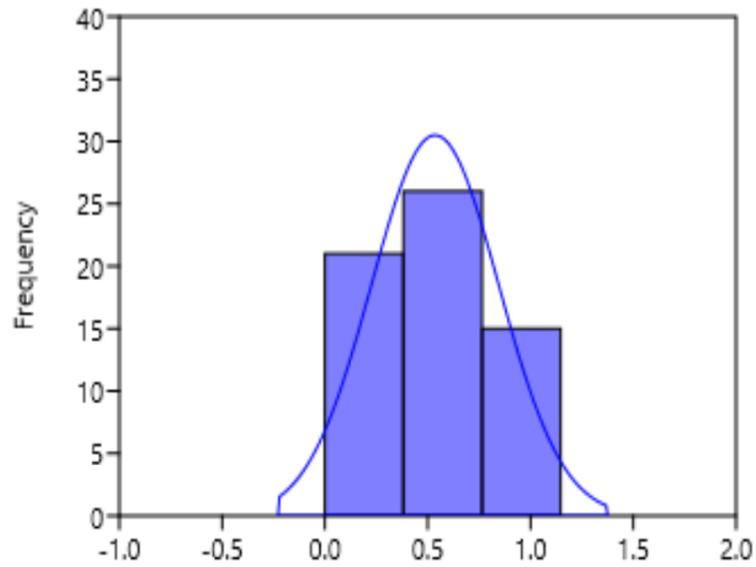
- Grunsky, E. C. (2007) The Interpretation of Regional Geochemical Survey Data. In— “Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration” edited by B. Milkereit, pp. 139-182.
- Grantham, G. H., Marques, J. M., Wilson, M. G. C., Manhiça, V., and Hartzer, F.J. (2011).— EXPLANATION OF THE GEOLOGICAL MAP OF MOZAMBIQUE, SCALE 1:1 000 000. Direcção Nacional De Geologia (DNG).
- GUEDES, L. P. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A.; SOUZA, E. G. Anisotropia no estudo da variabilidade espacial de algumas variáveis químicas do solo. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.32 no. 6, Seção I - Física do Solo, Viçosa Nov./Dec. 2008.
- Gunn, P. J. & Dentith, M. C., 1997. Magnetic responses associated with mineral deposits. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17(2): 145-158.
- Hawkes, H.E., Webb, J.S. (1962) Geochemistry in Mineral Exploration. Harper, New York.— ISO (International Organization for Standardization), 2005. Soil Quality - Guidance on the Determination of Background Values. International Standard ISO 19258: 2005(E), pp. 24.
- Karikari, F. (2002). GIS-based predictive mapping of lode gold potential in the Lawra Belt, northwest Ghana. Master of Science Thesis. International Institute for Geo-information and Earth Observation Enschede, The Netherlands. 131 p.
- Korkiakoski, Esko (2008). Geochemical Surveys in Mozambique: a data compilation project. Geological Survey of Finland, Special Paper 48, pp. 263-287.
- Kröner, A. and Stern, R. J. (2005) Pan-African Orogeny. Elsevier, Vol. 1, pp. 1-12.
- LAURIA, D, C.; ALMEIDA, R. M. R. de. Análise estatística como ferramenta para avaliar fontes de radionuclídeos em águas subterrâneas. International Nuclear Atlantic Conference – INAC, Santos - SP, Brasil, 2005.
- Licht, O. A. (1998).Prospecção Geoquímica – Princípios, Técnicas e Métodos. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil – CPRM.
- Ministério da Administração Estatal - MAE (2005). Perfil do Distrito de Manica, Província de Manica. Edição 2005. Coordenação: Direção da administração Local..
- Manjate, V. A. (1996). Modificações físico-ambientais provocadas pela exploração de ouro aluvionar na bacia do Revué, distrito de Manica. Tese de licenciatura. Departamento de Geologia. UEM. Maputo.

- Manjate, V.A. (2011). Geocronologia da região de Gondola-Nhamatanda (Centro de Mocambique).
- MAZZILLI, B. P.; MÁDUAR, M. F.; CAMPOS, M. P. Radioatividade no meio ambiente e avaliação de impacto radiológico ambiental, 2011.
- Manjate, V.A., (2015). Caracterização Geocronológica dos Granitóidos do Complexo de Bárue e da Suite de Guru, Centro-Oeste de Moçambique: Implicações Tectônicas e Metalogenéticas. Tese de Doutoramento.USP-2015.
- Middleton, M., Schnur, T., Sorjonen-Ward, P. & Hyvönen, E. (2015). Geological lineament interpretation using the object-based image analysis approach: Results of semi-automated analyses versus visual interpretation. Geological Survey of Finland, Special Paper 57,135–154.
- NETO, M. e ROCHA, A. (2010). Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos em Geologia e Mineração, IFRN, Natal.
- Nhamposse, L. C., (2009). Interpretação Geoquímica de Análises de Cu, Pb, Zn, Ni e Co em sedimentos de corrente do Monte Muandi, Província de Tete. Projeto Científico. Departamento de Geologia UEM. Maputo.
- Norconsult Consortium (2007). Mineral Resources Management Capacity Building Project, Republic of Mozambique. Sheet explanation: 32 sheets. Credit No. NDF335, Report No. B6.f., Scale: 1:250000, 778pp., National Directorate of Geology, Republic of Mozambique.
- Obretenov, N., (1977). Região Mineira de Manica. Relatório inédito, Dir. Nac. Geol., Maputo, Moçambique.
- O’leary, D. W., Friedman, J. D., & Pohn, H. A. (1976). Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. Geological Society America Bulletin, 87, 1463-1469.
- Owen DJ, et al. (2001) | SGD-Saccharomyces Genome Database.
- Palomera, R. P. A. (2004). Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems for Mineral Predictive Mapping, Deseado Massif, Southern Argentina. Master of Science Thesis. International Institute for Geo-information and Earth Observation Enschede, The Netherlands. 81 p.
- Reedman J. H., (1979). Techniques in Mineral Exploration. 4th Edition. Applied Science Publishers Ltd.
- Ramadass, G., SubhashBabu, A. and Udaya Laxmi, G. (2015) Structural Analysis of Airborne Radiometric Data for Identification of Kimberlites in Parts of Eastern Dharwar Craton. International Journal of Science and Research, Vol. 4, pp. 2375-2380.

- Sharma, P.V(1997) Environmental and Engineering Geophysics.Cambridge University PRESS, Cambridge 1-475.
- Sumburane, E. I., (2011). Evolução crustal dos terrenos granito greenstone de Manica, região centro-oeste de Moçambique. Tese de doutoramento. São Paulo.
- Von Sperling, M. (2007) Biological Wastewater Treatment Series. Vol. 5: Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. IWA Publishing, London.
- Webster, Richard and Oliver, Margaret A. (2007) Geostatistics for Environmental Scientists. 2nd ed. 315pp., Chichester. John Wiley & Sons, Ltd.
- Wilford, J. R.; Bierwith, P. N.; Craig, M. A., 1997. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17(2): 201-216.
- Winter, M. (1998). Webelements. University of Sheffield. Acesso em: 5 de abril de 2020.
- 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.

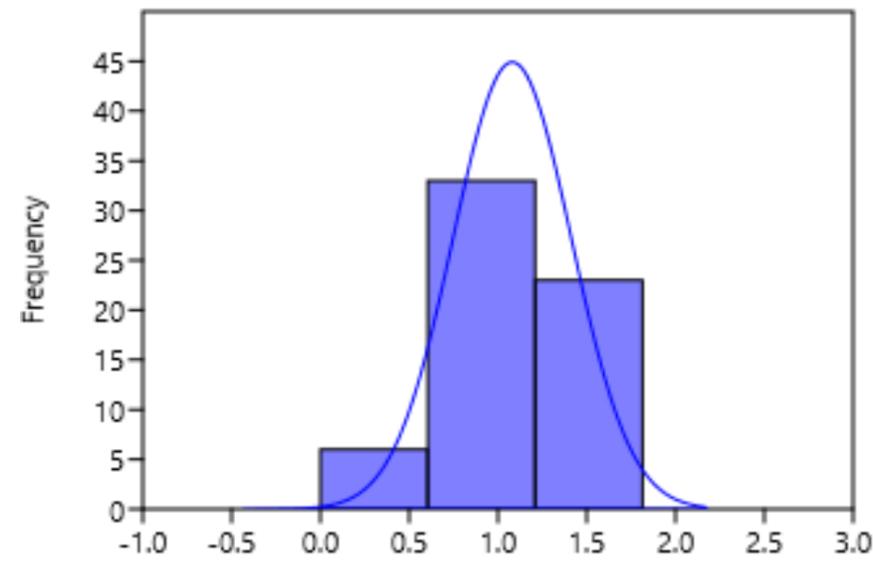
ANEXOS

Anexo 1: Histogramas ilustrando a distribuição de logaritmos naturais de concentrações de U, Th, e K, em amostras de sedimentos de corrente.



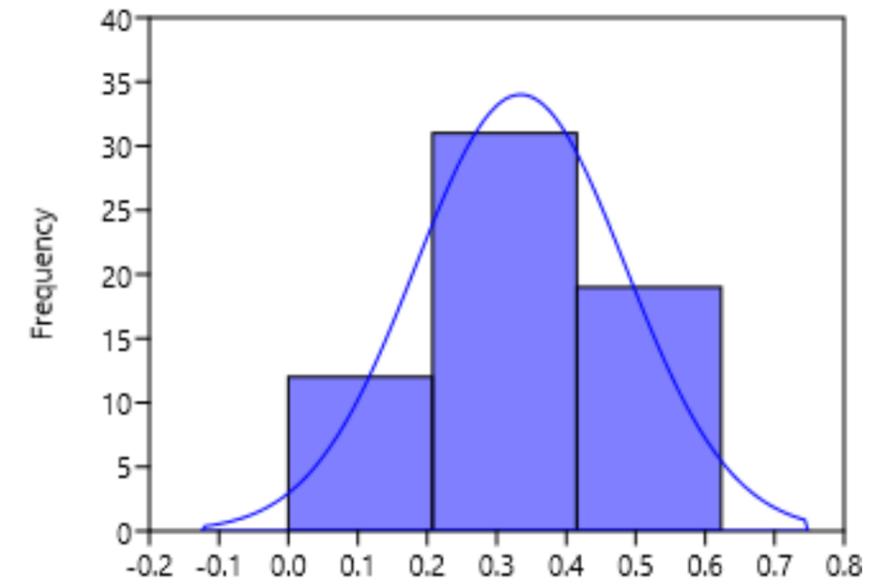
a) Histograma de uranio(ln)

(Desvio padrão=0,3; media=0,53)



b) Histograma de Torio(ln)

(Desvio padrão=0,33; media=1,07)



c) Histograma de Potassio(ln)

(Desvio padrão=0,15; media=0,3)

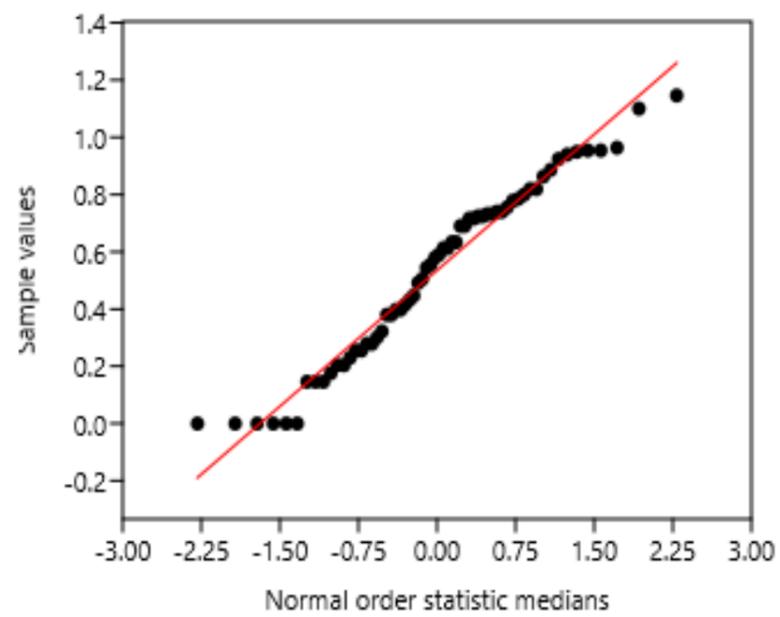


Gráfico de probabilidade de U(ln).

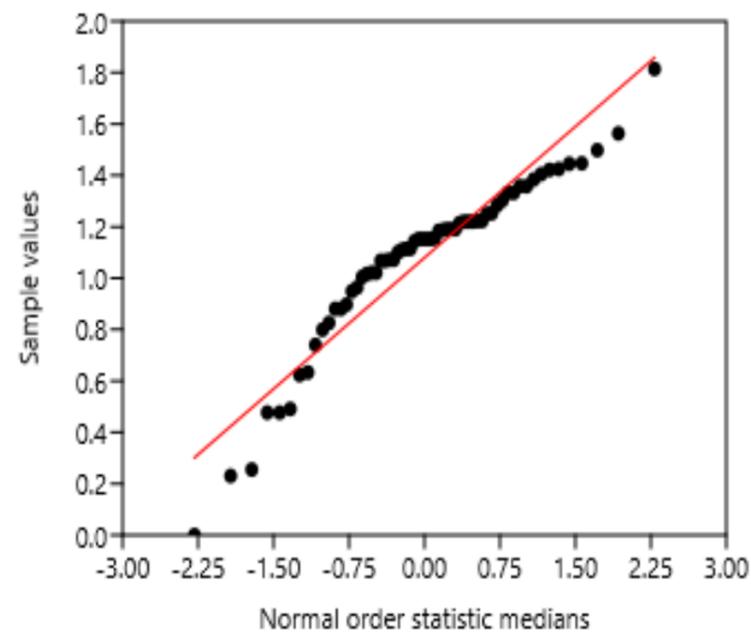


Gráfico de probabilidade de Th(ln).

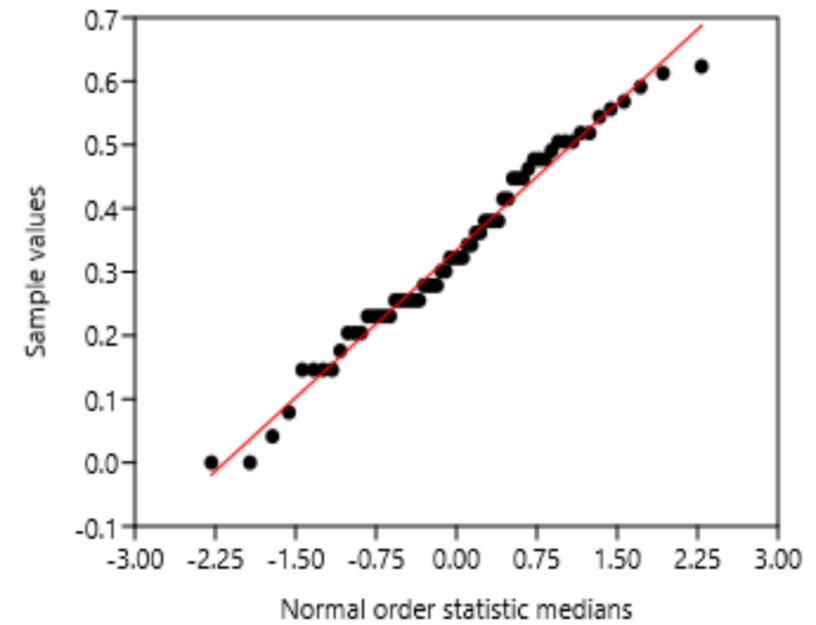


Gráfico de probabilidade de K(ln)

Anexo 2: Resumo estatístico dos dados brutos.

Parâmetros	K (%)	U(ppm)	Th(ppm)
N	62	62	62
Minimo	0	0	0
Maximo	3.2	13	64.2
Sum	79.9	206.6	877
Mean	1.28871	3.332258	14.14516
Variância	0.6236409	8.538942	100.9281
Stand. dev	0.7897094	2.922147	10.0463
Mediana	1.1	2.85	13.2
perccntil 25	0.7	0.875	8.125
percentil 75	1.925	4.775	17.225
Coeff. Ass	61.27908	87.69269	71.02285
Percentil 90	2.44	7.84	25.54
Percentil 95	2.87	8.17	29.975
Percentil 99	3.2	13	64.2

Anexo 3: Tabela de dados brutos e log-tranformados de sedimentos de corrente.

Amostra	Lat_Sul	Long_Este	Altitude (m)	U (ppm)	ln	K (%)	ln	Th (ppm)	ln
DN37SC-A1	-17.50833333	33.05	698	3.1	0.612784	1.6	0.414973	9.1	1.004321
DN04SC-A2	-17.525	33.08805556	753	2.5	0.544068	2.3	0.518514	6.6	0.880814
DN32SC-A2	-17.53111111	33.08138889	785	2.1	0.491362	0.7	0.230449	7.9	0.94939
DN06SC-A2	-17.56138889	33.1375	829	6.7	0.886491	0.4	0.146128	11.6	1.100371
DN02SC-A2	-17.51138889	33.10508333	750	0.6	0.20412	2.6	0.556303	5.3	0.799341
DN23SC-C2	-17.69569444	33.11019444	789	0.5	0.176091	0.9	0.278754	23.2	1.383815
DN22SC-C2	-17.69416667	33.10058333	779	0.7	0.230449	1.3	0.361728	13.2	1.152288
AZ20SC-C2	-17.68944444	33.09566667	773	1.5	0.39794	1	0.30103	14.5	1.190332
AZ12SC-B2	-17.62833333	33.14758333	888	2.8	0.579784	1	0.30103	13.2	1.152288
DN46SC-C2	-17.67588889	33.13405556	844	0.4	0.146128	1.4	0.380211	26.9	1.445604
DN21SC-C2	-17.67638889	33.115	806	4.2	0.716003	1.2	0.342423	13.2	1.152288
DN19SC-C1	-17.68663889	33.07241667	755	5.3	0.799341	2.2	0.50515	21.8	1.357935
DN48SC-C2	-17.70452778	33.12336111	812	3.9	0.690196	0.9	0.278754	15.7	1.222716
DN18SC-C1	-17.67908333	33.05880556	748	7.9	0.94939	0.7	0.230449	16.9	1.252853
DN47SC-C1	-17.74597222	33.08213889	833	4.7	0.755875	3.1	0.612784	25.4	1.421604
DN28SC-C2	-17.73816667	33.08422222	812	4.4	0.732394	1.8	0.447158	15.6	1.220108
DN11SC-B1	-17.63869444	33.06425	735	0	0	2.9	0.591065	30.5	1.498311
DN16SC-B1	-17.643	33.06805556	739	4.3	0.724276	2.1	0.491362	14.3	1.184691
DN17SC-B1	-17.64527778	33.07719444	781	2.6	0.556303	0.2	0.079181	10.8	1.071882
DN45SC-B1	-17.65091667	33.08316667	795	2.2	0.50515	2.2	0.50515	15.6	1.220108
AZ01SC-A1	-17.50808333	33.08230556	689	1.4	0.380211	2	0.477121	10.7	1.068186
AZ25SC-C3	-17.73044444	33.21747222	652	4.3	0.724276	0.6	0.20412	0	0
AZ43SC-B2	-17.60144444	33.16111111	878	1.6	0.414973	0.8	0.255273	12.9	1.143015
AZ07SC-B2	-17.59011111	33.15869444	849	0	0	2	0.477121	27	1.447158
AZ08SC-B2	-17.59711111	33.145	839	0.9	0.278754	0.7	0.230449	15.4	1.214844
AZ34SC-A2	-17.55886111	33.15222222	842	7.7	0.939519	1.4	0.380211	6.6	0.880814
AZ50SC-C3	-17.72636111	33.21152778	664	4.5	0.740363	0.1	0.041393	0.8	0.255273
AZ14SC-C3	-17.67075	33.23783333	684	4.5	0.740363	1.4	0.380211	11.9	1.11059
AZ52SC-C3	-17.66775	33.21433333	710	13	1.146128	0.4	0.146128	14.4	1.187521
AZ53SC-A1	-17.54005556	33.00241667	720	0.6	0.20412	3.2	0.623249	16.8	1.25042
AZ15SC-B3	-17.64358333	33.23047222	703	7.4	0.924279	0.6	0.20412	15.7	1.222716
Az29SC-c3	-17.74305556	33.21897222	637	8	0.954243	0.7	0.230449	5.7	0.826075
AZ54SC-B3	-17.59386111	33.24919444	732	6.3	0.863323	1.9	0.462398	64.2	1.814248
AZ13SC-B3	-17.63563889	33.22083333	717	8	0.954243	1.1	0.322219	0.7	0.230449
Az35sc-A3	-17.52472222	33.19008333	815	5	0.778151	0.7	0.230449	24.4	1.404834
AZ03SC-A3	-17.51677778	33.24986111	725	1	0.30103	1.1	0.322219	12	1.113943
Az40SC-A3	-17.54116667	33.24375	754	0	0	1.3	0.361728	25.6	1.424882
AZ49SC-C3	-17.7445	33.20430556	670	3.1	0.612784	0.5	0.176091	10.8	1.071882
Az39SC-A3	-17.51188889	33.21780556	766	0	0	1.6	0.414973	18.2	1.283301
DZ24SC-C3	-17.69916667	33.24788889	661	4.4	0.732394	1.4	0.380211	21.8	1.357935
DN41SC-A3	-17.57419444	33.23288889	765	2.9	0.591065	0.9	0.278754	35.6	1.563481
AZ26SC-C3	-17.71547222	33.21930556	665	3.9	0.690196	0.4	0.146128	4.5	0.740363
Az51SC-C3	-17.70638889	33.21419444	676	0.8	0.255273	1.1	0.322219	14.5	1.190332
DN10SC-B1	-17.59911111	33.08055556	748	0	0	0.6	0.20412	13.3	1.155336
Az38SC-B2	-17.58736111	33.12591667	811	0.8	0.255273	0.8	0.255273	19.1	1.303196
AZ36SC-A3	-17.50125	33.19091667	785	1.4	0.380211	1.1	0.322219	12	1.113943
Az44SC-B3	-17.61847222	33.2145	739	1.8	0.447158	2.7	0.568202	15.6	1.220108

DN27SC-C2	-17.70316667	33.15719444	900	8.2	0.963788	1.2	0.342423	3.2	0.623249
DN09SC-B2	-17.59186111	33.09777778	791	11.6	1.100371	0	0	13.2	1.152288
DN33SC-A2	-17.52291667	33.12277778	792	1.7	0.431364	1.8	0.447158	9.4	1.017033
DN05SC-A1	-17.57019444	33.02252778	688	0.4	0.146128	0.8	0.255273	9.5	1.021189
DN30SC-A1	-17.57113889	33.03891667	713	5.1	0.78533	0	0	3.3	0.633468
DN31SC-A1	-17.57541667	33.05116667	720	4.2	0.716003	0.4	0.146128	14.5	1.190332
DN42SC-A1	-17.56591667	33.00494444	676	0	0	1.8	0.447158	8.2	0.963788
DN55SC-C2	-17.74791667	33.02580556	788	1.1	0.322219	0.8	0.255273	2.1	0.491362
DN56SC-C2	-17.731	33.00816667	782	3.3	0.633468	0.9	0.278754	2	0.477121
DN57SC-C2	-17.71872222	33.02852778	780	1.5	0.39794	2.5	0.544068	6.9	0.897627
DN58SC-C2	-17.70797222	33.01675	778	3.3	0.633468	0.8	0.255273	2	0.477121
DN59SC-B2	-17.66408333	33.02269444	734	0.9	0.278754	2.2	0.50515	10.7	1.068186
DN60SC-B2	-17.63944444	33.04058333	718	5.6	0.819544	2	0.477121	20.5	1.332438
DN61SC-B2	-17.58447222	33.03677778	694	5.6	0.819544	2.3	0.518514	20.5	1.332438
DN62SC-A1	-17.58019444	33.03105556	689	0.4	0.146128	0.8	0.255273	9.5	1.021189

Anexo 4: Mapa geoquímico com delimitação de áreas anômalas de Urânio, Tório e Potássio.

