



**Gelson Gabriel Girão
Carlos**

**ATLAS GEOQUÍMICO DA ILHA DO SAL (CABO
VERDE)**



**Gelson Gabriel Girão
Carlos**

**ATLAS GEOQUÍMICO DA ILHA DO SAL, CABO
VERDE**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geomateriais e Recursos Geológicos, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e da Doutora Marina Marques da Silva Cabral Pinto, Investigadora Doutorada do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho á minha querida mãe Virgínia Berta (Gina), por todas as lutas, por todos sacrifícios feitos em prol da minha formação, por todos os conselhos e amor incondicional.

Ao meu pai Gabriel (Gabi) e aos meus irmãos pela amizade, cumplicidade, apoio e por me incentivarem a correr atrás dos meus sonhos.

Aos meus sogros, Helder Pitta Gróz e Ana Lucas por toda amizade e confiança depositada em mim,

A minha adorável esposa Denise por me apoiar em todos os momentos, por acreditar sempre em mim e por ser o meu suporte ao longo dessa difícil jornada.

A minha filha Kyara por me proporcionar a experiência mais intensa da minha vida, pelos momentos magníficos passados durante todo esse processo e me fazer perceber o real sentido da palavra “AMOR”

o júri

presidente

Professor Doutor José Francisco Horta Pacheco dos Santos
Professor Associado, Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Vogais

Prof. Doutor Pedro Alexandre Henriques Dias Morgado Dinis
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra

Doutor Jorge Manuel Espinha Marques
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Doutor Marina Marques da Silva Cabral Pinto
Investigadora Doutorada, Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer à Deus pelo Dom da vida, por ser o meu rochedo e a minha fortaleza.

Ao Professor Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva e a Professora Doutora Marina Marques da Silva Cabral Pinto por aceitarem o desafio de orientar esse trabalho, pela confiança depositada em mim e por serem incansáveis ao longo da execução do mesmo.

Ao Ministério dos Recursos Minerais e Petróleo (MIREMPET) por me apoiar financeiramente e me ter concedido a oportunidade de frequentar o curso de Mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Ao coletivo de professores do Mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos pela paciência e todos os ensinamentos transmitidos ao longo dos dois anos lectivos, em especial o Professor Doutor Jorge Manuel Girão Medina por toda a disponibilidade e apoio para a disponibilização do software ArcGis e toda a ajuda prestada na elaboração dos mapas.

O meu sincero agradecimento à Eng^a Cristina de Estrela Sequeira pela cooperação na análise laboratorial das amostras de solo Difracção de Raios X, à Mestre Denise Terroso pelo apoio nos trabalhos de Laboratório, ao Doutor Nuno Durães e à Doutora Carla Candeias por estarem sempre disponíveis quando precisei.

Um agradecimento especial a minha esposa e colega Denise Pitta Groz, aos meus colegas de luta Tiago Teixeira, Cátia Lavínia, André Couto, Romão Luciano, Kevin Castro e Cecília Baptista pela agradável convivência durante estes 3 anos.

A todo o colectivo do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro pela amizade demonstrada durante estes 3 anos de convivência, a todos, muito obrigado.

palavras-chave

Geoquímica; Solos; Cartografia; Atlas Geoquímico; Elementos Potencialmente Tóxicos; Ilha do Sal (Cabo Verde)

resumo

A cartografia geoquímica é uma ferramenta de capital importância para o conhecimento dos processos geoquímicos que ocorrem numa determinada região. A representação espacial proporciona um conjunto de informações que permite uma fácil interpretação e auxilia na tomada de decisões de políticas públicas que contemplem um equilíbrio entre a saúde, meio ambiente e economia de um país.

A ilha do Sal, com uma área de 216 km² é uma das mais pequenas ilhas do arquipélago de Cabo Verde. Esta ilha apresenta uma largura máxima de 11,8 km, um comprimento de 29,7 km e uma altitude máxima de 406 m.

No presente trabalho foram recolhidas 53 amostras de solos correspondendo a uma densidade de 1 amostra/3km². No que concerne aos procedimentos de amostragem, preparação física das amostras, análise química e controlo de qualidade dos resultados seguiram-se as recomendações definidas no projecto "IGCP 259 – International Geochemical Mapping". As amostras foram decompostas com uma solução modificada de água régia e analisadas para 37 elementos (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W and Zn) por ICP-MS. Paralelamente foram determinados 5 parâmetros característicos do solo (pH, condutividade, matéria orgânica, cor e textura). A utilização da Análise de Componentes Principais (ACP) permitiu distinguir associações entre elementos químicos, quer de origem geogénica quer antropogénica. Os valores de base da Ilha do Sal foram estabelecidos tendo em consideração o valor da mediana para os elementos estudados.

Na avaliação dos riscos para a saúde dos elementos potencialmente tóxicos (EPT) foram seleccionados os As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn. Os riscos não cancerígenos e cancerígenos foram estimados de acordo com a metodologia proposta pela Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Para a estimativa do risco ecológico para a saúde, foram estimados os índices PERI e Pn segundo os métodos recomendados por Hakanson e Silva. Para a elaboração dos mapas foi utilizada o método de interpolação denominado inverso da distância ponderada (IDW).

Os resultados obtidos permitiram concluir que existe uma grande variação textural dos solos da ilha do Sal e que no geral apresentam elevada percentagem de quartzo. A Análise em Componentes Principais permitiu distinguir diferentes tipos de associações de variáveis realçando a importância das associações do tipo geogénico relativamente às associações do tipo antropogénico. A avaliação de risco à exposição carcinogénica ao As, Cd, Cr, e Ni revelou que não representam risco para os residentes da ilha, e que para a avaliação do risco ecológico apenas os elementos As, Cd e Hg ocorrem em classes de risco.

keywords

Geochemistry; Soils; Mapping; Geochemical Atlas; Potential Toxic Elements; Sal island (Cabo Verde)

abstract

The geochemical mapping is an important tool for the geochemical knowledge of a given region. Its spatial representation provides a set of information that allows easy interpretation and helps in the decision-making of public policies that contemplate a balance between health, environment and economy of a country.

The island of Sal, with an area of 216 km² is one of the smallest in the archipelago of Cape Verde, with a maximum width of 11.8 km, a length of 29.7 km and a maximum altitude of 406m.

In this study 53 soil samples were collected corresponding to a density of 1 sample/3 km². Regarding the sampling procedures, physical sample preparation, chemical analysis and quality control, the recommendations of the "IGCP 259 - International Geochemical Mapping" project were followed. The samples were decomposed with aqua regia solution and analysed for 37 elements (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W and Zn) by ICP-ES. Additionally, five characteristic soil parameters (pH, conductivity, organic matter, colour and texture) were also determined. The use of Principal Component Analysis allowed separating associations between chemical elements, either of geogenic or anthropogenic origin.

The baseline values for Sal Island were estimated according to ...

For the health risk assessment the potential toxic elements (PTE) analysed were As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn. The non-carcinogenic and carcinogenic risks were estimated according to the methodology proposed by the United States Environmental Protection Agency (USEPA). For the estimation of the ecological health risk, the PERI and Pn indices were estimated according to the methods recommended by Hakanson and Silva. The interpolation method called inverse weighted distance (IDW) was used to prepare the maps.

Índice

1. INTRODUÇÃO	3
2. ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE	15
2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO	15
2.2. GEOLOGIA	16
2.1.1. Origem do arquipélago	16
2.1.2. Sequência vulcano-sedimentar	18
2.3. GEOMORFOLOGIA	21
2.4. CLIMA	22
2.5 RECURSOS HÍDRICOS DO ARQUIPÉLAGO	23
3. ENQUADRAMENTO DA ILHA DO SAL	27
3.1. INTRODUÇÃO	27
3.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	28
3.3. GEOMORFOLOGIA	30
3.4. CLIMA	31
3.5. SOLOS	31
3.6. FAUNA E FLORA	33
4. AMOSTRAGEM E MÉTODOS DE ANÁLISE	37
4.1. DETERMINAÇÃO DA TEXTURA DOS SOLOS	40
4.2. DETERMINAÇÃO DA COR NAS AMOSTRAS DE SOLO	41
4.3. DETERMINAÇÃO DO pH DO SOLO	43
4.4. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE)	43
4.5. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA (MO)	43
4.6. ANÁLISE MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS DE SOLOS	44
4.7. ELEMENTOS MAIORES, MENORES E VESTIGIAIS NA AMOSTRA DE SOLOS	44
4.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	45
4.8.1. Estatística univariada	45
4.8.2. Aplicação de métodos de estatística multivariada	
4.9. ESTIMATIVA DO RISCOS ECOLÓGICOS PARA A SAÚDE HUMANA	45
4.10. ESTIMATIVA DO RISCO CANCERÍGENO E NÃO CANCERÍGENO PARA A SAÚDE HUMANA	46
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
5.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO	51
5.1.1. Análise da cor do solo	51
5.1.2. Análise textural das amostras	52
5.2. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS DE SOLOS	52
5.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE SOLOS	53
5.3.1. Análise estatística univariada	54
5.4. RISCOS DE SAÚDE ASSOCIADOS AOS EPT NA ILHA DO SAL	54
5.4.1. Estimação dos valores de base para os EPT e mapeamento dos índices de enriquecimento	76
5.4.2. Avaliação do risco ecológico	76

5.4.3. Avaliação do risco para a saúde humana	79
6. CONCLUSÕES	81
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	91
	99

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Localização do arquipélago de Cabo Verde (extraído de https://www.insp.gov.cv/index.php/component/content/article/103-outros/102-republica-de-cabo-verde)	15
Figura 2.2 - Distribuição das ilhas de Cabo Verde segundo os três pedestais (adaptado de Bebiano, 1932).	17
Figura 3.1 - Carta Geológica do Sal na escala 1/25.000' editada pelo Instituto de Investigação Científica Tropical em 1990 e modificado por P.C. Torres.	29
Figura 4.1 – Locais de amostragem de solos sobrepostos à carta geológica simplificada da ilha de Santiago.	37
Figura 4.2 - Fluxograma das fases de preparação e análise das amostras de solo.	39
Figura 4.3 - Diagrama triangular utilizado para a classificação da textura dos solos.	40
Figura 4.4 - Carta de Munsell para a determinação da cor.	41
Figura 4.5 - Iniciais das cores principais e intermédias da árvore de Munsell.	42
Figura 5.1 - Distribuição das texturas das amostras de solos representativas das Formações: (a) Depósitos Recentes, (b) Complexo Eruptivo Antigo, (c) Complexo Ponta do Altar-Baleia e (d) da Formação Monte Grande.	51
Figura 5.2 - Proporções relativas dos diferentes minerais nas amostras de solo da ilha de Sal, Cabo Verde em função das respetivas Formações: (a) Depósitos Recentes, (b) Complexo Eruptivo Antigo, (c) Complexo Ponta do Altar-Baleia e (d) da Formação Monte Grande.	52
Figura 5.3 - Projeção das coordenadas das 37 variáveis nos 1º (a) e 2º (b) planos fatoriais.	57
Figura 5.4 – Cartografia das coordenadas das amostras no (a) CP1 [Fe, Co, Mn, Sc, Al, Zn, Ga, Ni, La (valores positivos) em oposição às variáveis Ca, Sr, B e Se (valores negativos)]; (b) CP2 [Mg, Ni e Ti (valores positivos) em oposição às variáveis Bi, Tl; As, Pb, Sb, Ga (valores negativos)]; (c) CP3 [Au, La, P e U (valores positivos)] As variáveis explicadas nos eixos são apresentadas por ordem decrescente de importância das respetivas coordenadas;(d) Carta geológica da ilha do Sal [editada pelo Instituto de Investigação Científica Tropical em 1990 e modificado por P.C. Torres].	58
Figura 5.5 – Cartografia das coordenadas das amostras no (a) CP4 [Th (valores positivos) em oposição às variáveis Cd, Cr, P (valores negativos)]; (b) CP5 [CE e Na (valores positivos) em oposição às variáveis pH (valores negativos)]. As variáveis explicadas nos eixos são apresentadas por ordem decrescente de importância das respetivas coordenadas;(c) Carta geológica da ilha do Sal [editada pelo Instituto de Investigação Científica Tropical em 1990 e modificado por P.C. Torres]	59
Figura 5.6 - Cartografia dos teores de Ag e Al com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	61
Figura 5.7 - Cartografia dos teores de As e Ba com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	62
Figura 5.8 - Cartografia dos teores de Ca e Cd com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	63
Figura 5.9 - Cartografia dos teores de Co e Cr com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	64
Figura 5.10 - Cartografia dos teores de Cu e Fe com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	65
Figura 5.11 - Cartografia dos teores de Ga e Hg com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	66
Figura 5.12 - Cartografia dos teores de K e La com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	67
Figura 5.13 - Cartografia dos teores de Mg e Mn com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	68
Figura 5.14 - Cartografia dos teores de Mo e Na com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	69
Figura 5.15 - Cartografia dos teores de Ni e P com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	70
Figura 5.16 - Cartografia dos teores de Pb e Sc com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	71
Figura 5.17 - Cartografia dos teores de Se e Sr com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	72
Figura 5.18 - Cartografia dos teores de Ti e Th com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	73
Figura 5.19 - Cartografia dos teores de U e V com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	74
Figura 5.20 - Cartografia dos teores de Zn e valores de CE com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	75
Figura 5.21 - Cartografia dos valores de MO e pH com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.	76
Figura 5.22 – Mapas de distribuição espacial mostrando os gradientes de enriquecimento dos elementos As, Cd, Co e Cu tendo em conta os valores de base calculados	77

Figura 5.23 – Mapas de distribuição espacial mostrando os gradientes de enriquecimento dos elementos Cr, Hg, Mn e Ni tendo em conta os valores de base calculados	78
Figura 5.24 – Mapas de distribuição espacial mostrando os gradientes de enriquecimento dos elementos Pb e Zn tendo em conta os valores de base calculados	79
Figura 5.25 – Mapas de distribuição espacial dos valores de Pn para os elementos que apresentam alto risco ecológico (ou seja, para As, Cd e Hg)	79
Figura 5.26 – Índice de risco ecológico potencial (PERI) mostrando a contribuição combinada de todos os elementos examinados neste estudo	80

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Dimensões comparativas das ilhas de Cabo Verde (Bebiano, 1932).	16
Tabela 2.2 - Quadro vulcano-estratigráfico de Cabo Verde (Serralheiro, 1976 in Mota Gomes, 1999).	19
Tabela 2.3 - As principais formações de fácies terrestre e marina do Complexo Eruptivo Principal (Serralheiro, 1976).	21
Tabela 2.4. Disponibilidade total de águas superficiais e subterrâneas em milhões de m ³ ano ⁻¹	24
Tabela 5.1 – Parâmetros estatísticos dos teores dos elementos analisados nos solos da ilha do Sal, Cabo Verde (n = 53).	55
Tabela 5.2 - Parâmetros estatísticos dos teores dos elementos analisados nas amostras de solo correspondentes às Formações: (a) Depósitos Recentes.	56
Tabela 5.3 – Coordenadas das 37 variáveis relativas aos 5 primeiros Eixos Principais (EP).	56
Tabela 5.4 - Valores de Base para os solos da ilha do Sal	76
Tabela 5.5 - Quocientes de risco (QR) das várias vias de exposição aos EPT e Índice de risco (IR) resultante do somatório das diferentes vias de exposição.	81
Tabela 5.6 - Risco de câncer para os elementos As, Cd, Cr e Ni para a ilha do Sal.	81

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A Terra é um sistema dinâmico onde os materiais são transportados e modificados pela atuação de uma grande quantidade de processos, seja no ambiente profundo onde predominam aqueles caracterizados por altas pressões e temperaturas e escassa circulação de fluidos e oxigênio livre; seja no ambiente superficial onde ocorrem os processos de erosão e intemperismo com baixas pressões e temperaturas, oxigênio livre abundante e livre circulação de água (Rose et al., 1979).

A cartografia geoquímica é uma ferramenta que permite visualizar uma base de dados de concentração dos diferentes elementos químicos, em função de intervalos de concentração em um determinado espaço (Chiprés et al., 1998). Pesquisadores da ex-URSS na década de 20, foram os pioneiros na elaboração de mapas geoquímicos como ferramenta para a localização de jazidas minerais (Darnley et al., 1995). Posteriormente e devido a uma crescente interação entre o Homem e o solo, principalmente devido ao crescimento populacional, a cartografia geoquímica se converteu numa ferramenta para a quantificação da contaminação antrópica da superfície terrestre (Darnley, 1995, 1997).

Apesar da importância econômica e ambiental dos mapas geoquímicos, os primeiros movimentos para a produção concreta destes mapas a nível global surgiram nos anos 40, no entanto com o objetivo era produzir um mapa geológico da Terra (Burenkov et al., 1999). A partir dessa década, evolução da cartografia geoquímica ganhou impulso com o desenvolvimento de técnicas analíticas tais como a espectroscopia ótica de emissão, a análise colorimétrica, etc. Em 1964, Webb defendeu a criação na Grã-Bretanha de um projeto nacional de geoquímica multielementar, com objetivo de ser aplicado à agricultura, saúde humana e poluição (Webb et al., 1973, 1978). Na década de 70 a cartografia geoquímica multielementar teve um grande desenvolvimento em países como EUA, Canadá, Irlanda e Uganda, eram analisados até 30 elementos, sendo o urânio o elemento de maior interesse (Webb et al., 1973, 1978; Reedman, 1973; Ferreira 2000).

Os primeiros estudos de cartografia geoquímica aplicada à avaliação ambiental começaram a ser realizados na década de 80 principalmente em escalas regionais e nacionais nos EUA e Europa (Shackletten et al., 1971; Shackletten & Boerngen, 1984). Estes projetos continuaram a se desenvolver sobretudo na década de 2000 nos EUA (Smith et al., 2005) e Europa (Reimann et al., 2000; Plant et al., 2001; Salminen et al., 2005).

Apesar de alguns países já terem produzido alguns atlas geoquímicos, Inglaterra, Escócia, País de Gales e Irlanda (BGS, 1993); Finlândia (Koljonen, 1992); Estados Unidos (Reid, 1993) Canadá (Fortescue e Vida 1989, 1990, 1991a, 1991b); Rússia (Burenkov et al. 1991); China (Xuejing et al. 1997), a seleção dos elementos neles apresentados é limitada. Devido a falta de padronização nas metodologias de trabalho e na apresentação dos dados geoquímicos entre os diferentes países, em 1988 foi criado um projecto denominado “International Geochemical Mapping” com a missão de estabelecer os melhores critérios que permitissem obter um conjunto universal de dados quantitativos de qualidade com os quais seria possível a elaboração de um mapa geoquímico global (Darnley et al., 1995). O IGCP 259 - International Geological Correlation Programme, Project nº 259 foi o primeiro estágio do International Geochemical Mapping (IGM) e serviu para rever, identificar problemas e discutir soluções quanto as metodologias usadas na produção dos mapas geoquímicos regionais e nacionais (Darnley et al., 1995). O segundo estágio denominado “Global Geochemical Baselines” surge como

consequência do IGCP 259, que recomendava a elaboração de um conjunto de referência global de materiais, criado segundo métodos sistemáticos predefinidos e analisados em determinados laboratórios de análise química. Ficaram assim definidas as recomendações para a elaboração de uma base de dados global de geoquímica (Global Geochemical Database).

Para a elaboração de um mapa geoquímico do Globo estabeleceu-se a Rede Global de Referência (GRN) baseada em cerca de 5000 células de 160x160 km cada. As amostras colhidas em cada uma das células serviriam como materiais de referência analítica (Darnley et al., 1995). Foram propostas metodologias para a elaboração de mapas geoquímicos a escala nacional/regional ou mesmo superior, de maneira que dados de diferentes escalas de detalhe sejam compatíveis, bem como se torne possível comparar dados de diferentes países/regiões. Foram propostas recomendações sobre as análises químicas (teores de 78 elementos químicos), análises multielementares com base em técnicas de FRX, ICP-AES, AAN, tipo de controlo da qualidade analítica, etc. Do mesmo modo definiram-se metodologias para a amostragem, materiais a serem amostrados, densidade de amostragem, seleção dos locais de amostragem, quantidade de material colhido, etc. (Darnley et al., 1995).

A implementação das recomendações do relatório foi delegada para uma série de comissões regionais, sob a orientação geral do Comité de Direcção do Grupo de Trabalho. Cada Comissão regional representou um grupo de países, por exemplo, Europa, América do Norte, ou um único país, se grande, por exemplo, China, Rússia, Brasil e Índia. Na Europa, o Fórum Europeu de Pesquisas Geológicas (FOREGS) tem servido como o foco de uma comissão regional.

O IGCP 259 foi um marco no mapeamento geoquímico mundial (Salminen et al. 1998), pois a partir deste projeto delineou-se uma estratégia de normatização que permitiu a elaboração de inúmeros outros trabalhos, por vários países do mundo. Entre alguns exemplos de sucesso de países que adoptaram os moldes da IGCP para o mapeamento geoquímico, figuram a China, EUA, Canadá, Austrália, Rússia, Portugal, etc.

Na China, Xuejing et al. (1997) realizaram um mapeamento nacional (5.17 milhões de km²) e adoptara-se densidades de amostragem de 1 amostra/4 km² e 1 amostra/20 - 50 km². Ferreira et al. (2001) optaram por adotar uma baixa densidade para o mapeamento geoquímico do país, coletando 1 amostra/135 km² para Portugal.

A Austrália, que desde o início dos anos 2000 desenvolveu contínuos estudos, apresenta uma densidade média de amostragem para sedimentos de corrente de 1 amostra/5500 km². Dando sequência aos estudos já desenvolvidos, Lech e Caritat (2007) executaram o levantamento geoquímico uma área aproximada de 155 000 km², com uma densidade de amostragem de 1 amostra para cada 2119 km².

No Canadá também ocorreu o desenvolvimento de um programa nacional de amostragem geoquímica, o qual se iniciou pela coleta de amostras de sedimentos fluviais ou de solos em escalas iguais ou menores que 1:250.000, com malhas menores do que 1 amostra/300 km².

A Rússia realizou mapeamentos nas escalas de de 1:1.000.000, 1:200.000 e 1:50.000, durante o período de 1991 a 2005 e as densidades de amostragem que variaram de 1 amostra para cada 100 km² a 1 amostra para cada 600 km².

Nos EUA com grande tradição em estudos geológicos e geoquímicos conta com uma cobertura de 71 % do território americano, com amostras de todos os estados, perfazendo uma densidade de amostragem para sedimentos de corrente de 1 amostra/ 289 km² (Smith, 2012).

A contaminação dos solos por Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) é um problema global e dos mais importantes que afetam as sociedades no século XXI. Atividades humanas, tais como a tecnológica, industrial, agropecuária, mineira, uso indiscriminado de fertilizantes químicos com metais pesados e o crescimento populacional ou urbanização, contribuem em poluição em ambientes terrestres (Santos et al., 2016). As altas concentrações de metais pesados nos solos constituem um risco para a vida dos organismos e para a saúde humana (Cabral Pinto, 2001, 2014, 2019, 2020, Kumar et al 2020, 2021a).

Alguns metais como o cobalto (Co), crómio (Cr), cobre (Cu), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn) são considerados essenciais e são importantes para funções metabólicas dos seres humanos. A ausência ou deficiência de alguns deles pode ocasionar sérias doenças, tais como, anemia, retardamento do crescimento de crianças, má formação óssea em crianças, entre outras, no entanto estes metais, quando presentes em concentrações elevadas são considerados elementos potencialmente tóxicos (EPT). Por outro lado, outros metais como o arsénio (As), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), e chumbo (Pb) não apresentam qualquer propriedade benéfica para os seres vivos e estão muito frequentemente associados a intoxicações do Homem (Varannes, 2003, Hernández et al., 2015, Ruelas-Inzunza et al. 2010). Devido a sua elevada toxicidade, os impactos causados na saúde humana pela exposição prolongada aos metais pesados variam desde envenenamentos, que podem causar danos em órgãos vitais e doenças oncológicas, até à morte (Nava-Ruiz e Méndez-Armenta 2011, Cabral Pinto et al 2015, 2017, 2018, 2019a, b, 2020).

A ingestão de alimentos e a inalação são as principais causas de contaminação para a maior parte dos indivíduos (Zukowska e Biziuk, 2008), contudo, a deficiente lavagem das mãos após contacto com solo contaminado também contribui para casos de toxicidade no homem (Alloway, 2013).

Arsénio (As): é um metaloide que apresenta uma cor branca prateada, tem brilho metálico e é muito quebradiço- Este elemento tem um número atómico de 33, massa atómica 7, densidade de 5.73 g cm⁻³ e é o 55º elemento mais abundante na litosfera. Este elemento encontra-se na natureza tanto na forma elementar como na forma de composto, sendo esta última a mais abundante. Pode apresentar-se com vários números de oxidação: As³⁻, As⁰, As³⁺ e As⁵⁺, sendo os mais importantes, o As³⁺ presente em ambientes redutores e o As⁵⁺ presente em ambientes oxidantes (Cotton et al., 1999). Este elemento é amplamente distribuído na crosta terrestre e está presente em mais de 200 minerais. Os minerais mais comuns de As são a arsenopirite (FeSAs), o realgar (AsS), entre outros (Reimann e Caritat, 1998). O As ocorre naturalmente no solo como resultado do desgaste da rocha-mãe. Embora grande parte das rochas ígneas possuam este elemento na sua composição, as maiores concentrações deste metal são encontradas em rochas sedimentares argilosas (por exemplo, xistos e argilitos) e em zonas ricas em minerais de sulfureto (Environment Agency, 2009). As principais fontes antropogénicas do As incluem atividades como: tratamento de madeiras, produção de produtos agrícolas (pesticidas, herbicidas), rações para engorda de aves e outros animais, anticorrosivos, uso como descolorante no fabrico de vidro, cerâmica, pinturas, produção de ligas, medicamentos, baterias de chumbo e rejeitos provenientes da atividade mineira (IPCS, 2001). A exposição ao As ocorre principalmente por ingestão de

alimentos contaminados como frutos do mar, carnes vermelhas, e peixe, por ingestão de águas igualmente contaminadas e por inalação de ar contaminado, aerossóis ou partículas (Cabral Pinto e Ferreira da Silva 2019). Os sinais clínicos e os sintomas iniciais da intoxicação aguda associados são: dor abdominal, vômito, diarreia, dor muscular e fraqueza. Esses efeitos frequentemente são seguidos por dormência e formigamento das extremidades, câibras e pápula eritematosa. Estudos relatam lesões dérmicas, como hiper/hipo pigmentação, neuropatia periférica, câncer de pele, bexiga e pulmão, e doença vascular periférica (Sakuma, 2003). A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer classifica o As e os seus compostos inorgânicos como cancerígenos para o ser humano (Grupo 1). O ácido dimetilarsínico e o ácido monometilarsônico são classificados como possíveis cancerígenos para o ser humano (Grupo 2B).

Cádmio (Cd): é um metal de cor branca ligeiramente azulada, tem um peso atômico de 112, número atômico 48 e uma densidade relativa de 8 g cm^{-3} . Segundo Bradl (2005) é o 64° elemento mais abundante na litosfera, sendo que os solos apresentam uma concentração variável entre 0.1 e 1 mg kg^{-1} . Este elemento não se encontra na natureza no estado livre. O principal mineral é a greenockite (CdS) que se encontra em pequenas quantidades no solo, usualmente associada a minérios de zinco, especialmente a esfalerite. Este elemento forma parte da composição natural de algumas rochas e solos na natureza, sendo essas as fontes principais desse metal na natureza, no entanto as emissões antropogênicas de Cd, excedem as emissões naturais cerca de 10 vezes (José, 2012). Sabe-se que cerca de 85 % da contaminação ambiental com Cd provém de emissões ligadas a atividades mediadas pelo homem como a extração e uso de minérios como zinco, cobre e chumbo, o uso de combustíveis fósseis e a inceneração de lixo urbanos e industriais, entre outros exemplos (Perk, 2006). De forma geral, a exposição ao Cd ocorre principalmente por via oral, através da ingestão de água e alimentos contaminados, por inalação, através da introdução de partículas de pequena dimensão no aparelho respiratório, durante atividades industriais e em pessoas expostas ao fumo do tabaco e ainda por via dérmica (Nava-Ruiz e Méndez-Armenta 2011). A exposição a partir da ingestão de quantidades muito baixas de Cd causam geralmente irritação gastrointestinal, vômitos e diarreias, quando inalado causa dores de cabeça, dores de peito e edema pulmonar. Os principais efeitos tóxicos derivados de uma exposição crônica a este elemento são o cancro do pulmão, derivado do fumo do tabaco, lesões proliferativas na próstata, enfraquecimento da estrutura óssea, disfunção renal e hipertensão (Zhao et al., 2012 Cabral Pinto et al, 2017, 2018). Este elemento é classificado como cancerígeno para humanos (Grupo I) pela Internacional Agency for Research on Cancer (IARC) e provavelmente cancerígeno humano (Grupo B1) pela USEPA.

Chumbo (Pb): é um metal de cor prateada, brilhante, macio e denso, a sua massa atômica é igual a 207 e o seu número atômico é 82, possui uma densidade de 11.5 g cm^{-3} . Este elemento apresenta um ponto de fusão relativamente baixo de 327.5 °C e um ponto de ebulição de 1740 °C , sendo o 37° mais abundante na litosfera. Segundo Alloway (2013), em solos não contaminados as concentrações de Pb são inferiores a 20 mg kg^{-1} . Os minerais mais comuns de Pb são a galena (PbS), a anglesite (PbSO₄), a cerusite (PbCO₃), entre outros. Os estados de oxidação Pb²⁺ e Pb⁴⁺ são os mais comuns, no entanto o íon Pb²⁺ o mais predominante (Steinnes, 2013). O Pb é considerado um elemento não essencial para os organismos vivos e é tóxico (Reimann e Caritat, 1998). O Pb tem origem tanto natural como antropogénica. As maiores fontes naturais deste elemento estão associadas às emissões vulcânicas e ao desgaste geológico. As fontes antropogénicas podem ter diversas proveniências uma vez que o Pb possui um vasto leque de aplicações nomeadamente em baterias, monitores de computadores,

joias, ligas, tintas para cabelo, torneiras, pigmentos, óleos, cosmetologia, materiais cerâmicos, munições, soldas, armamento, radiação atômica, inseticidas, etc (Perk, 2006;). Segundo Varennes (2003) mais de 90 % das emissões de chumbo durante o século XX resultaram dos escapes dos veículos automóveis que utilizavam gasolina com chumbo. As tintas à base de Pb também constituem um veículo de contaminação do ambiente (Perk, 2006). Atividades como a mineração, fundição e fabrico de baterias também contribuem para o aumento da exposição ao Pb, especialmente em países em desenvolvimento económico, provocando o aumento das concentrações de Pb no solo e na poeira em áreas vizinhas (Johnson, 1998). As principais vias de exposição ao Pb resultam da ingestão de alimentos e águas contaminadas e da inalação de fumos e poeiras (Kumar et al. 2020). Após absorção, o Pb pode afetar quase todos os órgãos do corpo, sendo o sistema nervoso central o mais sensível. Quando presente no organismo em níveis elevados, afeta a memória, danifica o sistema reprodutor masculino, e pode causar desordens hematológicas (ATSDR, 1999). Os sistemas gastrointestinal, neuromuscular, neurológico, hematológico e renal são afetados pela intoxicação crônica (Klaassen, 1991). As crianças são mais vulneráveis ao envenenamento e mesmo quando expostas a níveis baixos de Pb, podem ter o seu crescimento físico e mental severamente afetado (ATSDR, 1999).

Cobalto (Co): é um metal branco-acinzentado, tem o número atômico 27, peso atômico 58 e a sua densidade é de 8.9 g cm^{-3} . Este elemento possui ponto de fusão de $1495 \text{ }^\circ\text{C}$ e ponto de ebulição de $2900 \text{ }^\circ\text{C}$ e apresenta propriedades magnéticas similares ao ferro e ao níquel. Segundo Greenwood e Earnshaw (1997) é o 30º elemento mais abundante na litosfera, só é encontrado na natureza combinado a outros elementos. Os minerais mais comuns são a esmaltite (CoAs_2), cobaltite (CoAsS), linneíte (Co_3S_4) e eritrite ($\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). Na maioria desses minerais, o Co pode estar associado a outros elementos, tais como níquel, cobre, chumbo, ferro e prata. Os estados de oxidação mais comuns do cobalto são o Co^{2+} e o Co^{3+} , mas o único que é frequentemente encontrado nos minerais do solo é o Co^{2+} (Silva, 2003). O Co é utilizado na produção de ligas metálicas, cerâmica, tintas, aço inoxidável, fabricação de baterias e ferramentas diamantadas na cromagem e niquelagem, e também na indústria do plástico (Reimann e Caritat, 1998). Para os seres humanos, o Co é considerado um elemento essencial e sua carência pode causar anemia. No entanto, a exposição a doses elevadas pode ter um efeito tóxico (Greenwood e Earnshaw, 1997, Cabral Pinto e Ferreira da Silva, 2019). Este elemento ocorre naturalmente em pequenas quantidades nos solos como resultado da alteração de rochas ricas em cobalto, xistos e argilitos (estas rochas podem apresentar concentrações médias de 20.0 mg kg^{-1} (Reimann e Caritat, 1998). Entre as principais fontes antrópicas desse elemento destaca-se a atividade mineira, processamento de petróleo, produtos químicos contendo cobalto e produção de ligas metálicas (ATSDR, 2004). A alimentação constitui a principal via de exposição ao Co. A exposição por essa via pode causar vômitos, diarreia, problemas no fígado, coração e sangue. A inalação de poeiras com altas concentrações em Co pode originar fibrose pulmonar. De acordo com Alves e Della Rosa (2003) o contacto dérmico pode originar dermatite alérgica. Segundo a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), o Co e os seus compostos são considerados potencialmente cancerígenos ao homem devido às fortes evidências de serem carcinogêneos em estudos realizados com animais.

Cobre (Cu): é um metal de transição de cor castanha avermelhada, no estado nativo e quando alterado devido o contacto com o ar, apresenta uma cor esverdeada. Este elemento tem o número atômico 29, peso atômico 63.54, a sua densidade é de 8.93 g cm^{-3} . Possui um ponto de fusão de $1038 \text{ }^\circ\text{C}$ e um ponto de ebulição de $2927 \text{ }^\circ\text{C}$, é maleável, dúctil e muito resistente à corrosão, sendo o segundo metal com mais alta condutividade

térmica e elétrica logo a seguir à prata (Csuros e Csuros, 2000). O Cu é o 26º elemento mais abundante na litosfera, com uma concentração média nos solos entre 2 e 50 mg kg⁻¹ (Oorts, 2013). Este elemento apresenta quatro estados de oxidação: Cu⁰, Cu⁺¹, Cu⁺² e Cu⁺³, sendo que nos sistemas biológicos predomina como Cu⁺² (CCME, 1999). O Cu é um micronutriente necessário para a fisiologia humana. No entanto, a exposição a uma dose excessiva de Cu pode ter um efeito tóxico (Reimann e Caritat, 1998). Os minerais mais comuns de Cu são a calcopirite (CuFeS₂), a malaquite (Cu₂CO₃(OH)₂), a tetraedrite (Cu₁₂Sb₄S₁₃), entre outros. De todas estas ocorrências, é na calcopirite que o cobre ocorre em maior quantidade (Reimann e Caritat, 1998). Entre os principais usos do Cu temos a cunhagem de moedas desde os tempos mais antigos, na indústria elétrica e eletrônica, na produção de inseticidas e fungicidas, entre outros. A presença de Cu nos solos pode ter origem geogénica como resultado da meteorização de alguns tipos de rochas como argilitos e xistos. As principais fontes antropogénicas deste elemento são, entre outras, a mineração e fundição de cobre, a fundição de aço, a indústria de plástico, aplicação ao solo de efluentes de suinicultura (Reimann & Caritat, 1998). A exposição a este elemento ocorre principalmente através da via oral (alimentação). As maiores concentrações estão presentes nos órgãos dos animais (por exemplo, o fígado), marisco, frutos secos e cereais. Em alguns casos, o consumo de água pode contribuir adicionalmente para a ingestão diária total de cobre, particularmente em habitações mais antigas pela corrosão das canalizações (WHO, 2004). A toxicidade associada ao excesso de Cu inclui sintomas como dor abdominal, cefaleias, náuseas, vômitos, tonturas, diarreia, taquicardia, dificuldade respiratória, anemia hemolítica, hematúria, hemorragia digestiva maciça, insuficiência hepática e renal e morte (Bremner, 1998).

Crómio (Cr): é um metal acinzentado muito resistente à corrosão, com número atômico 24, massa atômica 51.99 e densidade igual a 7.18 g cm⁻³. O Cr é o 7º elemento mais abundante na litosfera, e nos solos a sua concentração varia entre 0.5 e 250 mg kg⁻¹ (Bradl, 2005). O Cr encontra-se na natureza sob duas formas estáveis: Cr³⁺ e Cr⁶⁺. É um elemento essencial para alguns organismos, sendo considerado relativamente inofensivo sob a forma Cr³⁺, mas altamente tóxico sob a forma Cr⁶⁺, conhecendo-se alguns compostos cancerígenos (Reimann e Caritat, 1998). Apesar de se encontrar Cr nos solos, este metal não se encontra no seu estado elementar no ambiente, sendo os minerais mais comuns a cromite (FeCr₂O₄) e a crocoíte (PbCrO₄). A principal fonte de Cr em solos naturais, não sujeitos a contaminações antropogénicas, são as rochas ultrabásicas. Os solos derivados destas rochas apresentam altos teores de Cr (Varenes, 2003). As principais fontes antropogénicas estão associadas a indústria química, a fundição de aço, a eletrometalurgia, a combustão de gás natural, o petróleo e o carvão, a incineração de resíduos, alguns fertilizantes, curtumes entre outras (Reimann e Caritat, 1998, Prasad et al. 2021). A inalação de fumos e poeiras constitui a principal via pela qual o Cr penetra no organismo. Bradl (2005) refere que a exposição ao Cr⁶⁺ provoca efeitos graves na saúde podendo afetar o sistema imunitário, originar cancro do pulmão, provocar danos nos rins e no fígado e originar problemas respiratórios e digestivos (úlceras). A exposição por via dérmica ocorre através do contato com produtos que contêm Cr em sua composição, que podem causar dermatite alérgica. Produtos como os têxteis, cimento, couro, madeira tratada, materiais de limpeza e óleos lubrificantes estão entre aqueles que contêm o metal em sua constituição. A via oral é a menos frequente e dá-se principalmente por meio da ingestão de águas e alimentos contaminados (Silva, 2003). A Agência Internacional de Investigação do Cancro (IARC) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

(USEPA) consideram que o Cr^{6+} é um elemento carcinogénico para o Homem, causando a morte se for ingerido em doses elevadas (Zhao *et al.*, 2012, Cabral Pinto *et al.* 2015).

Manganês (Mn): é um metal cinzento-prateado, número atómico 25, massa atômica 55 e densidade de 7.4 g cm^{-3} . Este elemento possui um ponto de fusão de $1246 \text{ }^\circ\text{C}$ e um ponto de ebulição de $2061 \text{ }^\circ\text{C}$. As suas propriedades físico-químicas são semelhantes à do ferro. Apesar de ser o 12º elemento mais abundante na litosfera, o manganês não é encontrado em estado elementar na natureza. Este elemento ocorre associado a outros elementos e é encontrado num número muito significativo de minerais, embora apenas uma dezena apresente interesse comercial. De entre esses minerais destacam-se a pirolusite (MnO_2), psilomelano ($\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), manganite ($\text{MnO}(\text{OH})$), braunite ($3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$), rodonite (MnSiO_3), rodocrosita (MnCO_3), hübnerita (MnWO_4), entre outros (Lima, 2013). O manganês apresenta os estados de oxidação +2 (forma mais solúvel) e +4 (forma menos solúvel) e quando em meio aquoso, desenvolve coloração negra. O manganês é um elemento essencial ao homem, desempenhando um papel importante no processo de formação de ossos e tecidos, funções reprodutivas e na regulação do metabolismo. Entretanto, níveis elevados de concentração desse metal tem um efeito tóxico (ATSDR, 2008). O elemento Mn tem diversas aplicações industriais, sendo o mais importante o uso para a produção de aço. Este elemento é também utilizado na produção de ligas de metais não ferrosos como o bronze de manganês, na galvanização, produção de pilhas e baterias, porcelanas, fabricação de corantes, tintas, vernizes, produtos farmacêuticos, fertilizante e fungicida, entre outros. (Azevedo, F.A, 2003). Atividades relacionadas com a mineração, fundição de aço, aerossóis de processamento metalúrgico, uso de fertilizantes, solda, corte do metal representam as principais fontes de manganês para o ambiente (WHO, 1981). A inalação constitui a principal via de exposição, e é responsável pela maioria dos casos de intoxicação pelo metal. A ingestão (de alimentos ou água) também constitui uma via de exposição, no entanto são raros os casos de toxicidade por essa via. A via dérmica é a menos importante isto porque apenas mínimas quantidades de manganês são absorvidas pela pele quando em contato com líquidos contendo o metal (ATSDR, 2008). Quando presente no organismo em elevadas concentrações, o Mn pode revelar-se tóxico, comprometendo os pulmões, gerando à inflamação do trato respiratório superior e o sistema nervoso central, levando a manifestações clínicas, predominantemente, de esfera neurológica (Azevedo, 2003, Zatta *et al.*, 2003; Cabral Pinto *et al.* 2019a, b). A ação tóxica a nível cerebral traduz-se na desordem crônica do sistema nervoso central semelhante à Doença de Parkinson, enquanto para os pulmões, há um aumento da suscetibilidade para bronquites e pneumonias (ATSDR, 2008).

Mercúrio (Hg): é o único metal que se apresenta no estado líquido sob condições normais de temperatura e pressão no ambiente, apresenta-se em três formas, denominadas “espécies”: mercúrio elementar, mercúrio inorgânico e mercúrio orgânico e pode encontrar-se em três estados de oxidação (Hg^0 , Hg^{+1} , Hg^{+2}). De acordo com Berlin (1986) o Hg é o 66º elemento mais abundante na litosfera, possui um peso atômico de 200.6, número atômico 80, densidade 13.6 g cm^{-3} , ponto de fusão e ebulição $38.9 \text{ }^\circ\text{C}$ e $356.6 \text{ }^\circ\text{C}$, respetivamente. O Hg forma facilmente amálgamas com uma grande variedade de outros metais, tais como o ouro, prata, chumbo, zinco, sódio e magnésio, não sendo compatível com os metais de transição leves como o Fe (Greenwood e Earnshaw, 1997). É um elemento não essencial para o ser humano e é considerado como altamente tóxico. A sua introdução no ambiente ocorre tanto pela via natural como antrópica. As fontes naturais mais relevantes são a desgaseificação da crosta terrestre e de superfícies aquáticas e fogos florestais, e nestes casos as formas mais

comuns são o mercúrio metálico, sulfeto de mercúrio, cloreto de mercúrio e metilmercúrio (WHO, 1989). As fontes antropogénicas são as que contribuem mais significativamente para a contaminação dos solos. Essas fontes estão essencialmente associadas às indústrias que queimam combustíveis fósseis, nomeadamente o petróleo, indústrias de produção eletrolítica de cloro e soda cáustica e produção de etanol, incineradores de lixo, pasta de papel, tintas, pesticidas, fungicidas, lâmpadas de vapor de mercúrio, baterias, produtos odontológicos, amalgamação de mercúrio para extração de ouro, entre outros. Atualmente, os níveis de mercúrio na atmosfera são 3 a 6 vezes superiores aos níveis anteriores à industrialização (ONU, 2002). A exposição do homem ao Hg pode ocorrer por inalação de vapores de mercúrio metálico em ambientes ocupacionais, como consultórios odontológicos, fundições e locais onde houve derrames de mercúrio. Por via oral a exposição dá-se principalmente através da alimentação, principalmente pela ingestão de peixe contaminado por metilmercúrio (MeHg), que é uma das formas mais tóxicas do Hg. O consumo de grandes quantidades de MeHg durante semanas ou meses pode causar danos irreversíveis no sistema nervoso (Cabral Pinto et al. 2019, 2020). Esses dados ocorrem em áreas sensoriais e de coordenação, como surgimento de formigamento nas extremidades e ao redor da boca, falta de coordenação e diminuição do campo visual. Crianças nascidas de mães contaminadas com MeHg apresentaram anormalidades no desenvolvimento e paralisia cerebral. Cabe ressaltar que os riscos associados ao consumo de peixe e mariscos dependem da quantidade ingerida e dos níveis de Hg presentes nos organismos. A inalação de altas concentrações de vapor de mercúrio metálico pode causar rápido dano aos pulmões. A inalação crônica de baixas concentrações dos vapores pode produzir distúrbios neurológicos, problemas de memória, erupções cutâneas e insuficiência renal (Azevedo, 2003). A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica os compostos de metilmercúrio como possíveis carcinogêneos humanos (Grupo 2B). O mercúrio metálico e os compostos inorgânicos de mercúrio não são classificáveis quanto a sua carcinogenicidade para o ser humano (Grupo 3).

Níquel (Ni): é um metal de transição de cor branca prateada, com o número atómico 28, peso atómico 58.71 e uma densidade é 8.9 g cm^{-3} . O ponto de fusão do níquel metálico é $1453 \text{ }^\circ\text{C}$ e o seu ponto de ebulição $2732 \text{ }^\circ\text{C}$, é um metal dúctil, brilhante, maleável, resistente à corrosão, com propriedades magnéticas e com boa condutividade térmica e elétrica. Este elemento é o 23º mais abundante na litosfera, com uma concentração média nos solos variável entre 2 e 100 mg kg^{-1} (Bradl, 2005; Varennes, 2003). Este elemento pode ocorrer em vários estádios de oxidação (do Ni^{-1} a Ni^{+4}), sendo que o Ni^{+2} é estável na gama dos valores de pH e potenciais redox existentes nos solos (Silva, 2003). O Ni é um elemento essencial para todos os organismos, no entanto, o contacto direto e prolongado com a pele através de determinados produtos à base de Ni podem causar reações alérgicas. Os compostos de Ni^{2+} são relativamente não tóxicos, enquanto os outros compostos são extremamente tóxicos e/ou carcinogénicos (Reimann e Caritat, 1998). O Ni ocorre naturalmente nos solos resultante da alteração de rochas enriquecidas neste elemento. As maiores concentrações deste metal são encontradas em rochas ígneas e em rochas sedimentares, as fontes antrópicas do Ni, entre elas a indústria química, as refinarias de petróleo fundições de Cu-Ni e aço, incineração de resíduos e produção de metais não ferrosos, a combustão de hidrocarbonetos entre outros, representam cerca de 65 % de todas as fontes de emissões (Reimann e Caritat, 1998). As principais vias de exposição ao Ni dão-se principalmente através da ingestão de água e alimentos com altas concentrações do metal, por inalação principalmente através do tabaco e por absorção dérmica através do uso de joias, relógio de pulso, moedas e botões metálicos que contenham

esse metal (Azevedo, 2003, Kumar, et al 2021, Jigyasu et al., 2021). A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o níquel metálico como possível cancerígeno para o ser humano (Grupo 2B) e os compostos de níquel como cancerígenos para o ser humano (Grupo 1).

Zinco (Zn): é um metal de transição de cor branca-azulada, brilhante e que em contacto com o ar fica baço devido a formação de uma película. De acordo com Silva (2003) tem o número atómico igual a 30, peso atómico 65.39 e uma densidade é de 7.133 g cm^{-3} . O ponto de fusão deste metal é $419.58 \text{ }^\circ\text{C}$, ponto de ebulição é $907 \text{ }^\circ\text{C}$ e uma alta resistência à corrosão. Este elemento é o 24º mais abundante na litosfera, apresentando uma concentração média no solo entre 10 e 300 mg kg^{-1} (Ross, 1994). Este elemento ocorre naturalmente em todos os solos no estado de oxidação Zn^{2+} (Csuros e Csuros, 2000). O Zn é considerado um elemento essencial para todos os organismos, sendo que a carência deste elemento pode conduzir a perturbações do sistema imunitário, ao aumento de stress oxidativo, ao aumento da incidência de doenças degenerativas, ao atraso de crescimento/desenvolvimento, erupções cutâneas, dificuldade de cicatrização e morte (Zatta et al, 2003; Cabral Pinto et al. 2018). Os compostos com Zn são usados como aditivos nutricionais na suinicultura e na avicultura (Reimann e Caritat, 1998). Este elemento não se encontra no meio ambiente na sua forma elementar e os seus minerais mais comuns são a blenda (ZnS), a smithsonite (ZnCO_3), a zincite (ZnO), entre outros (Reimann e Caritat, 1998). Entre os principais usos do Zn destacam-se a aplicação como proteção anticorrosiva do ferro e aço (galvanização), aplicação em baterias e produção de ligas metálicas, com o destaque para o latão e bronze entre outras (CCME, 1999). As principais fontes antropogénicas desse metal são entre outras a mineração, a fundição de zinco, descarte de resíduos nos solos, a combustão de carvão, o tráfego, as lamas de efluentes (Reimann e Caritat, 1998). Quando presente em concentrações elevadas, adquire um carácter tóxico e a sua absorção pode conduzir a sintomas clínicos incluem perda de apetite, desidratação, fraqueza, perda ou ganho de peso, diarreia e icterícia (CCME, 1999).

O projecto de mestrado, que tem por título “Atlas geoquímico da ilha do Sal, Cabo Verde” tem os seguintes objectivos:

- a) Produzir de mapas geoquímicos para 36 elementos;
- b) Contribuir para a compreensão da variação geoquímica dos elementos cartografados e seus factores e, portanto, para o conhecimento da geoquímica desses elementos em ambiente superficial;
- c) Propor valores que sirvam de apoio ao estabelecimento de critérios ambientais.

Para a realização deste trabalho realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre a temática do trabalho e procedeu-se à colheita de amostras de solo que foram posteriormente submetidas a análises físico-químicas.

Encontra-se estruturado em 6 capítulos:

- no capítulo 1 faz-se uma introdução onde é abordada a importância do tema, questões históricas, desenvolvimento de metodologias, o progresso da cartografia geoquímica até os dias de hoje e a problemática da contaminação dos solos por elementos potencialmente tóxicos;
- no capítulo 2 apresenta-se o contexto geográfico, geológico, geomorfológico, climatológico e uma breve avaliação dos recursos hídricos do arquipélago;
- no capítulo 3 apresentam-se uma breve introdução sobre a ilha do Sal, os contextos geológicos, geomorfológicos e climatológicos bem como a descrição dos solos, fauna e flora da ilha;

- o capítulo 4 descreve a metodologia utilizada no processo de amostragem e análise das amostras de solo assim como os diferentes métodos de análise dos dados;
- o capítulo 5 incide sobre a análise e discussão dos resultados obtidos;
- no último capítulo apresentam-se as principais conclusões do trabalho realizado.

CAPÍTULO 2

O ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE

2. ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE

2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

O Arquipélago de Cabo Verde fica localizado na margem oriental do Atlântico Norte, a cerca de 500 km da costa ocidental do continente africano e a aproximadamente 1400 km a SSW do Arquipélago das Canárias.

Segundo Losada-Lima (1987-88) o Arquipélago de Cabo Verde encontra-se enquadrado no grupo das ilhas Atlânticas ou da Macaronésia, agregando para além de Cabo Verde (4033 km²), os arquipélagos dos Açores (2344 km²), da Madeira (810 km²) e das Canárias (7542 km²).

De acordo com a sua posição em relação a direção dos ventos alísios provenientes do Nordeste, as ilhas de Cabo Verde são usualmente agrupadas em duas unidades designadas por Barlavento e Sotavento (Amaral, 1964). A norte, as ilhas do Barlavento (ilhas ao vento) integram Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boa Vista. Ao sul, as ilhas de Sotavento (ilhas sob o vento) são formadas por Maio, Santiago, Fogo e Brava (Figura 2.1).

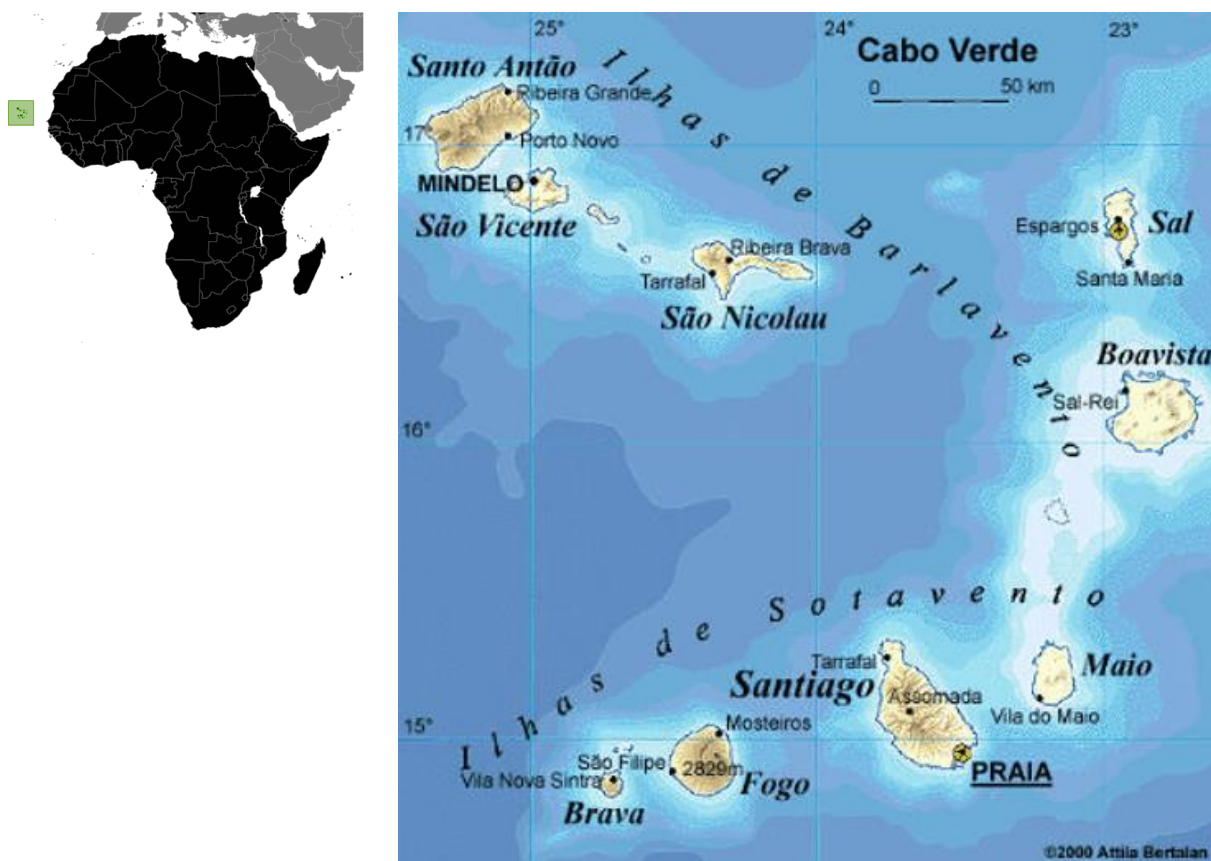


Figura 2.1 – Localização do arquipélago de Cabo Verde (extraído de <https://www.insp.gov.cv/index.php/component/content/article/103-outros/102-republica-de-cabo-verde>)

Este arquipélago é limitado pelos paralelos 17°13' (Ponta de Forte Cais – Santo Antão) e 14°48' (Ponta de Nho Martinho – Brava) de latitude Norte e 22°42' (Ilhéu Baluarte – Boa Vista) e 25°22' (Ponta de Chã de Mangrado – Santo Antão) de longitude Oeste de Greenwich. O arquipélago contém ainda treze ilhéus desabitados, mais de metade da população de Cabo Verde vive na ilha de Santiago (Instituto Nacional Estatística, 2000).

O arquipélago de Cabo Verde tem uma área total de 4033 km², sendo Santiago a ilha de maior área com 991 km² ao passo que a que apresenta uma área mais reduzida é Santa Luzia com 35 km² (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Dimensões comparativas das ilhas de Cabo Verde (Bebiano, 1932).

Grupo/Ilhas e Ilheus	Superfície	Comprimento máximo	Largura máxima	Ponto Culinante	Altitude
	(Km ²)	(m)	(m)		(m)
Barlavento					
St. Antão	779	42750	23970	Tope da Coroa	1979
S. Vicente	227	24250	16250	Monte Verde	725
St ^a Luzia	35	12370	5320	Topona	395
Ilhéu Branco	3	3975	1270		327
Ilhéu Raso	7	3600	2270		164
S. Nicolau	343	44500	22000	Monte Gordo	1304
Sal	216	29700	11800	Monte Grande	406
Boa Vista	620	28900	30800	Estância	387
Sotavento					
Maio	269	24100	16300	Penoso	436
Santiago	991	54900	28800	Pico de Antónia	1392
Fogo	746	26300	23900	Pico do Fogo	2829
Brava	64	10500	9310		976
Ilhéu Grande	2	2350	1850		95
Ilhéu Luís Carneiro	0,22	1650	500	Tope da Coroa	32

2.1. GEOLOGIA

2.1.1. Origem do arquipélago

O Arquipélago de Cabo Verde assenta sobre uma região elevada do atual fundo oceânico que faz parte da “Crista de Cabo Verde” (“Cape Verde Rise”), e que pela vizinhança das ilhas corresponde a um domo com cerca de 400 km de largura (Lancelot et al., 1997 in Mota Gomes e Pina, 2003). Presume-se que um domo destas dimensões representa um fenómeno importante, possivelmente relacionado com descompressão e fusão parcial (Le Bas, 1980, in Mota Gomes e Pina, 2003) que forneceu a fonte dos magmas que originaram as ilhas através do mecanismo do tipo “hot spot” (Stillman et al., 1982, in Mota Gomes e Pina, 2003).

A origem deste vulcanismo, caracterizado essencialmente por magmas fortemente alcalinos, relaciona-se com a presença de um *hot spot* oceânico, no interior da Placa Africana, que é a expressão superficial da “Pluma Mantélica de Cabo Verde” (White, 1989; Courtney e White, 1986 in Silveira, 2006).

De acordo com Bebiano (1932), um dos primeiros autores a abordar a questão da origem do arquipélago de Cabo Verde, as ilhas teriam sido formadas por erupções vulcânicas que tiveram início no fundo do oceano e, em alguns casos, os produtos vulcânicos levaram até à superfície fragmentos da litosfera, facilitando assim o conhecimento da constituição geológica daquela parte da crosta terrestre. A orientação e forma de algumas ilhas situadas a oeste da ilha do Sal apontam para uma distribuição das mesmas, de forma alinhada, seguindo a direção E-W. Esta posição é comprovada pela orientação dos inúmeros diques e filões existentes na ilha de Santo Antão. O relevo submarino das ilhas do grupo de Sotavento aponta também para uma orientação semelhante. Tais observações permitem concluir que os fenómenos vulcânicos responsáveis pela formação das ilhas desencadearam-se ao longo de uma fratura de orientação E-W (Bebiano, 1932).

Apesar de todas as ilhas serem de origem vulcânica, numa região geotectónica relativamente estável, para algumas delas existem registos significativos de atividade vulcânica ou sísmica, nomeadamente nas ilhas do

Fogo, na Brava e em Santo Antão. Na ilha do Fogo, há uma percepção imediata do risco vulcânico: sendo a única ilha do arquipélago com erupções históricas (duas das quais no século XX, em 1951 e 1995). Nas ilhas da Brava e Santo Antão não ocorreu nenhuma erupção desde o povoamento, mas a atividade sísmica é considerável (Heleno, 2003).

Para Serralheiro (1976) a formação das ilhas teria sido iniciada por uma atividade vulcânica submarina central, mais tarde completada por uma rede fissural manifestada nos afloramentos.

De acordo com Bebiano (1932), a partir da fusão do manto, emergiram três pedestais bem distintos que orientam a formação do Arquipélago (Figura 2.2):

- Pedestal Oriental, ativo no Paleogénico/Miocénico, que deu origem as ilhas do Sal, Boa Vista, Maio e Santiago e os ilhéus Rabo de Junco, Curral de Dadó, Fragata, Chano, Baluarte e de Santa Maria;
- Pedestais Norte e Oeste, ativos desde o Pliocénico e Plistocénico, que originaram as restantes ilhas do arquipélago (Figura 2.2).

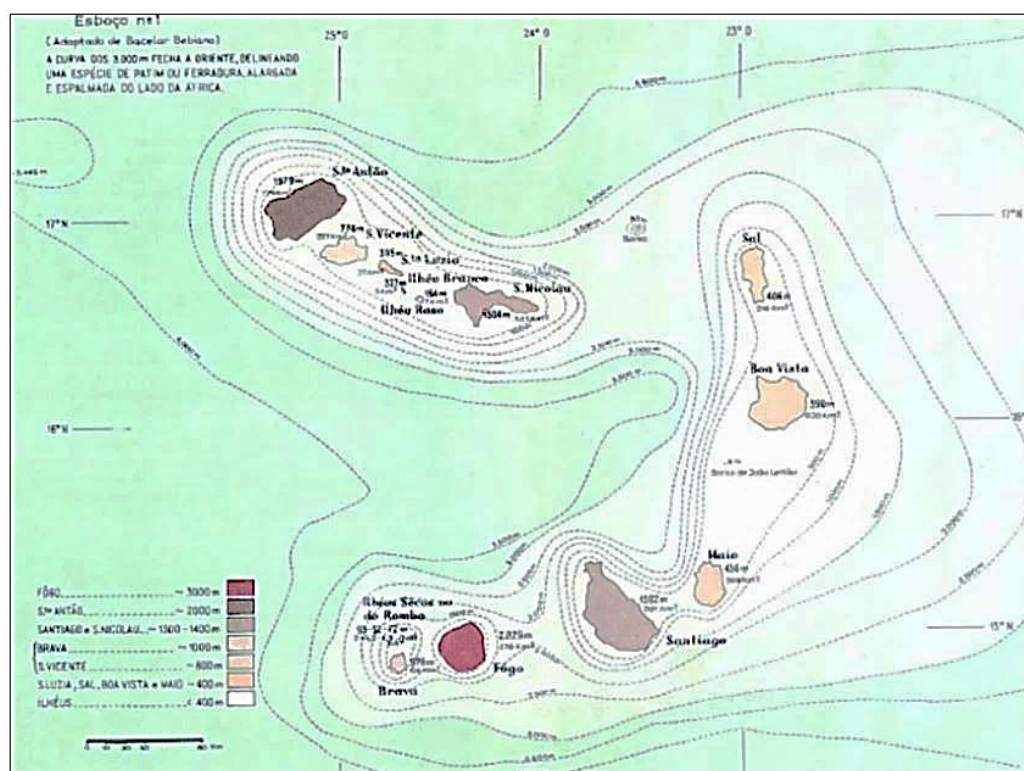


Figura 2.2 - Distribuição das ilhas de Cabo Verde segundo os três pedestais (adaptado de Bebiano, 1932).

Para Burke e Wilson (1972), a génese das ilhas está associada a um mecanismo do tipo *hotspot*. Do mesmo modo, Crough (1978) considera que o Arquipélago de Cabo Verde é o resultado de um *hotspot* desenvolvido a partir de plumas mantélicas. Este mecanismo surgiu da necessidade de se explicar os fenómenos vulcânicos que ocorrem longe das fronteiras de placas tectónicas, ou seja, o vulcanismo intraplaca.

Segundo Mata et al. (1999), depois de analisar a disposição linear das ilhas e a direção preferencial das fraturas, pode-se considerar que a formação deste território insular pode estar associada a uma interação conjunta que combina uma pluma do manto “hot-spot” com as fraturas profundas existentes no fundo oceânico (Williams et al., 1990). As idades dessas ilhas do arquipélago tendem a diminuir progressivamente para o oeste (Holm et al.

2008; Ramalho et al. 2010; Ramalho 2011) devido ao lento movimento no nordeste da placa Africana acima deste ponto quente (Duncan 1981; Courtney & White 1986; Pollitz 1991).

A origem das ilhas por mecanismo de hot-spot por si só não é a mais consensual já que mais recentemente alguns autores, nomeadamente, Ali et al. (2003) e Pin et al. (2008), consideram que o mecanismo de hot-spot, em contexto intraplaca, é um processo bastante complexo e que não consegue explicar completamente a génese das ilhas de Cabo Verde. Estes autores acreditam que processos de magmatismo profundo relacionados com o levantamento isostático estariam na origem das ilhas do arquipélago.

Segundo Silva (2008), os estudos a nível da Petrologia, Mineralogia e Geoquímica juntamente com a história geológica do Arquipélago, permitem evidenciar que a sua origem está associada com três tipos de magmatismos:

Magmatismo Toleítico: evidenciado pela primeira vez, na ilha do Maio, pela presença de lavas submarinas (“pillow lavas”) do tipo MORB (*mid-ocean ridge basalts*), sob calcários Cretácicos /Jurássicos, representando um segmento levantado da crosta oceânica, de acordo com os dados obtidos a partir da datação de fósseis os basaltos tiveram a sua génese entre o final do Jurássico e o início do Cretácico, havendo deposição de sedimentos, típicos de águas profundas, até final do Cretácico (Stillman et al., 1982);

Magmatismo Alcalino: originou os edifícios vulcânicos que constituem, essencialmente, as ilhas. Este magmatismo tem ocorrido desde há 26 Ma com predominância no período Cenozóico e perduram até a atualidade, sendo o último testemunho a erupção de novembro de 2014, na ilha do Fogo;

Magmatismo Carbonatítico fenómeno muito raro, representado por rochas constituídas por carbonato ígneo (carbonatitos) extrusivo que correspondem às únicas ocorrências de vulcanismo carbonatítico assinalado em ilhas oceânicas podendo ser registados alguns afloramentos nalgumas ilhas de Cabo Verde, nomeadamente as ilhas de São Vicente, Maio, Santiago Fogo e Brava (Assunção et al., 1965; Silva et al., 1981; Kogarko et al., 1992; Hoernle et al., 2001; Jorgensen e Holm, 2002; Holm et al., 2006; Mourão et al., 2010; Mata et al., 2010; Madeira et al., 2010).

2.1.2. Sequência vulcano-sedimentar

A sequência estratigráfica Vulcano-Sedimentar das ilhas proposta por Serralheiro (1976), tem sido utilizada por diferentes investigadores como Alves et al. (1979) e Mota Gomes et al. (2009). Esta sequência apresenta um quadro estratigráfico comparativo das ilhas e várias outras investigações mais recentes, que confirmam a ocorrência de fenómenos geológicos desde o Jurássico-Cretácico, sendo as rochas mais antigas as rochas sedimentares calcárias existentes na ilha do Maio, e as mais recentes os sedimentos do Quaternário, constituídos por areias, aluviões, dunas, depósitos de vertentes e de enxurradas, bem como o material vulcânico, resultante de erupções recentes na ilha do Fogo.

Estudos geológicos efetuados entre 1976 e 1997 permitiram estabelecer as principais unidades estratigráficas de Cabo Verde (da mais antiga para a mais recente), conforme consta na Tabela 2.2 (Mota Gomes, 1999).

Tabela 2.2 - Quadro vulcano-estratigráfico de Cabo Verde (Serralheiro, 1976 in Mota Gomes, 1999).

Idade (Ma)	Idade Relativa		Formações	Ilhas
1,8	Quaternário	Holocénico	Sedimentos e atividades vulcânicas	Ilha do fogo (erupções) Sedimentos em todas as ilhas.
		Plistocénico	Calcários, calcarenitos e conglomerados (níveis de praia).	Todas as ilhas
			Cones de piroclastos e pequenas escoadas basálticas.	Todas excepto Maio
5	Pliocénico		Derrames importantes, Pós-Complexo principal basáltico Complexo eruptivo principal, basáltico (essencialmente).	Todas as ilhas
22,5	Miocénico		Fonólitos e traquitos, mantos subaéreos e submarinos Fono-traquitos. Calcários e calcarenitos. Mantos subaéreos e submarinos. Calcário e conglomerados. Mantos subaéreos e submarinos	Todas as ilhas
			Traquitos pós-conglomerático-brechóide (CB) Depósitos conglomerático-brechóides. Fácies terrestre com escoadas. Fácies marinha. Derrames submarinos muito vastos e espessos λρ. Conglomerados e calcarenitos	
65	Paleogénico		Complexo eruptivo Interno Antigo (CA) Carbonatitos Fono-traquitos Rochas granulares Complexo filoniano (basáltico)	Todas as ilhas
136	Cretácico inferior		Margas e argilas	
	Jurássico Superior		Argilas, margas e calcários com silexito Calcário com silexito	Ilha do Maio Ilha do Maio

Sedimentos Jurássicos: formação rochosa mais antiga do Arquipélago, sendo constituída essencialmente constituídos por calcários com silexito. Estes calcários são compactos, de cor esbranquiçadas a acinzentada e de grão muito fino. Em certos locais são observáveis camadas bastante finas de calcários margosos. Por vezes encontram-se metamorfizados passando a mármore e corneanas. (Serralheiro, 1970);

Sedimentos Cretácicos: constituídos por calcários compactos com selexito sobrepostos por calcários margosos, argilas e margas. E vulgar a ocorrência de intrusões sub-verticais e sub-horizontais e, menos frequentemente, a intrusão de essexitos que metamorfizam os calcários;

Sedimentos Paleogénicos: constituídos por argilas, margas, e calcários margosos formam o topo desta série que apenas ocorrem na ilha do Maio;

Complexo Eruptivo Interno Antigo (Paleogénico\Miocénico): observável em todas as ilhas é composto por um conjunto de formações geológicas que representam as manifestações vulcânicas mais antigas da parte imersa da República de Cabo Verde. Neste Complexo é possível distinguir diferentes subunidades (das mais antigas (a) para as mais recentes (f)):

- a) Complexo filoniano de base, essencialmente basáltico;
- b) Intrusões de rochas granulares;
- c) Brechas
- d) Intrusões e Extrusões fonolíticas e traquíticas;
- e) Carbonatitos
- f) Intrusões e Extrusões fonolíticas;

De referir, no entanto, que apesar de se considerar esta sequência de fenómenos geológicos, a verdade é que está comprovada a recorrência dos diversos tipos de rochas pelo que, localmente, a ordem de instalação poderá encontrar-se alterada.

Sedimentos Miocénicos: formações conglomeráticas que ocorrem nas ilhas de Santiago, Maio, São Nicolau e Boa Vista (Alves, e tal.,1979); não foram identificadas formações semelhantes nas restantes ilhas.

Derrames Submarinos Miocénicos: constituídos por mantos, brechas e piroclastos básicos e submarinos que assentam, em discordância sobre o Complexo Eruptivo Interno Antigo CA). Apresenta características de autobrechificação importantes (hialoclastitos) está, por vezes, associada a piroclastos e assume, frequentemente, a forma de “pillow-lavas” bastante alteradas (argilas cinzento, azuladas e amarelas). O maior grau de alterabilidade e a menor percentagem de “pillow-lavas” em relação aos outros materiais diferenciam a formação dos flamengos de outras manifestações vulcânicas submarinas mais recentes.

Depósitos Conglomerático-Brechóides (Miocénicos): identificados em toda as ilhas, à exceção das ilhas do Fogo e da Brava.

Formações Traquíticas Miocénicas: observadas nas ilhas de Santiago e de Boa Vista, parecendo não ter paralelo nas outras ilhas do Arquipélago.

Complexo Eruptivo Principal (Mio-Pliocénico): bem representado em todas as ilhas do Arquipélago, constituindo a formação mais espessa e mais extensa e que facilita a circulação da água no seio constituindo, assim, o aquífero principal. Dentro do Complexo Eruptivo Principal, incluem-se formações provenientes de atividades vulcânicas explosivas e efusivas, subaéreas e submarinas, ocorridas em diferentes épocas e com

longos intervalos de acalmias. Ocupam a maior parte da superfície das ilhas, originam as maiores altitudes e formam plataformas estruturais ainda existentes, as achadas. A sequência dos depósitos magmáticos do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia, servindo de exemplo a ilha de Santiago pode, segundo Serralheiro (1976), Alves et al., (1979), Mota Gomes et al., (2009), esquematizar-se, dos mais antigos (a) para os mais recentes (d), do seguinte modo:

Tabela 2.3 - As principais formações de fácies terrestre e marina do Complexo Eruptivo Principal (Serralheiro, 1976).

Episódios Magmáticos e Sedimentares Subaéreos (Fácies Terrestre)	Episódios Magmáticos e Sedimentares Submarinos (Fácies Marinha)
Mantos subaéreos e alguns níveis de piroclastos intercalados	Lavas submarinas em almofadas (inferiores) Conglomerados e calcarenitosossilíferos Lavas submarinas em almofadas (superiores) Conglomerados e calcarenitosossilíferos
Fonólitos, traquitos e rochas afins	
Tufo-Brechas	
Mantos subaéreos e alguns níveis de piroclastos	

Derrames Pliocénicos: Derrames importantes de rochas vulcânicas, posteriores ao Complexo Eruptivo do Pico de Antónia, foram identificados na ilha de Santiago, S. Nicolau, Fogo e St. Antão. Em Santiago, constituem a formação da Assomada que resulta de uma atividade eruptiva importante que se seguiu a um prolongado período seco de acalmia Vulcânica (Alves et al., 1979). Trata-se de rochas de implantação exclusivamente subaérea, de fácies basálticas com lavas e raros piroclastos, que assentam em nítida discordância sobre a formação do Complexo Eruptivo do Pico de Antónia (PA) Ocorrem essencialmente no centro da ilha, em derrames sub-horizontais que atingiram maior expressão no planalto de Assomada e que ocorrendo para Ocidente, atingiram o litoral.

Cones de Piroclastos e Escoadas Pliocénico-Quaternários: à exceção da ilha do Maio, aonde não se encontram assinaladas formações vulcânicas equivalentes, os cones de piroclastos e escoadas basálticas associadas do tipo do Pliocénico e base do Quaternário encontram-se espalhados por toda as restantes ilhas do Arquipélago. Trata-se da última grande manifestação vulcânica (na ilha do Fogo ocorreram erupções vulcânicas em 1951 e 1995) e traduz-se na formação de numerosos pequenos cortes de Piroclasto basálticos (tufos, bombas e escorias) e de pequenos associados;

Sedimentos do Pliocénico: de acordo com vários autores (Serralheiro, 1976; Alves et al., 1979; Mota Gomes, et al., 2007) esses sedimentos correspondem às formações sedimentares do Quaternário. Abundam em todas as ilhas do arquipélago as formações sedimentares recentes (areias, dunas, depósitos de enxurrada).

Sedimentos Piroclásticos e Escoadas Hilócenicos: estão representados em formações recentes do Quaternário (Holocénico), sendo constituídas fundamentalmente por areias calcárias provenientes da desagregação de calcarenitos, e de conchas moluscas, algas calcárias polipeiros, etc. (Serralheiro,1976). As dunas têm origem nas areias das praias, existindo grandes áreas nas ilhas de S. Vicente, Sal, Boavista e Maio (Serralheiro 1976). Os depósitos de vertentes são constituídos por elementos diversos, angulosos, com dimensões variadas.

2.2. GEOMORFOLOGIA

O Arquipélago de Cabo Verde apresenta formas de relevo diversificadas e bastante irregulares, tendo cada ilha a sua especificidade. É notório a existência dum contraste geomorfológico entre o grupo das ilhas orientais

também denominadas rasas (Sal, Boavista e Maio) em que predominam formas aplanadas e pequenas elevações e grupo das ilhas ocidentais.

As ilhas orientais (Sal, Boa Vista e Maio) correspondem a formas topográficas antigas e denudadas e de declive fraco, marcadas pela erosão, onde são encontrados alguns relevos residuais ou cones formados durante a última fase de erupção pós-erosiva. Essas ilhas poderiam estar completamente submersas, devido aos processos de subsidência e erosão marinha. Segundo (Ramalho et al., 2010), os fenómenos de soerguimento, ocorridos desde o Pliocénico ao Quaternário, determinou a sua permanência acima do nível médio do mar.

Pelo contrário, as ilhas ocidentais, na sua maioria, possuem um relevo montanhoso com altitudes que frequentemente ultrapassam os 1000 metros, sendo caracterizadas por paisagens recentes, em que as formas vulcânicas primárias se encontram relativamente bem preservadas. Deste modo, destacam-se os grandes maciços vulcânicos, que se impõem na geomorfologia das ilhas consideradas montanhosas (Fogo, Santo Antão, Santiago e Brava), sendo o Pico do vulcão do Fogo o ponto mais alto do arquipélago com 2829 metros de altitude.

Nessas ilhas (montanhosas), deve-se destacar a existência de vales profundos e encaixados, em encostas escarpadas e abruptas, com dois tipos de perfis distintos (Mota Gomes, 2007):

- Perfis transversais em U, que se originam em mantos basálticos subaéreos relativamente recentes;
- Perfis transversais em V, que se originam em formações rochosas mais antigas e ricas em argila.

As ilhas de São Vicente e de Santa Luzia, por apresentarem um relevo diversificado e com altitudes máximas inferiores a 1000 m (744 m no Monte Verde e 395 m no Monte Topona), são geomorfologicamente consideradas intermédias em relação às outras ilhas do arquipélago.

2.3. CLIMA

O clima do Arquipélago de Cabo Verde está fortemente condicionado pela sua localização no Sahel que é uma faixa de transição entre o deserto do Sahara a norte e as savanas do Sudão. À semelhança de todos os países que integram a região Saheliana, o clima de Cabo Verde é caracterizado por uma longa estação seca intercalada por apenas um período de três meses húmidos, durante os quais as chuvas se concentram em alguns dias. Com relativa frequência ocorrem períodos de seca que podem durar vários anos (Semedo, 2004). Deste modo, o clima do arquipélago é classificado de tropical seco, sendo considerada a existência de duas estações distintas durante o ano:

- A estação seca ou das brisas – que corresponde ao período compreendido entre Dezembro a Junho;
- A estação húmida ou das águas – que corresponde ao período compreendido entre Agosto a Outubro;

Os meses de Julho e Novembro consideram-se de transição podendo apresentar as características da estação húmida ou da estação seca, consoante a maior ou menor duração anual das precipitações.

A temperatura média no Arquipélago é da ordem dos 25 °C. A amplitude térmica anual é pequena, oscilando entre a máxima de 30 °C e a mínima de 20 °C e a humidade relativa do ar oscila entre os 60-85 %. A insolação é geralmente elevada dada a fraca nebulosidade e o longo período seco. De Março a Junho a insolação é muito elevada, sobretudo nas zonas áridas e semiáridas, onde pode ultrapassar as 11 horas por dia. Os valores da

precipitação média rondam os 200-250 mm ano⁻¹, sendo a sua distribuição espacial e temporal influenciada fundamentalmente pela oscilação da Frente Intertropical (FIT).

Geralmente o Arquipélago é invadido por três correntes de ar, de origem e características distintas, proporcionando a existência de microclimas com uma distribuição espacial e temporal mais ou menos definida. O Harmatão, proveniente do deserto de Sahara que apesar de ter um percurso marítimo de centenas de quilómetros, esse vento atinge as ilhas ainda quente e seco, normalmente transporta consigo uma grande quantidade de poeiras, aumentando a aridez do clima, com prejuízo na prática da agricultura (Amaral, 1964).

Para além do Harmatão, o clima cabo-verdiano é também afetado por mais dois tipos de ventos: o *Alísio do Nordeste* e a *Monção do Atlântico Sul*. Os ventos Alísios de nordeste sopram quase permanentemente durante todo o ano ao longo das costas, entre as altas pressões subtropicais do Atlântico e as baixas pressões equatoriais da Frente Intertropical (FIT), são relativamente frescos e possuem um bom teor de humidade.

A Monção do Atlântico Sul, que é uma corrente de ar quente e húmida, com origem na região equatorial. Os ventos da Monção normalmente atingem o arquipélago durante o verão, entrando em contacto com os ventos Alísios e com o vento Harmatão, para formar a FIT. Este vento, devido às suas características, torna-se no principal responsável pela queda de precipitação durante a estação húmida, no verão (Teixeira e Barbosa, 1958).

2.4. RECURSOS HÍDRICOS DO ARQUIPÉLAGO

Em Cabo Verde não existem cursos de água superficiais permanentes. A fisiografia e as características climáticas determinam que a maior parte dos vales sejam percorridos por cursos de água temporários, durante a estação chuvosa. A ilha de S. Antão é uma exceção, onde alguns cursos de água, alimentados pelas nascentes, mantêm um caudal apreciável durante todo o ano.

A hidrografia de Cabo Verde é constituída de leitos de escoamento ocasionais, ou sazonais, formando vales encaixados e escoamentos torrenciais, que normalmente desaguam no mar. Apesar de apresentar valores médios anuais de precipitação bastante reduzidos, em anos mais húmidos o regime hidrológico torrencial a que o arquipélago se vê submetido aliado a solos pouco profundos, pouca vegetação e pendentes abruptas, origina cheias que fazem transbordar os leitos das ribeiras, arrastando consigo enormes blocos de basaltos e quantidades consideráveis de materiais finos, contrastando com os anos em que a precipitação é praticamente nula em todo o território.

Nas ilhas planas como o Sal, Maio e Boa Vista, o declive das ribeiras não ultrapassa os 5 %. Nas ilhas de Fogo e S. Antão localizam-se as maiores pendentes médias de todo o país. Os valores máximos situam-se na bacia de Volta Volta - ilha do Fogo e na Ribeira da Janela – ilha de Santo Antão (Boletim Oficial da República de Cabo Verde 2010).

A disponibilidade total de água do arquipélago de Cabo Verde é apresentada no Esquema Diretor dos Recursos Hídricos (Tabela 2.4).

A disponibilidade em águas superficiais é em regra muito superior à disponibilidade das águas subterrâneas, para o conjunto do país. As disponibilidades superficiais representam cerca de 1.5 vezes a disponibilidade bruta em recursos subterrâneos, 2.8 vezes a disponibilidade em recursos subterrâneos tecnicamente exploráveis em períodos médios e 4 vezes superior aos recursos subterrâneos tecnicamente exploráveis em períodos secos.

Tabela 2.4. Disponibilidade total de águas superficiais e subterrâneas em milhões de m³ ano⁻¹

Ilha (concelho)	Águas superficiais	Águas subterrâneas		
		Bruto (período médio)	Explorável (período médio)	Explorável (período seco)
R. Grande	8.1	10.5	8.8	6.3
Paul	4.5	5.6	4.2	2.7
P. Novo	14.4	12.5	8.3	5.6
S. Antão	27	28.6	21.3	14.5
S. Vicente	2.3	0.573	0.41	0,219
S. Nicolau	5.9	4.2	2.5	1.5
Sal	0.7	0.37	0.1	0.5
Boa vista	2.5	1.6	0.73	0.3
Maio	4.7	2.1	0.9	0.5
Tarrafal + Cal	11.7	10.1	6.6	4.1
S. Catarina	16.6	15.1	7.9	4.2
S. Cruz	10.8	7.1	5.7	4.2
Praia/S. Dom	17.5	10.1	5.8	4
S. Tiago	56.6	42.4	26	16.5
Fogo	79	42	12	9.3
Brava	2.3	1.9	1.6	1
Total	181	124	65	44

Fonte: Adaptação do Esquema Director dos Recursos Hídricos

A exploração das águas superficiais é seriamente condicionada pelo seu tipo de escoamento, geralmente torrencial. Com efeito, a captação e armazenamento das águas de escoamento superficial são práticas raras e a água mobilizada representa uma parcela muito insignificante do potencial existente. A exploração das águas subterrâneas efetua-se de acordo com os seguintes sistemas: (a) captação de nascentes; (b) galerias escavadas horizontalmente nos basaltos; (c) captação de aquíferos aluvionares por meio de poços e drenos transversais; e (d) furos profundos que exploram os aquíferos descontínuos dos basaltos.

As estatísticas, mais ou menos credíveis de pontos de água, referenciam a existência de 2304 nascentes (incluindo galerias), 1173 poços e 452 furos. De realçar que nesta estimativa só se contam os furos munidos de um meio de extração e efetivamente explorados. A maior parte desses pontos de água encontram-se nas ilhas de S. Antão e S. Tiago (cerca de 85 %).

O abastecimento no meio rural é feito com recurso às águas subterrâneas excetuando aquelas onde, por razões ligadas a insuficiência natural deste recurso se recorre adicionalmente à água dessalinizada nomeadamente São Vicente, Sal, Boa Vista, Cidade da Praia e Santa Cruz. Nas cidades, a taxa de cobertura de acesso à água potável é de aproximadamente 99 % em comparação com 76 % para as zonas chamadas rurais. Segundo os dados do Censo de 2010, mais de 90 % das famílias cabo-verdianas obtêm água para uso doméstico através de uma fonte de água potável, sendo 50.4 % da rede de pública, 25.1 % dos chafarizes, 7.5 % autotanques e 8.3 % água de rede pública na casa dos vizinhos.

CAPÍTULO 3
A ILHA DO SAL

3. ENQUADRAMENTO DA ILHA DO SAL

3.1. INTRODUÇÃO

A ilha do Sal foi descoberta em 1460 pelo português Diogo Gomes e o genovês António de Noli, sendo uma das últimas ilhas a ser povoada do grupo de ilhas e ilhéus denominadas de *“Desertas, nome pelo qual era conhecido o complexo arquipelágico constituído pelos ilhéus Branco e Raso e as ilhas do Sal, Santa Luzia e S. Vicente.”* (Baleno, 2002)

O crescimento populacional da ilha foi impulsionado pela construção do primeiro aeroporto internacional em 1939, que mais tarde em 1980 graças ao seu elevado potencial turístico, a ilha se transformou num dos principais destinos turísticos do arquipélago e um alvo para investidores. Nessa altura a população era de cerca de 6000 habitantes e até ao ano de 2000 houve um crescimento para 14792 habitantes. (Censo, 2000)

Segundo os dados mais recentes do Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde de 2010, a ilha do Sal tem uma população residente de aproximadamente 25800 habitantes, dos quais 13601 são do sexo masculino e 11880 são do sexo feminino, espalhados pelos 4 principais centros da ilha (Espargos, Santa Maria, Palmeiras e Pedra de Lume), que corresponde a 5.2 % do total da população residente em Cabo Verde (491683 habitantes). A cidade de Espargos é a mais populosa onde habitam cerca de 67 % da população da ilha (17081 habitantes).

A esmagadora maioria dos habitantes da ilha do Sal (92.5 %) residem no centro urbano o que representa um valor muito acima da média nacional que é de 61.8 % de população urbana e 7.5 % residem nas zonas rurais.

A população ativa da ilha do Sal (10 anos ou mais) é de 62.6 % (12786 habitantes), 7818 são do sexo masculino e 4968 são do sexo feminino, a população ativa no país é de 45.9 % (179684 habitantes), 101279 são do sexo masculino e 78405 são do sexo feminino. A taxa de inatividade na ilha é de cerca de 30 % (6065 habitantes), 2586 são do sexo masculino e 3479 são do sexo feminino, no país a taxa de inatividade é cerca de 49 % (190370 habitantes), 81115 são do sexo masculino e 109264 são do sexo feminino. A população ativa e desempregada na ilha é de 7.6 % (1552 habitantes), verifica-se uma paridade entre os dois sexos, sendo que 49.1 % (762 habitantes) são do sexo masculino e 50.9 % (790 habitantes) do sexo feminino. A taxa de desemprego é de 10.7 % (198475 habitantes) e a mesma paridade é também refletida entre os dois sexos, 50.49 % (10710 habitantes) são do sexo masculino e 49.5 % (10502 habitantes) do sexo feminino. (Censo, 2010).

Atualmente a principal atividade económica da ilha do Sal é o turismo, a ilha recebe cerca de 35.4 % dos turistas que que anualmente demandam o país além do influxo de trabalhadores de outras ilhas e do continente atraídos pelo crescimento da indústria turística. A construção do primeiro aeroporto internacional e único até 2005 permitiu que a ilha do Sal se posicionasse historicamente como o primeiro destino turístico de Cabo Verde, impulsionando a construção de infraestruturas hoteleiras e, recentemente, o desenvolvimento de projetos imobiliário-turísticos de médio e grande porte que já cobrem uma parte considerável da ilha, especialmente nos arredores da região turística de Santa Maria. (B.O da República de Cabo Verde 2013).

As atividades associadas ao aeroporto, companhias aéreas, segurança aérea e agências de viagens e turismo, constituem os principais postos de emprego da ilha. A Agência de Segurança Aeroportuária (ASA) emprega cerca de 300 trabalhadores, 84 % do total da empresa. Na ilha do Sal estão localizados 12 dos 44 hotéis existentes em Cabo Verde, incluindo 2 hotéis do Grupo Riu, e 44.7 % de todas as camas disponíveis no país (INE, 2010).

A agricultura é uma atividade sem grande expressão devido às fracas condições climáticas e dos solos, aliados a baixo potencial em recursos hídricos, tal como a agricultura, a pecuária também tem uma expressão reduzida, mas a sua importância como sector complementar da economia familiar é incontestável.

A extração do sal embora tenha sido no passado a principal atividade econômica da ilha e estando intimamente ligada como o processo de povoamento da ilha, atualmente não tem expressão significativa na economia local.

A pesca que também chegou a ser um dos principais sectores de atividade econômica logo a seguir da indústria do sal, atualmente não tem o mesmo peso na economia estando num panorama distante dos transportes, comércio e turismo (Associação Nacional dos Municípios Caboverdianos).

3.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Segundo Torres et al. (2002) apesar de não haver datações sistemáticas das diferentes sequências litoestratigráficas de todas as ilhas admite-se que, pelo aspeto fisiográfico, especialmente no que respeita ao relevo e grau de erosão, as ilhas de Sto. Antão, S. Vicente, Santa Luzia, S. Nicolau, Santiago, Fogo e Brava são mais modernas que as ilhas do Maio, Sal e Boa Vista.

A ilha do Sal é uma das mais antigas do arquipélago, terá sido formada há cerca de 1.8 milhões de anos. A ilha foi gerada, numa primeira fase, através de uma série de erupções vulcânicas, repetidas e abundantes, em que na imersão das lavas estas se distribuíram, formando enormes mantos que ocuparam grande parte da superfície. Muitas das irregularidades provocadas pelo derramamento das lavas foram aplanadas pelo depósito de sedimentos no mar, pouco profundo.

A figura 3.1 apresenta a Carta Geológica da ilha do Sal à escala 1:25 000 (1990) onde se cartografam as formações geológicas. Na ilha do Sal estão descritas as seguintes formações:

Miocénico Médio

- Complexo eruptivo antigo: formações antigas que apresentam maior estado de alteração das rochas; afloram na região centro oeste da ilha e são constituídos por mantos subaéreos, chaminés e rochas fonolíticas; mantos sub-aéreos de rochas nefeliníticas e ou melabasálticas, olivínicas; Brechas vulcânicas, com elementos de rocha basáltica recortada por filões basálticos, e traquitos; estruturas anelares subvulcânicas recortadas por filões basálticos; Complexa rede filoniana e brechas associadas; rochas granulares (gabros, piroxenas, sienitos feldspatóides); afloramento de rochas traquíticas e afins, subaérea e submarina intensamente recortada por filões basálticos e afins, calcários fossilíferos localmente mineralizados e com jaspes; afloramentos de mantos submarinos e hialoclastitos basálticos intensamente recortados por filões basálticos e afins traquíticos e afins.

Miocénico superior

- Complexo da Ponta do Altar: grandes derrames de lávicos de natureza basáltica (nefelínicas, melilitínicas e olivínicas); derrames subaéreos e submarinos, estas formações aparecem por vezes intercaladas por calcarenitos.
- Formação eruptiva da Serra Negra: mantos subaéreos, hialoclastitos e mantos submarinos, basaltos olivínicos.
- Formação da Ribeira de Fragata: calcarenitos e calcários marinhos fossilíferos com leitos conglomeráticos.
- Depósito conglomerático brechóide: sedimentos conglomerático-brechóides terrestres.
- Formação eruptiva principal: mantos subaéreos, nefeliníticos, olivínicos, mais ou menos ricos em melilite. Mantos subaéreos e submarinos, recortados por filões basálticos.

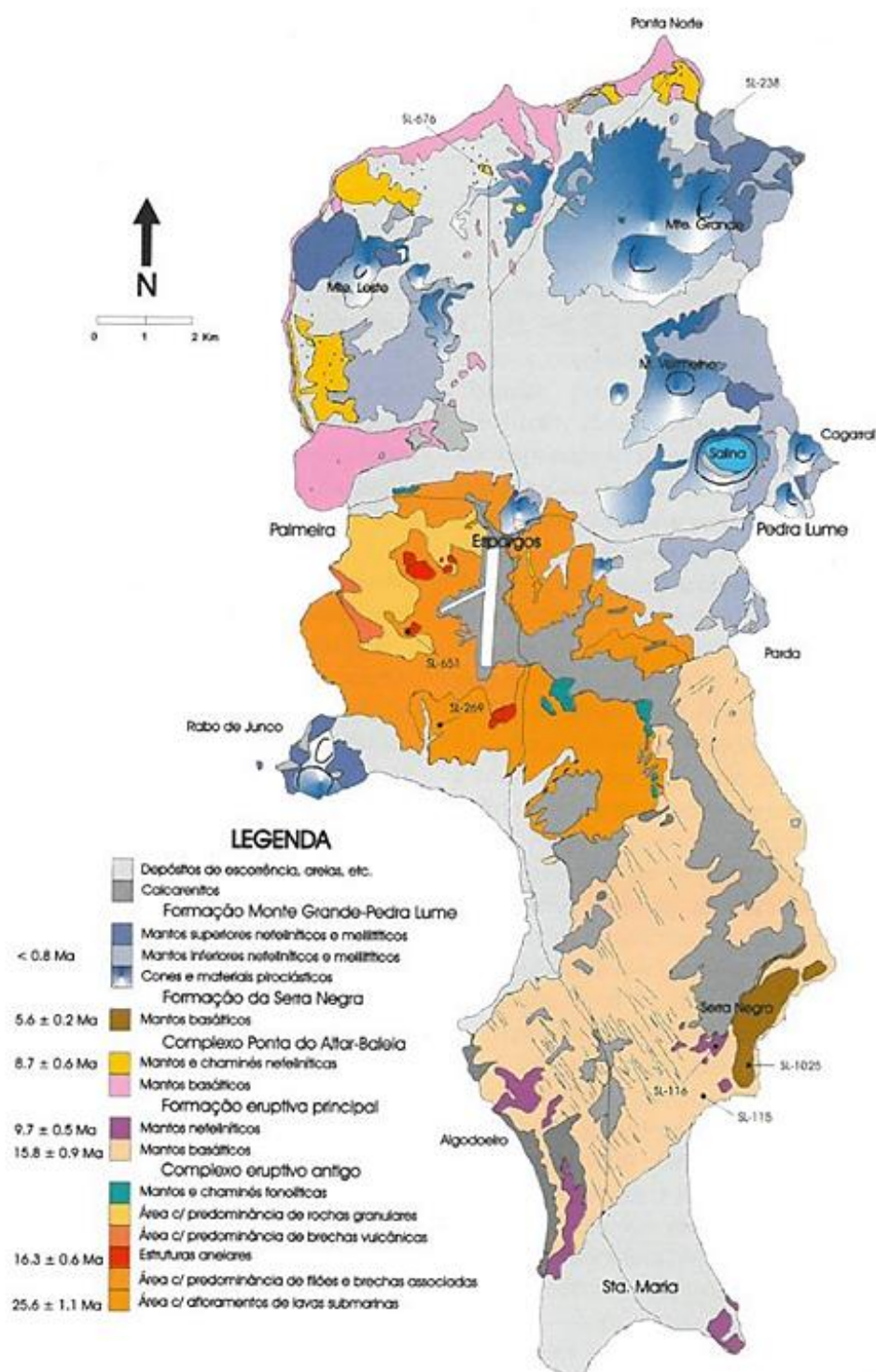


Figura 3.1 - Carta Geológica do Sal na escala 1/25.000' editada pelo Instituto de Investigação Científica Tropical em 1990 e modificado por P.C. Torres.

Pliocénico superior

- Formação do Monte Grande (Pedra Lume): assinalada por diversos aparelhos vulcânicos situados na metade norte da ilha, como o Monte Grande, Rocha Salina, Leste, Rabo de Junco e Pedra de Lume. São cones de piroclastos que assinala a última fase eruptiva da ilha. São praticamente os únicos acidentes geomorfológicos que quebram a grande monotonia topográfica da ilha. Estas formações geológicas estão

localizadas em redor dos aparelhos vulcânicos que assinala a última fase eruptiva: Monte Grande, Monte Leste, Rocha Salina, Pedra Lume, Monte Curral, Morrinho do Carvão e Rabo Junco - Mantos subaéreos predominantemente nefelínicos, e ou melitíticos, olivínicos; localmente rochas basálticas, olivínicas associadas; materiais piroclásticos com predominância de bagacinas e escassas escórias essencialmente de rochas nefeliníticas e ou melitíticas, olivínicas, localmente recortadas por filões de idêntica composição.

Plistocénico

- Sedimentos marinhos e terrestres (superfície dos Lajedos do Socorro, Ribeira dos Tarrafes, Espargos, Plataformas dispersas no centro sul): calcarenitos e calcários marinhos fossilíferos, localmente com calcário dolomítico, dunas consolidadas fossilíferas, conglomerados marinhos.

Holocénico

- Sedimentos marinhos e terrestres – (parte sul da ilha, arredores de Santa Maria, entre a Praia da Fragata e a Ponta do Sinó; Baía da Murdeira, Planura da Terra Boa na Base dos Cones Vulcânicos): areias e dunas calcárias; aluviões, areias de praias, depósitos de vertentes, depósitos de escorrência, conglomerados e terrenos salgados. As formações sedimentares estão bem representadas por sedimentos de origem marinha do Plistocénico, antigos níveis de praias, calcarenitos e calcários ocupando extensas áreas aplanadas sobretudo os lajedos. Os depósitos continentais englobam dunas que se formam a partir das praias pela ação do vento. Contam, ainda, os depósitos de enxurradas que se espraiam na base dos grandes cones vulcânicos do Plistocénico. A acumulação de calcários organogénicos na plataforma e seu posterior arrastamento até às praias estão na origem das dunas que acumulam no Sal e nas restantes ilhas orientais. Uma observação cartográfica ou em imagem de satélite demonstram a orientação dos cordões dunares na direção dos ventos dominantes (NE- SW). No caso da ilha do Sal os cordões dunares atingem maiores extensões na metade sul, sobretudo nas proximidades da Vila de Santa Maria, entre a Costa da Fragata e a Pontinha.

3.3. GEOMORFOLOGIA

A ilha do Sal, como o resto do Arquipélago, é de origem vulcânica. Encontra-se no cruzamento entre dois alinhamentos tectónicos principais do Arquipélago: a de direção N-S, que inclui as ilhas do Sal, Maio e Boa Vista e, outro, de direção NW-SE, que contém as restantes.

A ilha do Sal corresponde a um relevo aplanado, que chegou a ser completamente truncado pela erosão marinha, provavelmente entre 9 e 5.5 Ma contudo, as erupções pós-erosivas ocorridas no vulcão Serra Negra, acompanhadas por processos de elevação, contribuíram para o soerguimento da ilha por volta dos 3 Ma (Torres et al., 2002; Holm et al., 2008; Ramalho et al., 2010).

A parte norte da ilha apresenta uma planície de formas suaves, situação favorecida pela acumulação de sedimentos finos. A impressionante regularidade da sua superfície vê-se favorecida pela presença de amplas extensões de materiais piroclásticos ou por depósitos aluviais dos mesmos. As altitudes médias compreendem cotas entre os 20 e os 40 m de altitude, chegando os pontos mais altos a ter 50 m e por outro lado, a depressão de Terra Boa tem entre 15 e 16 m.

A parte intermédia, ocupa uma situação centro meridional dentro da ilha, o seu relevo caracteriza-se por diversas plataformas calcárias muito aplanadas, conhecidas como lajedos (lajedo de Espargos e lajedo do Socorro), com uma altitude entre 50 e 60 m. As superfícies basálticas, com relevo ondulado vão aflorar nas ladeiras que conduzem à franja costeira, recobrando as crostas calcárias e os mantos basálticos.

A franja meridional encontra-se em grande parte ocupada por mantos arenosos, que frequentemente formam pequenas dunas móveis, este revestimento arenoso encarrega-se de cobrir boa parte da plataforma basáltica primitiva. Na franja costeira, atrás dos cordões dunares e devido aos processos de infiltração marinha, são frequentes as terras salinas, conhecidas popularmente como “terras salgadas”, algumas delas foram aproveitados para a obtenção de sal (salina de Santa Maria).

Por último, existem uma série de relevos, antigos cones vulcânicos erodidos, mais frequentes no sector norte, como Monte Grande, ponto culminante da ilha (406 m), Monte Leste (269 m), Roca de Poi (194 m), Cagarral (173 m), a caldeira de Pedra Lume (124 m). Com respeito à parte central, Monte Curral (107 m) e Rabo de Junco (166 m) e bordeando a costa oriental, a chamada Serra Negra, que culmina a 102 m. (Amaral, Ilídio. 1964)

3.4. CLIMA

A ilha do Sal é uma das mais áridas do Arquipélago, tem uma alta insolação, forte evaporação, escassa nebulosidade e um alto nível de erosão e a sua proximidade com o continente africano a torna vulnerável ao vento quente e seco do deserto que transporta a areia do Saara e anualmente causa uma espécie de nevoeiro conhecido como Bruma Seca. As suas altas temperaturas vêm-se amortecidas pela ação das águas oceânicas e o efeito refrescante dos ventos alísios de N e NE que sopram de Outubro a Julho e exercem um efeito dessecante e erosivo importante no Arquipélago. Relativamente à temperatura média, a Ilha do Sal regista temperaturas que oscilam entre 20 e 28 °C, inclusive a temperatura da água do mar encontra-se entre 20 e 25 °C, e os ventos Alísios sopram com uma intensidade média de 24.5 km h⁻¹. As precipitações são muito escassas e irregulares, desde fortes temporais e monções, até processos de humidade ambiental ligados ao período invernal. Também deve mencionar-se o aumento da humidade devido aos efeitos diretos do mar, com os contínuos salpicos, que formam uma contínua, mas leve bruma que afeta as costas da ilha. No entanto, a seca pode prolongar-se por muitos anos ocorrendo a diminuição significativa dos valores da precipitação (valores de 120 mm ano⁻¹) podendo mesmo ser nula.

3.5. SOLOS

A distribuição geral dos solos no território de Cabo Verde está associada aos fatores responsáveis da sua formação, nomeadamente o clima (o regime de precipitação), as formações geológicas, o relevo (a altitude e formas de relevo). Pois “da interação dos variados tipos locais de clima, de rocha e de vegetação, resulta a formação de uma grande diversidade de solos, geralmente de fraco desenvolvimento, frequentemente interrompidos pela erosão vigorosa, dadas as características climáticas (Amaral, 1964). É importante salientar esses fatores variam bastante de ilha para ilha, determinando que cada uma delas possa apresentar uma diferenciação própria dos respetivos solos.

Com base na classificação da UNESCO, a Carta de Zonagem Agroecológica da ilha do Sal (Dinis e Matos, 1993), assinala as seguintes unidades Pedológicas:

Fluvisolos: solos que estão relacionados com depósitos aluvionares, evidenciando propriedades flúvicas e apenas patenteando um horizonte superficial ócrico. São solos que denotam pouca evolução, são predominantes texturas médias a pesadas e contêm em geral elevada proporção de elementos grosseiros. Os Fluvisolos identificados na ilha, incluem-se os Fluvisolos êutricos, Fluvisolos cálcicos e Fluvisolos mólicos. A sua distribuição está essencialmente confinada a o fundo dos vales das ribeiras principais e nas áreas

que se relacionam com depósitos de ocorrência que recobrem grande parte da aplanção setentrional. Os Fluviosolos êutricos têm uma representatividade de cerca de 70 % em que dominam nas baixas ribeirinhas, nas baixas fluviais das ribeiras principais apresentando texturas médias, ou grosseiras em locais restritos, fluviosolos calcários também são frequentes nessa área e os Fluviosolos mólicos com horizonte A do tipo mólico, têm uma representação muito restrita. Os Fluviosolos êutricos estão ainda representados nas superfícies de escoamento a relacionar-se com as superfícies de colúviação de materiais arrastados das vertentes dos morros ou cones vulcânicos, os quais, espalhando-se em leque, vêm ocupar extensões muito apreciáveis e nas superfícies de deposição a envolver formas ligeiramente côncavas de deposição de sedimentos finos em que estão também representados Fluviosolos mólicos.

Leptossolos: têm uma ampla distribuição pela ilha, apresentando, como horizonte de diagnóstico um horizonte A ócrico e desenvolvendo um perfil pedológico do tipo AR ou A CR R, desde que a rocha dura contínua e coerente se assinale a menos de 50 cm de profundidade. Os Leptossolos êutrico, os Leptossolos rendzicos e Leptossolos líticos são os mais representativos. Estes solos distribuem-se pelas Plataformas de «lajedo» em superfícies de topo calcário como em afloramentos de rocha calcária, nalgumas manchas com ligeiro revestimento de areia calcária; em superfícies intermédias ou da faixa litorânea em afloramentos de «lajedo», nalguns locais com recobrimento da camada arenosa calcária de natureza eólica, estão também presentes nas superfícies basálticas da faixa litorânea em superfícies de feição aplanada, disseminadas de blocos de calhaus e em correspondência com mantos basálticos da última fase lávica, por vezes recobertas por camada arenosa de origem eólica e em mantos basálticos desenvolvendo solos poucos profundos e frequentemente com crosta calcária.

Arenossolos: solos arenosos, de cor clara, formados a partir de material rico em quartzo, ou de areias em dunas e praias e na ilha aparecem como mantos de areia solta em geral pouco espessos, nalgumas situações e em manchas localizadas, patenteando-se no perfil um horizonte A ócrico, e daí a correspondência com Arenossolos háplicos de areias calcárias.

Andossolos: solos geralmente originários de material vulcânico não consolidados e de textura grosseira, na ilha, estão relacionados com a formação de dunas na parte meridional da ilha. A sua ocorrência corresponde a áreas áridas e semiáridas, geralmente em associação com cones vulcânicos ao redor dos quais materiais de projeção expelidos na última fase lávica (Plistocénico), se foram acumulando, o aparelho vulcânico da Pedra Lume na parte setentrional da ilha é um desses exemplos onde predominam Andossolos vítricos e Andossolos háplicos.

Cambissolos: solos que apresentam de forma geral texturas finas ou médias sendo o horizonte A ócrico uma característica comum. Estes solos denotam algum grau de evolução e são bastante representativos e de larga distribuição nas superfícies do complexo filoniano basáltico ou traquítico-fonolítico, com predominância dos Cambissolos crómicos que se caracterizam por colorações pardo-forte ou avermelhada, também são frequentes Cambissolos êutricos que possuem um horizonte B câmbico e de cores parda ou pardo-amarelada. Os Cambissolos êutricos são predominantes nas plataformas sobrelevadas com uma representatividade de cerca de 60 % enquanto os Cambissolos crómicos possuem uma predominância de cerca de 30 %. É ainda importante destacar a presença de Cambissolos êutricos flúvicos com uma vasta dispersão, estes solos estão relacionados com deposição de materiais finos de algum modo já evoluídos, sobretudo em bacias interiores.

Solonetz: solos salgados com representação assinalável nas superfícies salgadas da ilha, patenteiam um horizonte B nátrico com maior ou menor evidência, ou seja, um horizonte argílico de estrutura colunar ou prismática e com um grau de saturação de sódio de troca acima de 15 % pelo menos nos primeiros 40 cm da superfície.

Solonchaques: solos salgados que manifestam propriedades sálicas, ou seja, solos salinos que apresentam valores da condutividade elétrica do estrato de saturação acima de 15 mmhos cm^{-1} (25 °C) e nos primeiros 30 cm da superfície, em qualquer período do ano ou superiores a 4 mmhos cm^{-1} quando o pH excede 8.5. Em relação as superfícies salgadas do troço a jusante das ribeiras principais da aplanção baixa meridional, estão bem representados os Solonchaks háplicos calcários, com um horizonte A ócrico e efervescência forte ao HCl no horizonte superficial, pelo menos entre 20 e 50 cm de profundidade e os Solonchaks cálcicos ou então concentrações de calcário brando ao longo do perfil.

3.6. FAUNA E FLORA

Em termos de biodiversidade, a ilha do Sal apresenta uma grande riqueza do ponto de vista das espécies de flora e fauna, com maior potencial marinho. A ilha possui importantes populações de animais marinhos não encontrados em nenhum outro lugar da Macaronésia:

- Cinco das sete espécies existentes de tartarugas marinhas tem sido identificadas em Cabo Verde, arquipélago que constitui a 3ª maior população mundial da Tartaruga-comum ou vermelha (*Caretta caretta*) sendo a ilha um local importante para a reprodução da espécie (Lima, 2008). A população de Tartaruga-comum de Cabo Verde está entre as 11 populações de tartarugas marinhas mais ameaçadas do planeta (Wallace et al., 2011) e tem sido considerada como uma Unidade Regional de Gestão ou Regional Management Unit (Wallace et al., 2010), geneticamente distinta das outras populações desta espécie no Atlântico e no Mediterrâneo (Monzón et al., 2010). Os seus ecossistemas de destaque são a Baía da Murdeira e as áreas marinhas circundantes, de extrema importância como área de reprodução e maternidade para várias espécies durante parte do ano, além de zona de migração/alimentação. Ressalta-se também a baía da Palmeira, como importante local que aporta recifes rochosos e todo o ecossistema de vários tipos de corais;
- O arquipélago é considerado como um importante “hotspot”, ou ponto quente, relativamente à diversidade de corais e um dos 10 lugares prioritários a nível mundial para a conservação dos habitats coralinos (Roberts et al., 2002). Na ilha, ressalta-se a Baía da Palmeira é um local importante que alberga todo ecossistema de vários tipos de corais e recifes rochosos. Detém uma variedade de espécies: peixes (como 6 espécies de tunídeos, serras, espadartes, várias espécies de pequenos pelágicos e demersais); moluscos (polvos, lulas); crustáceos-lagostas da família Palinuridae: com espécies de lagosta verde, castanha e rosa (esta última endémica de Cabo Verde), além da família Scyllaridae: representada pela espécie lagosta de pedra; e camarões, embora as densidades populacionais sejam pequenas. Ainda no que diz respeito às espécies marinhas da ilha, destacam-se os tubarões golfinhos e tartarugas, tendo sido registadas vinte espécies de cetáceos nas águas da ilha, em particular baleias corcundas, baleias azuis, cachalotes, orcas e uma grande variedade de golfinhos.
- Outro dado importante da biodiversidade marinha da ilha do Sal é a grande biomassa de peixes pelágicos e demersais e de crustáceos-lagostas da família Palinuridae: com espécies de lagosta verde, castanha e rosa (esta última endémica de Cabo Verde), além da família Scyllaridae: representada pela espécie lagosta de pedra; e camarões, embora as densidades populacionais sejam pequenas. Destacam-se outras espécies marinhas como tubarões, baleias corcundas, baleias azuis, cachalotes, orcas e uma grande variedade de golfinhos. As águas costeiras superficiais e resguardadas da costa ocidental do Sal são habitat de reprodução da baleia *Megaptera novaeangliae* (Baleia-de-bossa).

Quanto a biodiversidade terrestre, a carta de Zonagem Agroecológica da Ilha do Sal assinala toda a ilha numa zona muito árida, embora se conservem algumas espécies endémicas do arquipélago, a flora sofreu uma grande transformação, devido às práticas tradicionais de agricultura e pecuária. A vegetação espontânea praticamente se limita à vegetação herbácea efémera que desaponta com as raras quedas pluviométricas da ilha. A tamareira cabo-verdiana (*Phoenix dactylifera* L.) é das raras árvores autóctones. Nas arbustivas, praticamente apenas o tarrafe (*Tamarix canariensis* Willd.) persiste. Mesmo assim, constituem populações limitadas e praticamente relíquias de uma vegetação menos agreste. A ilha do Sal foi a única ilha do País que não foi beneficiada pelos programas de arborização, este facto deveu-se sobretudo à extrema secura.

A uniformidade de relevo da ilha dominada por planuras traduz-se numa uniformidade de vegetação: estepe rarefeita de reduzido porte, constituída maioritariamente por ervas de ciclo breve (anuais e pseudo-anuais), mais ou menos tolerantes aos elevados níveis de salinidade, decorrentes das gotículas de águas do mar transportadas pelo vento. A uniformidade verifica-se quer no aspeto morfológico quer no florístico, com exceção das formações edáficas das ribeiras e as halófitas.

Quanto à fauna, destacam-se as aves de cariz sub-desértico como o Corredor-saariano, o Pardal-preto ou a Laverca-íbis. O Ilhéu Rabo de Junco por sua vez representa uma importante área de nidificação e alberga espécies de aves marinhas como *Pandion haliaetus* (Guincho), *Fregata magnificens* (Rabil), *Calonectris edwardsii* (Cagarra), *Sula leucogaster* (Alcatraz), *Phaethon aethereus* (Rabo-de-junco), *Pelagodroma marina* (Pedreiro-azul) e *Oceanodroma castro* (Jabejabe/Pedreirinho).

Os répteis terrestres estão representados por espécies endémicas com destaque para a osga *Tarentola* e *Hemidactylus boavistensis* para o lagarto da subespécie *Chioninia spinalis salensis*.

CAPÍTULO 4

AMOSTRAGEM E MÉTODOS

4. AMOSTRAGEM E MÉTODOS DE ANÁLISE

A recolha de solos teve por objetivo a caracterização geoquímica das diferentes unidades litológicas, da ilha do Sal. Contudo, devido ao tempo limitado disponível para a execução do projeto e às limitações impostas pelo confinamento devido à crise pandémica do COVID-19, não foi possível realizar como previsto a amostragem em toda extensão da ilha (Figura 4.1).

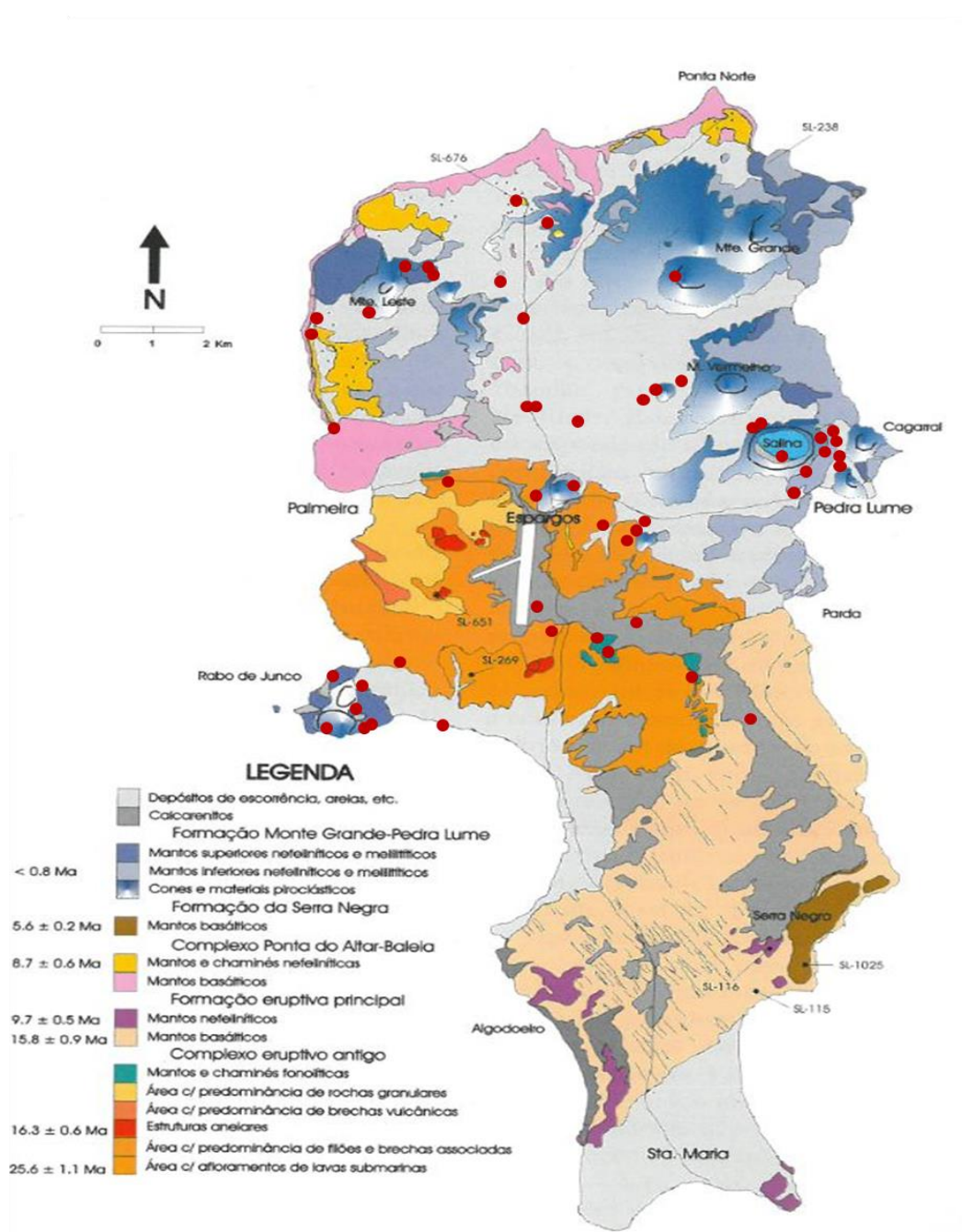


Figura 4.1 – Locais de amostragem de solos sobrepostos à carta geológica simplificada da ilha de Santiago.

A metodologia definida para esta amostragem de baixa a média densidade dos solos seguiu as propostas/recomendações do *Projecto IGCP 259 – “International Geochemical Mapping* (Darnley et al., 1995 in Ferreira, 2000), não só na fase de colheita das amostras, mas também durante as etapas de preparação, análises,

tratamento estatístico e metodologia da cartografia de teores dos elementos químicos. Os pontos de amostragem selecionados (Figura 4.1) corresponderam a locais com reduzida ou nenhuma atividade humana de forma a garantir a ausência de impacto antrópico. Para cada umas das unidades litológicas, selecionaram-se pelo menos 5 pontos de colheita, de modo a garantir a sua representatividade. A colheita das amostras de solos foi realizada em Dezembro de 2016.

Para cada amostra recolhida realizou-se uma ficha de campo onde foram registadas informações relativas às características gerais do local amostrado como da zona circundante tais como coordenadas geográficas, data da colheita, características da amostra, tipo de relevo, existência ou não de linhas de água, tipo de solo (agrícola ou não), proximidade de aglomerados populacionais, existência ou não de vida animal, tipo de vegetação, condições atmosféricas. Toda a informação foi consolidada numa base de dados. De modo a garantir a representatividade das amostras, colheu-se em cada local de amostragem uma amostra compósita na camada de solo superficial (0-20 cm de profundidade).

Para a colheita das amostras foram utilizados vários instrumentos tais como: pá em aço inoxidável, martelo de geólogo, caderno de campo, cartas topográficas e geológicas (1:25000), carta de solos (1:50000), sacos de plástico, etiquetas, lápis, corda (fio de norte). Os sacos de plástico foram previamente referenciados para cada local de amostragem.

Para a obtenção dos dados geoquímicos de base da ilha do Sal foram colhidas 53 amostras com uma densidade de 1 amostras/3 km² e onde foram tidas em consideração as recomendações do Projecto Internacional IGCP 259 – “*International Geochemical Mapping*”.

As amostras foram peneiradas manualmente no campo em peneiros plásticos utilizando malhas de nylon de 2mm de diâmetro sendo rejeitada a fração >2 mm. A fração <2 mm é frequentemente utilizada em estudos ambientais e pedológicos sendo recomendada pelo “*FOREGS Geochemical Baseline Programme*” (Salminen et al., 1998).

No decorrer da amostragem foram ainda colhidas amostras duplas de 10 em 10 locais, de modo a calcular a variabilidade amostral. As amostras duplas foram colhidas de forma idêntica à original, alternando com esta os pontos de colheita, e colocadas em sacos de plástico separados.

4.1. PREPARAÇÃO FÍSICA DAS AMOSTRAS

A preparação física das amostras foi realizada nos laboratórios do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro (Portugal).

Foi tomado todo cuidado durante a preparação das amostras para evitar a contaminação das amostras. A secagem das amostras foi feita realizada ao ar livre em tabuleiros de plástico lavados (sem detergente para evitar a ocorrência de possíveis contaminações) para evitar a perda dos elementos mais voláteis. Posteriormente, em salas com mecanismo de extração de poeiras, efetuou-se a homogeneização e o quarteamento, em papel cru, retirando todo o material orgânico. Dois quartos opostos da amostra foram arquivados em saco de plástico novo.

A fração <2 mm foi selecionada para as análises químicas e mineralógicas dos solos. Após secagem da amostra, uma porção de 20 g foi moída durante 20 minutos num moinho de ágata. Entre cada moagem o moinho foi

lavado com água da torneira, seguindo-se uma moagem de cerca 30 g de sílica, durante 5 minutos, efetuando-se, depois, uma nova lavagem com água da torneira. Por último, após a sua secagem, limpou-se o moinho com álcool etílico a 96 %. Todos os utensílios utilizados, durante o processo da moagem foram lavados, entre moagens, com água da torneira e, depois de secos, com álcool etílico a 96 %.

O tratamento a que as amostras foram sujeitas obedeceu às recomendações do *Projecto IGCP 259 – “International Geochemical Mapping* (Darnley et al., 1995), nomeadamente à utilização do equipamento e instrumentos cuidadosamente limpos e não contaminantes, em sala livre de poeiras, a fim de evitar contaminação. Foi realizado em cinco fases, em sequência das mesmas cinco fases de campo, tendo havido o cuidado de estabelecer previamente os critérios e procedimentos a ter em conta para a execução desta preparação, apresentados de forma esquemática na figura 4.2.

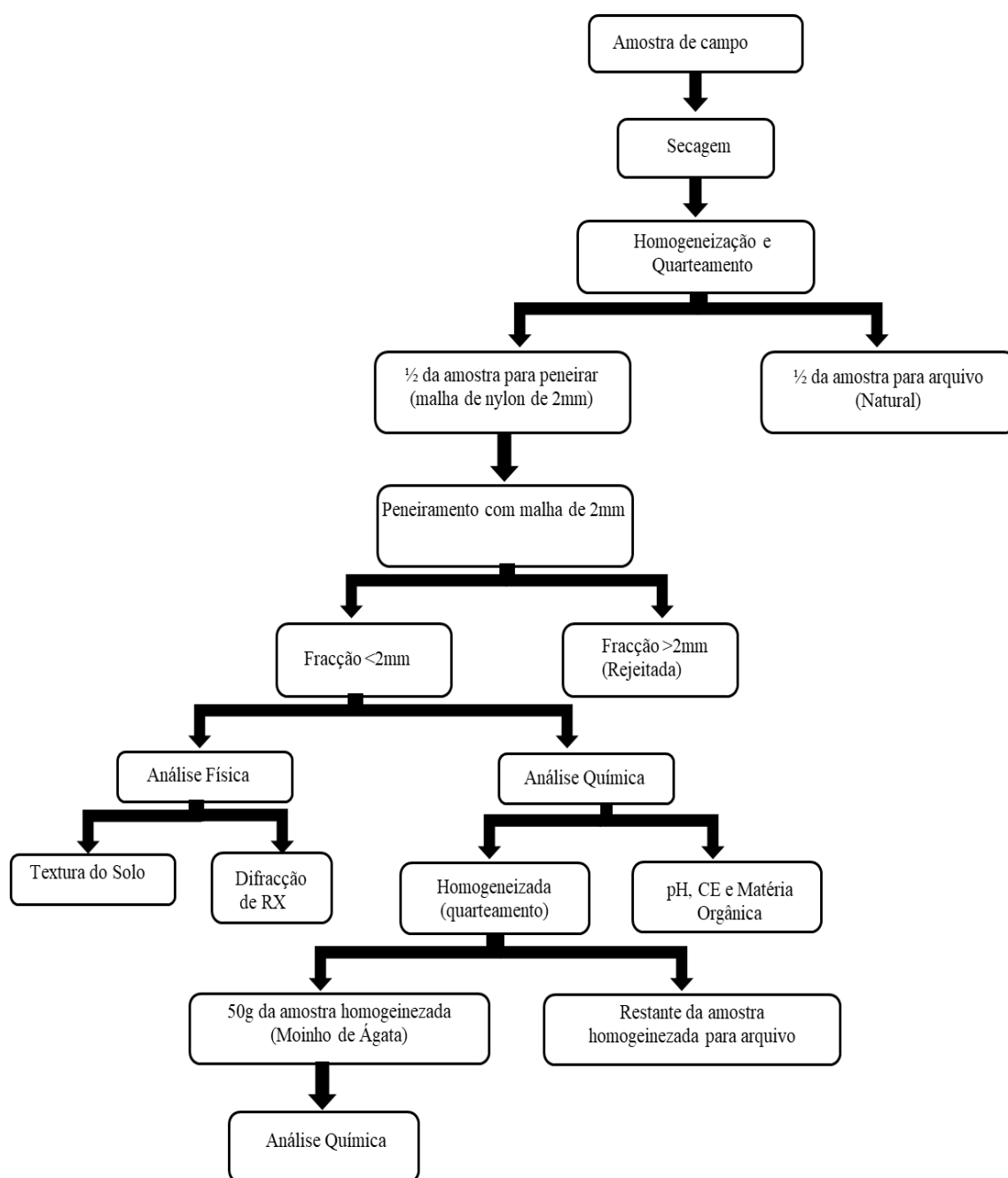


Figura 4.2 - Fluxograma das fases de preparação e análise das amostras de solo.

Da amostra obtida, cerca de 5 g foram colocadas em sacos de plástico selados termicamente, referenciadas com um número de laboratório, para seu posterior envio para análise. A restante amostra moída ficou guardada em recipientes devidamente referenciados.

4.2. DETERMINAÇÃO DA TEXTURA DOS SOLOS

A textura do solo representa a distribuição das partículas do solo quanto ao tamanho, é um dos principais parâmetros utilizados como indicadores de qualidade física do solo, através da sua determinação é possível inferir sobre outros parâmetros, além de compreender o comportamento e manejo do solo. A ocorrência e crescimento de diferentes espécies vegetais estão diretamente relacionados às propriedades físicas do solo, assim como o movimento de água sobre e através dos solos e seus nutrientes e poluentes químicos dissolvidos. Areia, silte e argila são as três frações texturais de um solo que apresentam amplitudes de tamanho variáveis em virtude do sistema de classificação adotado.

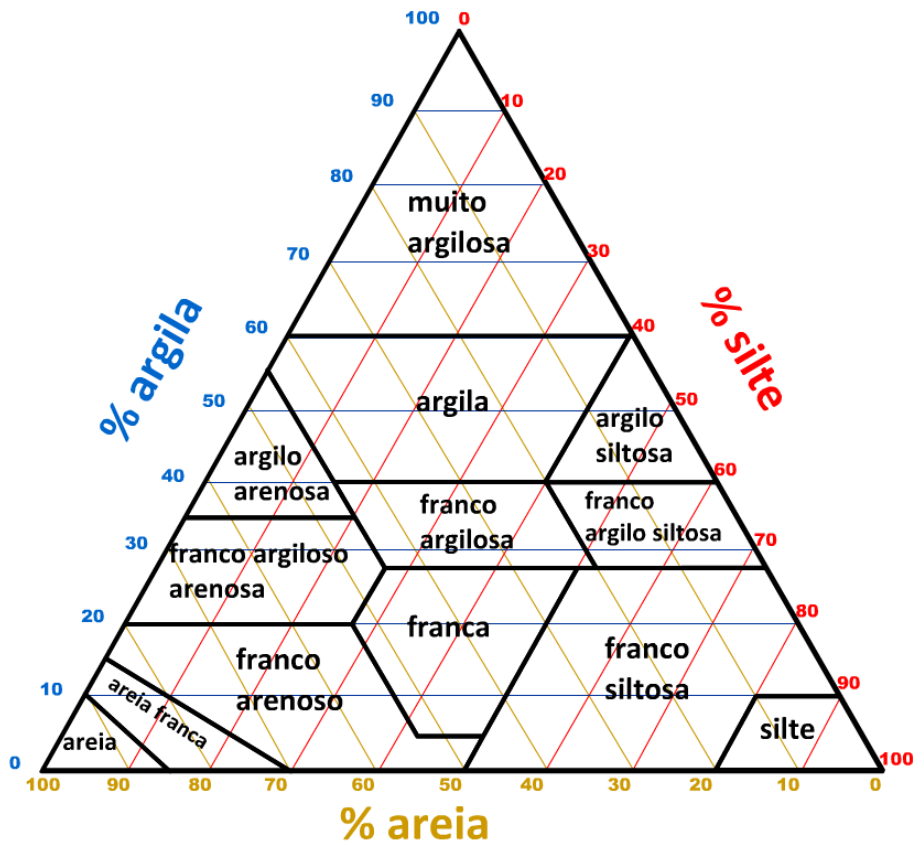


Figura 4.3 - Diagrama triangular utilizado para a classificação da textura dos solos.

A textura do solo foi determinada em laboratório onde fez-se a pesagem de 30 g de solo e posteriormente misturado com 1 litro de água destilada num copo e colocada em um aparelho dispersão durante cerca de 3 minutos e posteriormente fez-se a separação por peneiramento e sedimentação da fração inferior a 106 µm.

A pesagem das frações foi realizada após secagem em estufa, o método de determinação foi o de o método do densímetro de “Bouyoucos” dado não haver fisicamente tempo para usarmos o método da crivagem e pipeta de Robinson que é mais demorado.

4.3. DETERMINAÇÃO DA COR NAS AMOSTRAS DE SOLO

A cor do solo é uma característica morfológica de grande importância na ciência do solo. Por sua fácil visualização e determinação, a cor do solo, é amplamente utilizada para classificar e interpretar os solos (Santos et al., 2005).

A cor é uma propriedade física da qual pode-se inferir diversas informações sobre o solo, a mudança da cor pode ser uma resposta a mudanças de relevo, vegetação, profundidade, clima, aeração, material de origem, grau de intemperismo, mineralogia e concentração de matéria orgânica. Nesse contexto, a análise da cor pode ser utilizada para obter informações sobre as propriedades do solo e do ambiente, na classificação dos solos e diferenciação dos horizontes além de exercer influência na temperatura do solo (Fernandez e Schulze, 1992)

A cor do solo está diretamente relacionada às propriedades químicas e físicas do solo e a sua composição biológica e mineralógica, sendo que os principais fatores que influenciam a cor dos solos são a mineralogia, a umidade e o conteúdo de matéria orgânica.

A matéria orgânica é um constituinte primário da coloração do solo e está relacionada à tonalidade da cor, quanto maior for o conteúdo de matéria orgânica, mais escuro será o solo (Dalmolin et al., 2005; Santos et al., 2005).

Os solos com constituição mineralógica rica em quartzo são geralmente pobres em matéria orgânica e óxidos de ferro e tendem a ser mais claros e esbranquiçados enquanto os solos com forte presença de óxidos de ferro tendem a apresentar coloração vermelha, castanha ou amarela (Azevedo, 2006; EMBRAPA, 2013).

Mesmo que em pequenas concentrações, os óxidos de ferro exercem grande influência nas propriedades dos solos, principalmente na cor (Schwertmann, 2008). Geralmente a cor é determinada em campo por comparação visual com os padrões da carta de Munsell (Munsell Soil Company, 1950) mas também pode ser determinada por instrumentos de sensoriamento remoto como colorímetros, espectrofotômetros e espectrorradiômetros. A Carta de Munsell para Solos (*Munsell Soil Color Charts*) é um livro que reúne uma série de padrões de cor que são encontradas nos solos (Figura 4.4).

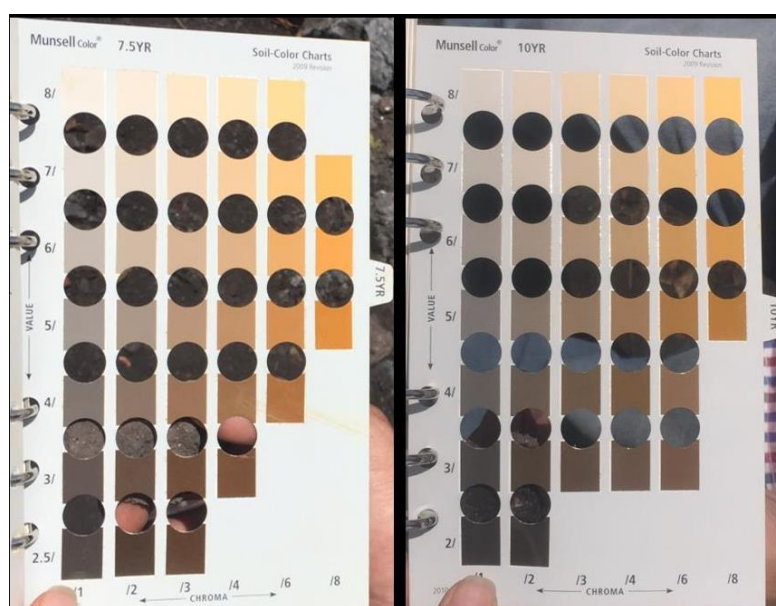


Figura 4.4 - Carta de Munsell para a determinação da cor.

Devido à sua fácil e rápida aplicação em campo, a carta de Munsell vem sendo utilizada mundialmente e foi adotada no *American Soil Survey Program* no ano de 1949 e passou a ser recomendado pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo (ISSS) em 1960 (Simonson, 1993).

O sistema classifica as cores por meio de três componentes: Matiz, Valor e Croma (Hue, Value e Chroma em inglês).

O *hue* ou matiz é a cor espectral dominante que corresponde a um determinado comprimento de onda, quer dizer, expressa um comprimento de onda na radiação refletida. Assim se consideram cinco cores principais, (R, P, B, G, Y) e cinco cores intermediárias (RP, PB, BG, GY, YR) que se representam pelas iniciais do seu nome em inglês. Cada cor recebe uma graduação de 0 a 10, que corresponde a faixa de cores do arco-íris. O valor 5 significa que nos encontramos no ponto central da faixa, quando descemos, aproximamo-nos da cor com o comprimento de onda mais baixo e quando subimos para a que é imediatamente superior. Assim o YR coincide com o 10R e o 10YR corresponde com 0Y (Cleland, 1921, Santos et al., 2005; Schaetzl e Anderson, 2005; Soil Survey Staff, 1993).

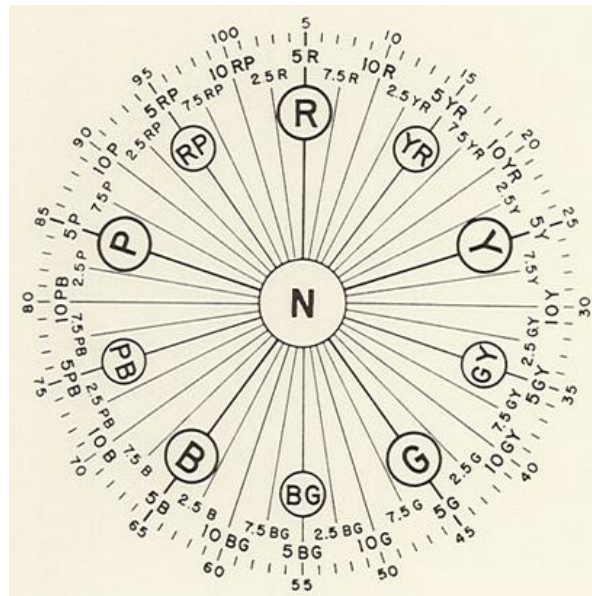


Figura 4.5 - Iniciais das cores principais e intermediárias da árvore de Munsell.

O *value* ou tonalidade é a luminosidade da cor. Está relacionado à intensidade de luz refletida, ou ao brilho. O valor é uma escala acromática que varia do preto absoluto (valor 0) ao branco absoluto (valor 10). Na carta de cores Munsell para solos, o componente valor está disposto verticalmente em ordem decrescente do topo para o final de cada página (Cleland, 1921, Santos et al., 2005; Schaetzl e Anderson, 2005; Soil Survey Staff, 1993).

O Croma é a pureza da cor. Indica o grau de saturação da cor, ou seja, a pureza da cor em relação ao cinza. O cromagem varia de 0 (cores neutras: branco, cinza e preto) a 10 (cores mais vivas) em incrementos de duas unidades. Na carta de cores Munsell para solos o componente cromagem está disposto horizontalmente iniciando-se em 1 e normalmente chegando até 8 em ordem crescente da esquerda para a direita de cada página (Cleland, 1921, Santos et al., 2005; Schaetzl e Anderson, 2005; SOIL SURVEY STAFF, 1993).

A cor será, portanto, descrita por esses parâmetros (Figura 4.5), tanto seco quanto húmido, com base nas tabelas de notação de cores de Munsell. Para isso, é necessário em campo e através da utilização dessas tabelas, primeiro estimar a cor húmida, posteriormente registrá-la na ficha de estudo e depois deixar a amostra secar ao

ar e determinar a cor seca da amostra, registrando-a também mais tarde. O Anexo 1 resume os códigos atribuídos às amostras de solo (secas e húmidas) assim como a cor correspondente.

4.4. DETERMINAÇÃO DO pH DO SOLO

Nos solos, o pH é utilizado como um indicador da acidez ou da alcalinidade dos mesmos e é medido em unidades de pH. O pH é uma das propriedades mais importantes do solo que afeta a disponibilidade dos nutrientes, controla muitas das atividades químicas e biológicas que ocorrem no solo e tem uma influência indireta no desenvolvimento das plantas. O pH foi analisado em laboratório através do método potenciométrico. O método analítico consistiu em pesar 10 g de amostra de solo, juntar 50 ml de água destilada e agitar durante 2-3 minutos. A leitura do valor de pH foi realizada na solução sobrenadante com um medidor de pH (aparelho Crison-Hanna - HI 8014) calibrado com duas soluções padrão de valores de pH 4.01 e 7.01 (± 0.01). O registo da temperatura foi efetuado em simultâneo com a determinação dos valores do pH, mediante uma sonda de temperatura incorporada. O Anexo 2 apresenta os valores de pH obtidos para as amostras de solo da ilha do Sal.

4.5. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE)

A salinidade de um solo pode ser calculada mediante a medição da condutividade elétrica (CE), e se refere a quantidade de sais presentes na solução. O valor da condutividade elétrica é influenciado pela concentração e composição dos sais dissolvidos na solução. A condutividade elétrica das amostras de solo foi determinada com apoio dum condutivímetro de Cole Parmer (1481- 50 Model) após calibração com uma solução padronizada de cloreto de potássio (KCl - 0.01M), a 25 °C seguindo as recomendações de Reimann et al. (1998). O método analítico consiste em pesar 10 g de amostra de solo, adicionar 20 ml de água desmineralizada (razão 1:2), agitar durante 30 segundos. A leitura fez-se diretamente no sobrenadante após 1 hora de repouso. Os resultados foram expressos em mS cm^{-1} a 25 °C. O Anexo 2 apresenta os valores de condutividade obtidos para as amostras de solo da ilha do Sal.

4.6. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA (MO)

A matéria orgânica é composta por uma série de compostos de estruturas diversas, procedentes da decomposição total ou parcial de células animais e/ou vegetais e que influenciam diretamente nas propriedades físicas e químicas do solo. A sua concentração nos solos varia de 1 a 6 % na área superficial em menor proporção no subsolo, em regiões áridas as percentagens são geralmente inferiores a 1 %. Apesar da sua percentagem muito pequena do total que constitui o solo, a presença da matéria orgânica é imprescindível para a fertilidade dos solos e desenvolvimento do cultivo.

Para a determinação do teor da matéria orgânica a amostra foi submetida ao processo de combustão com aquecimento programado e perda de massa pela incineração em mufla. Em cadinhos de porcelana, pesou-se 5 g da amostra e colocadas na estufa por a 105 °C durante 24 h, após a secagem foram colocadas no dessecador até esfriarem, as amostras foram novamente pesadas e colocadas em mufla a 400 °C durante 4 h. Após as 4 h os cadinhos foram colocados no exsicador e depois de frios foram novamente pesados e o teor da matéria orgânica determinado pela diferença de peso apresentada antes da incineração e o peso apresentado depois da incineração. O Anexo 2 apresenta os valores de matéria orgânica obtidos para as amostras de solo da ilha do Sal

4.7. ANÁLISE MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS DE SOLOS

Foi realizada análise mineralógica através dos resultados obtidos por Difração de Raios-X das amostras de solos no laboratório de Materiais do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, sobre a fração <2 mm das amostras, durante o ano de 2020.

Para determinar a composição mineralógica dos solos da ilha do Sal, selecionaram-se 53 amostras, que garantissem a representatividade dos diferentes tipos litológicos e pedológicos mais importantes. Neste estudo utilizou-se o método das poeiras cristalinas, sendo gráfico o modo de registo (Diffractometria de pós). Um grama de amostra seca foi exposto a um feixe de raio-X (DRX). Para a obtenção dos difractogramas, utilizou-se um difractómetro Philips X'Pert constituído por um gerador MPPc, um goniómetro PW 3050 e um microprocessador PW 3040/60 com registo numa impressora. Foi utilizada a radiação CuK α ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$), filtrada (filtro de Ni), com monocromatização não completa. As condições operacionais foram as seguintes: 30 mA, 50 kV, scan contínuo (varrimento entre 2° e 60°), fenda de 1°, um "step size" de 0.02 (2 θ) e um "scan step time" de 1.05 s.

Os difractogramas obtidos foram interpretados com base nos ficheiros do JCPDS - Joint Committee for Powder Diffraction Standards que contêm dados estruturais retirados de difractogramas de mais de 2000 espécies minerais padrão. Entre esses dados constam os valores de d_{hkl} correspondentes às diversas difrações ou reflexões, dispostos por ordem decrescente de valor, bem como as intensidades correspondentes às difrações, para além de outros dados informativos (Gomes 1979). Recorreu-se também a tabelas constantes de livros editados por Brindley e Brown (1980) para identificação complementar dos difractogramas. O Anexo 3 apresenta os difractogramas obtidos para as amostras de solos da ilha do Sal.

4.8. ELEMENTOS MAIORES, MENORES E VESTIGIAIS NA AMOSTRA DE SOLOS

A preparação laboratorial e análise química das amostras de solos foram efetuadas em Vancouver, no laboratório comercial *ActLabs Analytical Laboratories Ltd*. Além dos habituais processos de rotina de controlo de qualidade levadas a cabo pelo laboratório, seguindo sempre as recomendações do Projeto n.º 259 do IGCP (Darnley et al., 1995) introduziram-se duplicados de campo e duplicados analíticos numa proporção de 1 em cada 10, e efetuou-se uma renumeração aleatória das amostras antes do ataque e análise química.

Devido à forte componente ambiental que este trabalho apresenta, optou-se pela dissolução com água-régia como método de ataque químico (Inácio Ferreira, 2004), apesar do Projeto n.º 259 do IGCP (Darnley et al., 1995) aconselhar o uso da dissolução total. A digestão com água-régia é um método de ataque químico usado em estudos ambientais de metais pesados (mais frequentemente que misturas com HF ou ácido HClO₄) (Darnley et al., 1995; Inácio Ferreira, 2004). Este ataque tem um forte poder oxidante e dissolve totalmente a maioria dos sulfuretos, óxidos, minerais de argila e minerais secundários formados durante os processos de formação de solos e transporte de sedimentos. Contudo, não dissolve a maioria dos materiais silicatados (Darnley et al., 1995; Inácio Ferreira, 2004). Este tipo de ataque separa com certa facilidade a fase mais móvel dos elementos, normalmente associada a minerais de argila, à matéria orgânica e outros minerais secundários (Rose et al., 1979; Thompson, 1983; Chao e Sanzalone, 1992).

A preparação química das amostras de solo consistiu na decomposição de 0.5 g de amostra com 3 ml de água-régia (HCl+HNO₃ nas proporções 3:1) a 95 °C, durante uma hora, a que se seguiu uma diluição com água destilada

até perfazer 10 ml. Este ataque, de acordo com as informações cedidas pelo laboratório, é parcial para os elementos B, Ba, Ca, Cr, Fe, La, Mg, Mn, P, Sr, Ti, V e W e limitado para Al, K e Na.

As amostras de solo foram analisadas por espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo (ICP-MS) para 9 elementos maiores (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, e Ti) e 28 elementos menores e vestigiais (Ag, As, Au, B, Ba, Bi, Cd, Co, Cu, Cr, Ga, Hg, La, Mn, Mo, Ni, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Th, Tl, U, V, W e Zn). Os resultados obtidos são disponibilizados no Anexo 4.

Este conjunto inclui elementos integrados nas diferentes legislações internacionais de solos (por exemplo: Ag, As, B, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, La, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Ti, U, V e Zn), assim como elementos essenciais constituintes da litosfera (por exemplo: Al, Fe, Na, Mg, K e Ca), e elementos importantes a nível agrícola (P, Ca, K e Mg).

4.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A utilização de ferramentas estatísticas visam simplificar a grande quantidade de dados gerados em campanhas de mapeamento geoquímico. As técnicas estatísticas possibilitam a identificação de feições que à priori estão ocultas, caracterizar o comportamento de elementos geoquímicos com o objetivo de fazer predições e extrapolações para explicar fenômenos geológicos e geoquímicos. (Frizzo e Licht, 2007).

4.9.1. Estatística univariada

Estatística Univariada pode ser descrita como o ramo que analisa individualmente as variáveis de uma determinada população. Para o tratamento estatístico univariado foram calculados os principais parâmetros estatísticos (medidas de tendência principal e dispersão) bem como histogramas e box-plots (caixas de bigodes) para os 37 elementos analisados bem como os parâmetros pH, Condutividade Elétrica (CE) e Matéria Orgânica (MO) para o conjunto das 53 amostras dos solos da ilha do Sal, Cabo Verde. A estatística univariada fornece um panorama geral das características dos dados, com o objetivo de identificar as distribuições normais que estão representadas no conjunto de dados analíticos (Licht, 2007).

4.9.2. Aplicação de métodos de estatística multivariada

A Estatística Multivariada, segundo (NETO, 2004), consiste em um conjunto de métodos e técnicas que utilizam simultaneamente várias variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos. Na análise estatística multivariada o método utilizado foi a Análise de Componentes Principais (ACP).

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica de análise estatística multivariada de redução de dados que foi inicialmente desenvolvida pelo estatístico Karl Pearson nos finais do século XIX e mais tarde foi desenvolvida por Hotelling nos anos 30 do século XX (Pérez, 2004). O método APC tem como propósito reduzir a informação contida num conjunto de variáveis originais (com a mínima perda de informação), em um novo conjunto de variáveis de dimensões mais pequenas denominadas componentes principais ou fatores.

A literatura sobre a ACP é abundante e variada, podendo-se referir os artigos de Jolliffe (1990, 1993) contendo uma breve e simples introdução destinada a geofísicos, passando por capítulos de livros de estatística multivariada (Johnson e Wichern, 1998) até a livros inteiramente dedicados à ACP (Jolliffe, 1986). Dadas M variáveis aleatórias, a ACP consiste na determinação de M novas variáveis onde cada uma delas é uma combinação linear das M variáveis originais. Os coeficientes da primeira combinação linear são tais que maximizam a variância da primeira combinação linear, i.e., da primeira nova variável; os coeficientes da segunda

combinação linear são tais que maximizam a variância da segunda combinação linear, i.e., da segunda nova variável, com a restrição de que o vetor formado por estes coeficientes é ortogonal ao vetor formado pelos coeficientes da primeira combinação linear; e assim sucessivamente. Às novas M variáveis chamam-se Componentes Principais (PCs) e aos vetores constituídos pelos coeficientes das combinações lineares que as formam chamam-se Vetores Principais ou Eixos Principais (EPs). Os coeficientes dos EPs também são chamados, na literatura inglesa, de “loadings” e os elementos das PCs são chamados de “scores”. Na prática, dispomos de $n = 1, \dots, N$ observações de cada uma das $m = 1, \dots, M$ variáveis aleatórias, que se agrupam numa matriz de dados ($N \times M$). Cada observação n das M variáveis originais pode ser representada por um ponto no espaço M -dimensional. Temos assim N pontos representados neste espaço.

A ACP fornece então uma nova base M -dimensional (ou um novo sistema de M eixos ortogonais), formada pelos M vetores principais (ou EPs), onde as N observações podem ser representadas. A coordenada da projeção da observação n no eixo EP m é dada pela observação n da CP m (“score n da CP m ”). Os vetores da nova base que satisfazem as condições de ortogonalidade e maximização da variância, como acima foi descrito, i.e., os vetores ou eixos principais, são os vetores próprios da matriz de covariância ordenados por ordem decrescente do valor próprio. Repare-se que uma matriz de covariância de dimensão M admite, por ser simétrica, M vetores próprios ortogonais. Como, normalmente, os vetores próprios são normalizados, i.e., têm norma unitária, o valor próprio correspondente ao EP m é a variância da CP m . Isto, porque a matriz dos vetores próprios normalizados da matriz de covariância diagonaliza a matriz de covariância.

4.10. ESTIMATIVA DO RISCOS ECOLÓGICOS PARA A SAÚDE HUMANA

Os riscos eco ambientais foram avaliados usando índices geoestatísticos para determinar o grau e a causa (por exemplo, antropogénica ou geogénica) da contaminação por metais pesados. O índice de risco ecológico de poluição (PERI) e o índice potencial de contaminação (Pn) foram estimados usando métodos recomendados (Håkanson, 1980; Silva et al. 2021).

Os Elementos Potencialmente Tóxicos entram no ambiente terrestre por meio de resíduos domésticos, processos agrícolas e antropogénicos, intemperismo de rochas, etc., onde o acúmulo ocorre no ar, solo e água, enquanto seu excesso de concentração para a saúde ecológica e humana é um problema mais sério em a era moderna do que a poluição da água e do ar (Kumar et al., 2020).

Numerosos índices foram usados para avaliar as transformações geoquímicas promovidas pela contaminação litológica ou antropogénica. O cálculo desses índices requer valores de amostragem e medidos em meio puro, o background geoquímico (Ji et al., 2008; Cabral Pinto et al., 2015, 2017; Silva et al., 2020), para os elementos em análise. Para normalizar o VB, a fim de calcular os índices, os valores da crosta continental superior são recomendados por Håkanson (1980).

O fator de contaminação (Cn) foi usado para determinar o índice de risco ecológico potencial (PERI). Para cada EPT, o Cn foi calculado com a fórmula:

$$C_n = C_{amostra} / C_{mediana} \quad [1]$$

onde C é a concentração do elemento (i).

A avaliação do risco ecológico é expressa como o índice de risco ecológico potencial (PERI) e combina o índice único do fator de risco ecológico (Pn) e o fator de resposta tóxica do EPT individual Tn, enquanto o PERI é expresso como a soma dos riscos ecológicos potenciais de metais individuais (Pn) que é calculado multiplicando o fator de resposta tóxica de Tn pelo fator de contaminação (Cn).

O índice de risco ecológico potencial (PERI) foi introduzido pela primeira vez por Håkanson (1980) e é usado por vários autores (Hu et al., 2013; Islam et al., 2015a, 2015b; Wu et al., 2018). Este índice avalia o grau de contaminação elementar em resposta ao seu efeito tóxico ou risco ao meio ambiente (Maanan et al., 2015; Kumar et al., 2017). Este índice é calculado através das seguintes equações:

$$Pn = Tn \times Cn \quad [2]$$

$$PERI = \sum Pn \quad [3]$$

onde:

Pn representa o fator de risco ecológico potencial dos EPT individuais, que pode ser avaliado usando Tn (fator de resposta tóxica), que expressa a resposta tóxica de elementos individuais, e Cn. Os valores padronizados de Tn para os Elementos Potencialmente Tóxicos como As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn são 30, 30, 2, 2, 5, 40, 10, 5, 5, 1, respectivamente (Håkanson, 1980; Doležalová et al, 2019). O Pn pode ser classificado como; Pn <40: risco ecológico baixo; 40 <Pn <80: risco ecológico razoável; 80 <Pn <160: risco ecológico considerável; 160 <Pn <320: alto risco ecológico e Pn > 320: risco ecológico muito alto.

O PERI fornece o efeito cumulativo de todos os Elementos Potencialmente Tóxicos na área de abrangência do estudo. Segundo Håkanson, (1980), o PERI pode ser classificado como: baixo potencial ecológico risco (PERI <150), risco ecológico moderado (150 <PERI <300), risco ecológico considerável (300 <PERI <600), e risco ecológico muito alto (PERI > 600).

4.11. ESTIMATIVA DO RISCO CANCERÍGENO E NÃO CANCERÍGENO PARA A SAÚDE HUMANA

Os riscos não cancerígenos e cancerígenos foram estimados de acordo com a metodologia proposta pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA 2001, 2011). A avaliação do risco para a saúde humana foi calculada assumindo que ambos os grupos etários: crianças (4-8 anos) e adultos (> 55 anos) estão diretamente expostos aos EPT através do solo (fração < 2 mm). As equações e fatores utilizados para determinar a exposição aos EPT por ingestão, contato dérmico e inalação são as fornecidas pela USEPA (2001, 2011) e teve-se, igualmente, em consideração hábitos locais:

$$ED_{\text{ingestão}} = C \times TI \times FE \times DE \times Fc/PC \times Tm \quad [4]$$

$$ED_{\text{dérmico}} = C \times AS \times FA \times ABS \times FE \times DE \times Fc/PC \times Tm \quad [5]$$

$$ED_{\text{inalação}} = C \times Tina \times TE \times FE \times DE/FEP \times PC \times Tm \quad [6]$$

em que:

ED - Exposição diária crônica (mg kg⁻¹/dia); C - Concentração de EPT no solo (fração <2 mm), TI - Taxa de ingestão de solo (200 mg/dia para crianças e 100 mg dia⁻¹ para adultos), FE - Frequência de exposição (312 dias ano⁻¹); DE - Duração da exposição (6 anos para crianças e 35 anos para adultos); PC - Peso Corporal (15 kg para crianças, 70 kg para adultos); Tm - Tempo médio (365 dias x 6 e 365 x 35, para crianças e adultos, respectivamente, para risco não cancerígeno e 365 dias x 70 para risco cancerígeno, em adultos e crianças); Fc - Fator conversão (10⁻⁶ ou 10⁻³); AS - Área de superfície da pele disponível para contato (2373 cm² para crianças e 6032 cm² para adultos); FA - Fator de aderência do solo à pele (0,2 mg.cm⁻² para do

solo à pele ($0,2 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ para crianças e $0,07 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ para adultos); ABS - Fator de Absorção (0,001); Tina - Taxa de inalação ($1,2 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ para crianças e $1,56 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ para adultos); TE - Tempo de exposição (8 e 4 horas dia^{-1} para adultos e crianças, respetivamente); FEP - Fator de emissão de partículas: $1,36 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$.

O risco não cancerígeno para a saúde humana causado pela exposição aos EPT é expresso como um quociente de risco (equação 7):

$$QR = ED/RfD \quad [7]$$

em que:

RfD é a dose de referência abaixo da qual não se deve verificar nenhum efeito adverso não cancerígeno para a saúde, para uma vida inteira de exposição. Os RfD para a respetiva via de exposição foram os indicados em IRIS (2019). O IR é o índice de risco crónico que resulta da soma dos quocientes de risco para várias vias de exposição para cada EPT (equação 8):

$$IR = \sum(QR_{\text{ingestão}} + QR_{\text{dérmico}} + QR_{\text{inalação}}) \quad [8]$$

Para valores de $IR > 1$, existe a hipótese de existir risco não cancerígeno; caso contrário, os indivíduos estão expostos a concentrações que não representam risco para a saúde.

O risco cancerígeno (RC) para a exposição ao As, Cd, Cr, Ni e Pb foi calculado de acordo com a equação 9 proposta pela USEPA (2011) e usando os fatores de inclinação (SF - Slope Factors) indicados por USDE (2013), para os elementos classificados como cancerígenos ou possivelmente cancerígenos pela IARC (2017):

$$RC = \sum(ED \times SF) \quad [9]$$

De acordo com a USEPA (2011), consideram-se valores não aceitáveis de risco cancerígeno para o ser humano, quando os valores de RC são superiores a 1×10^{-4} , ou seja, até ao limite de probabilidade de pelo menos um indivíduo em 10 000 contrair cancro, e de Risco valores superiores a 1×10^{-6} .

Os riscos cancerígenos para a exposição ao As, Cd, Cr e Ni para a população da Ilha do Sal, foram calculados de acordo ao Manual de Fatores de Exposição USEPA (2011) e usando os Fatores de Inclinação de acordo com USDE (2013). Os valores aceitáveis de risco de câncer da USEPA são de 1×10^{-4} para 1×10^{-6} .

CAPÍTULO 5

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO

A determinação da cor dos solos foi realizada por comparação visual com os padrões da Carta de Munsell. Convém referir que, durante a campanha de recolha das amostras, não foi possível fazer a leitura da cor nas amostras húmidas, pelo que foram recriadas em laboratório as condições de campo, estabelecendo a comparação sob iluminação solar.

A determinação das proporções dos diferentes tamanhos de partículas do solo (análise textural) foi realizada a partir de dados da análise granulométrica de 53 amostras de solo (Anexo 2). Os dados foram projetados por num diagrama triangular de texturas (Figura 5.1).

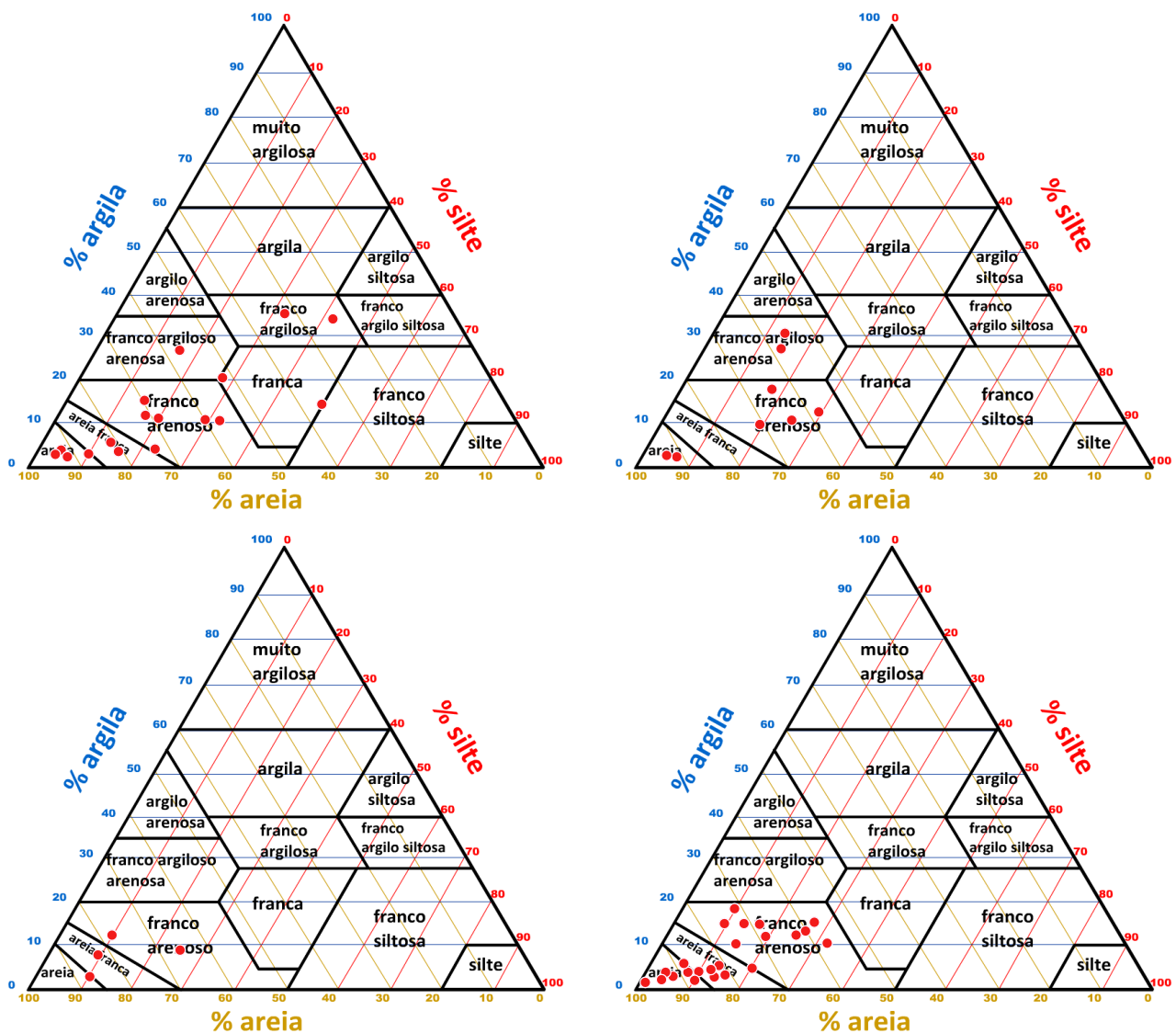


Figura 5.1 - Distribuição das texturas das amostras de solos representativas das Formações: (a) Depósitos Recentes, (b) Complexo Eruptivo Antigo, (c) Complexo Ponta do Altar-Baleia e (d) da Formação Monte Grande.

5.1.1. Análise da cor do solo

A cor do solo resulta da natureza do material que lhe deu origem e também dos fatores que levaram à sua formação. A cor do solo é uma das propriedades que, em conjunto com a textura e a disposição das diferentes camadas, é mais utilizada para classificar os diferentes tipos de solo. De acordo com os resultados podemos afirmar que:

- Nas amostras do Complexo Eruptivo Antigo, embora seja comum a presença tanto dos códigos 7YR como dos códigos 10YR, predominam cores que variam do castanho ao castanho-escuro e pontualmente numa amostra o castanho avermelhado (5YR 4/4);
- As amostras pertencentes ao Complexo Ponta do Altar-Baleia apresentam cores que variam de castanho a castanho-escuro e cores castanhas amareladas e castanhas acinzentadas, predominando os códigos 10YR 4/4, 10YR 4/3 e 10YR 3/3.
- A formação Monte Grande é a mais representativa e conseqüentemente as amostras pertencentes a esta formação apresentam uma grande variedade de tons, que vão desde o castanho ao castanho-escuro, em que são dominantes os códigos 10YR 4/2, 10YR 4/3, 10YR 3/3, 10YR 3/4, 7.5YR 3/2 e 7.5YR 3/3. É frequente também a presença de tons castanhos avermelhados, castanhos acinzentados, castanhos-amarelados e amarelo-pálidos, com os seguintes códigos dominantes: 10YR 5/4, 10YR 6/4, 2.5Y 7/3, e 2.5Y 5/2;
- As amostras pertencentes aos Depósitos Recentes caracterizam-se pela dominância das cores castanhas e castanhas escuras em que os códigos mais representados são os 10YR 3/3, 10YR 3/4, 10YR 4/3 e 10YR 4/4. Algumas amostras apresentam os códigos 7.5YR e 5YR;

5.1.2. Análise textural das amostras

O solo é um recurso natural renovável que, de uma forma simplificada, se pode definir como a camada superficial da crosta terrestre, formada por partículas minerais de vários tamanhos e composição química diversa e matéria orgânica em diferentes fases de decomposição. As diferentes proporções destes componentes, o modo como se distribuem no solo e a composição da rocha mãe determinam a sua natureza.

A componente mineral do solo resulta dos processos erosivos que levam à progressiva desagregação das rochas em elementos de diferente tamanho, variando desde partículas mais grosseiras, como o cascalho e o saibro, até partículas de dimensões mais pequenas, como a areia, o limo e a argila.

A projeção dos dados granulométricos mostra que, no geral, as texturas são classificadas como franco arenosas. No conjunto das 53 amostras, o valor médio percentual da componente argilosa é de 9.8 %, da componente siltosa é de 16.4 % e da componente arenosa é de 73.5 %. De acordo com os resultados podemos afirmar que:

- As amostras representativas do Complexo Eruptivo Antigo apresentam uma variação textural entre franco arenosa e franco argilosa arenosa. O valor médio percentual da componente arenosa para esta formação é de 65 % enquanto as percentagens de silte e argila apresentam valores muito aproximados (18 % e 16 %, respetivamente - Figura 5.1b).
- O Complexo Ponta do Altar-Baleia é o menos representativo de entre as formações estudadas, (apenas por quatro amostras) cujas texturas apresentam uma variação textural entre franco arenosa e areia franca. Quando comparada com as formações anteriores, destaca-se a alta percentagem de areia (80 %), enquanto as percentagens de silte e argila apresentam valores muito semelhantes (10 % e 9 %, respetivamente - Figura 5.1c);
- As amostras pertencentes à Formação Monte Grande apresentam uma tendência muito parecida às amostras do Complexo Ponta do Altar-Baleia. Estas amostras apresentam uma certa homogeneidade com uma variação textural entre areia, areia franca e franco arenosa. As amostras apresentam valor médio

percentual da componente arenosa de 80 %, de silte com valores de 14 % e de argila de 6 % (o mais baixo dentre as formações amostradas (Figura 5.1d);

- Os Depósitos Recentes apresentam a maior variação textural de entre as formações estudadas. As texturas das amostras variam de franco arenosa a franco argilosa. A análise dos valores percentuais mostra o valor médio de areia é de 71 %, da componente siltosa é de 17 % e em menores proporções a componente argilosa com um teor médio de 11 % (Figura 5.1a);

5.2. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS DE SOLOS

A fase sólida dos solos é composta de uma fração mineral e uma orgânica. Por sua vez, a fração mineral divide-se em lotes de dimensões que apresentam diferenças em relação à mineralogia e ao comportamento químico. Na posse deste tipo de informações a possibilidade de tomar decisões corretas no que diz respeito à utilização de um solo é potenciada. Deste modo, a mineralogia do solo constitui uma excelente ferramenta para o conhecimento e a avaliação da gênese do solo, do seu comportamento físico e químico, além de ser um indicativo da reserva potencial mineral de nutrientes para as plantas.

A figura 5.2 apresenta as proporções relativas dos diferentes minerais nas diferentes amostras de solo representativas das Formações estudadas.

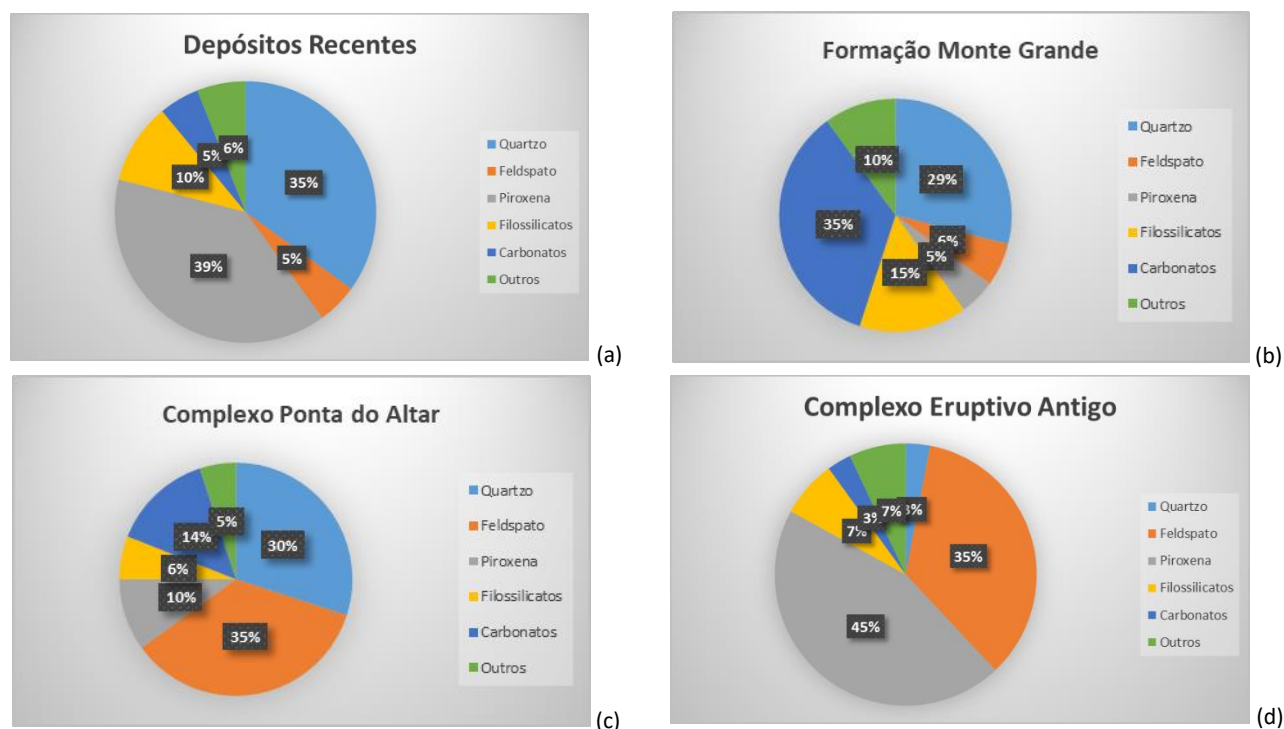


Figura 5.2 - Proporções relativas dos diferentes minerais nas amostras de solo da ilha de Sal, Cabo Verde em função das respetivas Formações: (a) Depósitos Recentes, (b) Formação Monte Grande, (c) Complexo Ponta do Altar-Baleia e (d) Complexo Eruptivo Antigo.

De acordo com os resultados podemos afirmar que:

- Depósitos recentes: estes solos apresentam teores elevados de quartzo e piroxenas (Figura 5.2a);
- Formação Monte Grande: estes solos são constituídos fundamentalmente por quartzo e carbonatos, apresentando também percentagens relativamente significativas dos minerais típicos de rochas basálticas (Figura 5.2b);
- Complexo Ponta do Altar Baleia: estes solos são enriquecidos em feldspatos, quartzo (Figura 5.2c);

- Formação Complexo Eruptivo Antigo: estes solos são constituídos principalmente por feldspato e piroxenas Figura (5.2d).

5.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE SOLOS

A inexistência de dados geoquímicos de base que caracterizem o ambiente superficial da ilha do Sal (Cabo Verde) foi o ponto de partida deste projeto de Dissertação.

Este estudo pretende estabelecer uma base de dados geoquímicos da ilha do Sal referente a 36 elementos, produzir de mapas geoquímicos, contribuir para a entendimento da variabilidade geoquímica dos elementos cartografados e seus fatores com vista ao conhecimento da geoquímica em ambiente superficial e ainda propor valores que sirvam de apoio ao estabelecimento de critérios ambientais.

De entre os valores referidos anteriormente a noção de “background” ou de “valor de fundo geoquímico” está associado a variação natural que experimentam os teores de um elemento químico em particular, em relação ao ambiente superficial. Os teores de elementos químicos num solo podem variar em dependência de variadíssimos fatores vinculados ao método de análises utilizado, a profundidade de colheita das amostras de solo, a fração granulométrica escolhida para as análises químicas, entre outros fatores.

Neste capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados dos seguintes parâmetros: pH, matéria orgânica, condutividade elétrica e teores dos elementos químicos em amostras de solo superficial. A interpretação e discussão dos resultados basearam na aplicação de métodos estatísticos univariados e multivariados que usualmente são utilizados na análise dos dados geoquímicos.

5.3.1. Análise estatística univariada

A aplicação de técnicas estatísticas aos resultados obtidos nos solos da ilha do Sal iniciou-se com uma análise estatística descritiva univariada (ou a análise exploratória dos dados). A matriz de dados original é composta por 53 indivíduos e 40 variáveis correspondentes aos teores de Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W e Zn e ainda aos parâmetros pH, Condutividade Elétrica (CE) e Matéria Orgânica (MO).

Com esta análise caracterizaram-se as populações de dados de cada uma das variáveis em estudo (37 elementos analisados bem como os parâmetros pH, Condutividade Elétrica (CE) e Matéria Orgânica (MO), analisando-se as estruturas e anomalias presentes. Os estatísticos sumários foram avaliados através dos seguintes parâmetros: média aritmética; mediana; mínimo e máximo valor da população; percentis (P_{10} , P_{25} , P_{75} , P_{90} , P_{95} , $P_{97.5}$); desvio padrão; coeficiente de assimetria, entre outros parâmetros (Tabela 5.1).

Da análise do quadro podemos constatar que as variáveis Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Cr, Cu, Hg, K, La, Mg, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sr, Te, Ti, Th, Tl, U, V e Zn apresentam um valor de mediana inferior ao da média aritmética sugerindo que populações poderão apresentar distribuições assimétricas positivas. As populações que incluem amostras “perturbadas”, apresentam, tal como seria de esperar, maior variabilidade de teores de metais.

Tabela 5.1 – Parâmetros estatísticos dos teores dos elementos analisados nos solos da ilha do Sal, Cabo Verde (n = 53).

Var	Min	P ₁₀	P ₂₅	Média	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	P ₉₅	P _{97,5}	Max	DP	ASM	CRT
pH	6.9	7.6	7.8	8.0	8.1	8.3	8.5	8.5	8.6	8.8	0.4	-0.9	0.7
MO	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.1	1.3	4
CE	0	0.1	0.1	0.6	0.2	0.3	2.8	3.3	3.8	4.5	1.1	2.4	4.6
Ag	4	7	10	21.5	13	26.8	34.5	43.8	59.9	187	27.5	0.2	28.8
Al	0.2	2.6	0.6	3.6	3.6	4.2	4.8	5.1	5.2	5.7	1	1.5	2.3
As	0.2	0.5	0.7	2.4	1.2	2.9	6	7.4	8.6	12.3	2.6	1.8	3.5
Au	0.2	0.2	0.3	0.8	0.4	0.8	1.7	2.5	3.1	4.3	0.9	2.6	8.1
B	20	21	21.5	30.5	27.5	33.5	44	52.2	57.1	62	11.2	1.5	3
Ba	18.3	169.3	275.2	517.8	464.9	701.5	881	914.1	1299.7	1540.4	317.7	1	1.5
Bi	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0	1.7	2.8
Ca	0.5	1.1	2.0	4.9	3.1	5.3	8.6	15.5	20.7	29.3	5.3	2.8	9.7
Cd	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5	1.2	1.9	0	4.2	20.2
Co	2	22.4	29.7	40.3	41.4	50.4	60.2	63	64.6	72.4	14.7	-0.2	0
Cr	0.1	35.8	56.7	96.9	79.3	106.9	130.4	164.3	367	570	89.7	3.8	17.8
Cu	4.6	28.6	39	51.1	79.8	61.1	71.5	81.3	90.9	140.7	21.2	1.3	5.1
Fe	0.3	3.6	4.2	5.2	5.4	6.2	6.8	7.2	7.4	12.3	1.5	-0.8	1.4
Ga	0.5	6.9	8.4	10.2	10.4	11.6	13.9	14.6	15.2	16.4	2.9	-0.7	1.7
Hg	6	7	9	15.2	12	21	25	26.6	29.4	33	7.5	0.6	-0.5
K	0	0.4	0.6	0.8	0.8	1	1.3	1.4	1.4	1.7	0.3	0.3	0.3
La	2.8	21.7	25.1	34.3	31.4	40.7	51.9	56.2	60.5	69.3	12.9	0.4	0.4
Mg	0.8	1.9	2.8	4.4	4.1	5.5	10	9.2	9.6	10	2.2	0.7	0.1
Mn	78	671.2	748	1006.9	11000	1234	1314.8	1394.2	1504.1	1671	314.4	-0.6	1.4
Mo	0.1	0.3	0.4	0.7	0.6	0.7	1.3	1.7	1.9	3.2	0.5	2.6	9.4
Na	0	0.1	0.2	0.5	0.4	0.7	1	1.4	1.7	2	0.4	1.5	2.3
Ni	11.4	69.8	121.7	205.6	187.6	282.7	380.8	395.4	404.8	513.1	116	0.5	-0.4
P	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5	0.8	0.2	1.3	2.3
Pb	0.5	2.7	3.5	5.7	4.7	6.9	10.8	11.9	14.1	18.5	3.5	1.5	2.8
S	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7	1.1	0.2	3.8	17.6
Sb	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0	1.9	4.8
Sc	0.6	6.1	7	9.6	9.7	11.3	13.1	14.2	15.3	18.3	3.2	-0.2	0.8
Se	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3	0.5	0.6	0.7	0.9	1	0.2	1	1.2
Sr	57.6	104.5	177.4	372.9	313.4	510.7	710.6	817.8	908.8	1377.6	256.3	1.4	3.3
Te	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	1.3	1.8
Ti	0	0.1	0.3	0.5	0.4	0.6	0.9	1	1.1	1.2	0.3	0.7	-0.1
Tl	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	1.7	2.7
Th	0.1	2	2.4	3.6	3.3	4.1	5.9	6.3	6.7	7.8	1.6	0.5	0.3
U	0.5	0.6	0.7	1	0.9	1.1	1.5	1.6	1.8	1.9	0.3	0.9	0.2
V	7	63.2	81	113.3	101.5	136	190.2	217.2	230.1	236	49.5	0.7	0.4
W	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1		
Zn	5	51	55.5	67.5	64.9	78.5	93	100.1	108.4	135.7	21	0.2	2.5

Min - valor mínimo; M - média aritmética; Max - valor máximo, P_x - valor do percentil X, DP - desvio padrão, ASM - assimetria, CRT – curtose.

A tabela 5.2 apresenta os valores da média (M), mediana (Mdn), máximo (Max), mínimo (Min), dos diferentes parâmetros analisados nas amostras de solo por formação geológica.

Os solos pertencentes ao Complexo Ponta do Altar-Baleia destacam-se dos demais por apresentarem a maior percentagem de elementos com os maiores valores de mediana, entre eles o Ag, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sc, V, Zn, e para os elementos Th e Ca com os valores de mediana mais baixos. A variável pH também apresenta o valor da mediana mais baixo.

Tabela 5.2 - Parâmetros estatísticos dos teores dos elementos analisados nas amostras de solo correspondentes às Formações: (a) Depósitos Recentes

VAR		Depósitos Recentes				Complexo Ponta do Altar-Baleia				Formação Monte Grande				Complexo Eruptivo Antigo			
		Min	M	Mdn	Max	Min	M	Mdn	MAX	Min	M	Mdn	MAX	Min	M	Mdn	MAX
pH	E.S.	7.1	8.0	8.1	8.5	7.7	7.9	8.0	8.1	6.9	8.1	8.6	8.6	7.6	8.1	8.1	8.8
MO	%	0.07	0.17	0.17	0.3	0.06	0.13	0.14	0.17	0.02	0.16	0.17	0.33	0.06	0.15	0.14	0.42
CE	mS/cm	0.07	1.33	0.2	4.5	0.038	0.089	0.086	0.146	0.07	0.35	0.18	2.8	0.09	0.14	0.13	0.3
Ag	PPB	4	16.41	12	40	7	22.5	24.5	34	4	28.4	15	187	5	10.2	11	15
Al	%	2.23	3.42	3.12	5.2	1.57	3.1	3.32	4.18	1.37	3.94	4.02	5.68	0.2	3.131	3.54	4.21
As	mg kg ⁻¹	0.2	2.72	1.2	8.9	0.8	1.5	1.1	2.6	0.3	1.95	1.2	6	0.6	3.563	1.8	12.3
Au	PPB	0.2	0.5	0.3	2.2	0.5	0.75	0.75	1	0.2	1.03	0.7	4.3	0.2	0.275	0.25	0.4
B	mg kg ⁻¹	20	35	29.5	5.2	20	20	20	20	21	28.25	27.5	30	21	21	21	21
Ba	mg kg ⁻¹	137.2	545.3	515.2	1540.4	290.9	455.3	342.35	845.6	32.4	575.56	561.25	947.5	18.3	314.975	219.7	891.8
Bi	mg kg ⁻¹	0.2	0.06	0.04	0.15	0.03	0.05	0.05	0.07	0.02	0.04	0.04	0.08	0.05	0.12	0.085	0.18
Ca	%	1.04	4.77	3.17	15.79	0.92	1.4	1.39	1.93	1.48	5.62	4.64	22.82	0.47	5.208	1.645	29.25
Cd	mg kg ⁻¹	0.09	0.21	0.2	0.46	0.13	0.95	0.87	1.93	0.08	0.21	0.18	0.67	0.12	0.196	0.18	0.33
Co	mg kg ⁻¹	18.3	38.99	37.65	65	47.6	60.9	61.8	72.4	7.1	38.71	40.35	63.7	2	36.6	45.5	53.4
Cr	mg kg ⁻¹	31.1	82.96	84.85	131.3	116.8	315.05	286.7	570	15.1	65.65	64.75	120.8	14.3	106.813	115.95	181.2
Cu	mg kg ⁻¹	26.9	46.95	41.63	77.45	27.58	47.87	46.14	71.64	10.23	54.19	0.56	140.7	4.56	51.671	49.17	94.45
Fe	%	3.06	5.11	5.44	6.92	6.36	6.76	6.6	7.48	1.22	4.85	5.17	6.78	0.3	5.283	5.345	8.03
Ga	mg kg ⁻¹	6.7	9.76	10.1	13.4	5.3	10	10.15	14.4	2.8	10.32	10.4	14.8	0.5	10.913	12.5	16.4
Hg	mg kg ⁻¹	7	15	14	33	5	5	5	5	6	15	12	27	9	16	12	24
K	%	0.44	0.83	0.72	1.73	0.26	0.545	0.535	0.85	0.16	0.81	0.83	1.36	0.04	0.775	0.815	1.07
La	mg kg ⁻¹	16.0	31.8	29.6	53.6	20.3	32.9	33.45	44.4	8.6	37.86	38.35	69.3	2.8	30.625	27.6	56.4
Mg	%	1.04	4.38	4.07	9.24	2.74	5.93	5.49	10.02	2.08	4.66	4.32	9.8	0.79	2.854	2.225	6.73
Mn	mg kg ⁻¹	468	1014.9	1129.5	1432	1232	1451	1451	1671	264	934.59	1011	1315	78	940.125	1147	1304
Mo	mg kg ⁻¹	0.17	0.77	0.66	1.84	0.4	0.547	0.53	0.73	0.1	0.7	0.56	3.18	0.16	0.574	0.6	0.81
Na	%	0.05	0.71	0.56	1.96	0.123	0.165	0.149	0.24	0.15	0.53	0.4	1.53	0.06	0.159	0.131	0.368
Ni	mg kg ⁻¹	48.4	188.4	176.2	407.2	229	365.95	360.85	513.1	16.3	205.93	196.35	399.2	11.4	165.4	111.4	392.9
P	%	0.06	0.2	0.15	0.53	0.99	0.325	0.193	0.818	0.09	0.3	0.27	0.55	0.051	0.129	0.085	0.293
Pb	mg kg ⁻¹	2.7	5.45	4.16	12.42	2.28	5.47	5.88	7.14	1.21	5.73	4.51	18.49	0.46	6.719	5.39	14.82
S	%	0.04	0.27	0.11	1.13	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.04	0.12	0.02	0.065	0.065	0.11
Sb	mg kg ⁻¹	0.02	0.07	0.05	0.24	0.04	0.077	0.06	0.15	0.02	0.06	0.04	0.18	0.02	0.053	0.045	0.08
Sc	mg kg ⁻¹	5.6	9.3	9.2	13.0	6.2	10.87	11.2	14.9	1.8	9.33	9.6	18.3	0.6	9.825	10.05	15.4
Se	mg kg ⁻¹	0.1	0.37	0.3	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.41	0.3	0.7	0.1	0.326	0.3	0.9
Sr	mg kg ⁻¹	57.6	331.1	287.3	720.9	103	240.35	238.35	381.7	129.9	486.77	376.85	1378	61	203.486	138.8	464.3
Te	mg kg ⁻¹	0.02	0.04	0.03	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.045	0.03	0.06
Tl	%	0.06	0.49	0.42	1.06	0.055	0.316	0.34	0.529	0.18	0.5	0.45	1.07	0.024	0.294	0.338	0.589
Tl	mg kg ⁻¹	0.04	0.09	0.07	0.23	0.04	0.067	0.55	0.12	0.03	0.05	0.04	0.1	0.03	0.124	0.1	0.24
Th	mg kg ⁻¹	1.7	3.3	3.2	6.1	1.2	2.57	2.15	4.8	1	3.67	3.55	6.8	0.1	4.275	3.85	7.8
U	mg kg ⁻¹	0.5	0.8	0.8	1.7	0.5	0.975	0.8	1.8	0.6	1.15	1.1	1.9	0.6	0.825	0.7	1.3
V	mg kg ⁻¹	52	101.44	95.5	210	73	116.2	115	162	38	118.45	109.5	228	7	124.25	89	236
W	mg kg ⁻¹	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Zn	mg kg ⁻¹	36.1	67.5	67.5	98.4	73.1	89.17	85.9	111.8	18.4	64.38	60.05	135.7	5	63.563	63.5	99.8

Min – valor mínimo; M – média aritmética; Mdn – mediana; Max – valor máximo; pH – acidez do solo; MO – matéria orgânica; CE – condutividade do solo

Contrariamente ao que acontece nas amostras do Complexo Ponta do Altar Baleia, as amostras de solo pertencentes ao Complexo Eruptivo Antigo possuem a maior percentagem de variáveis com os valores de mediana mais baixos, entre eles o Ag, Ba, La, Mg, Ni, P, Sr, V enquanto os valores de mediana mais altos foram observados para as variáveis Cu e Ga.

Os solos associados a Formação Monte Grande, apresentam o maior valor de mediana para a variável pH (8.6), enquanto as variáveis Al, Ba, Ca e Sr apresentam os maiores valores de mediana de entre as formações estudadas. Uma particularidade destes solos é o facto de apresentarem um valor de mediana muito baixo para a variável Cu (0.58 mg kg^{-1}) quando comparado com as restantes formações (o valor de mediana mais baixo observado é de 41.6 mg kg^{-1}).

Os solos associados aos Depósitos Recentes não apresentam valores de medianas com diferenças muito significativas quando comparados com os solos do Complexo Eruptivo Antigo e da Formação Monte Grande. Relativamente às variáveis Matéria Orgânica (MO) e Condutividade elétrica (CE), os valores da mediana também não apresentam diferenças significativas entre os tipos de solo referidos anteriormente (os valores variam de $0.13\text{-}0.20 \text{ mS cm}^{-1}$ para a Condutividade elétrica (CE) e de $0.14\text{-}0.17$ para a Matéria Orgânica (MO). Para estes tipos de solos os valores da mediana da variável pH variam de 8.1-8.6.

Neste trabalho efetuou-se a Análise em Componentes Principais (ACP) O conjunto de dados de partida utilizado, com o intuito de separar a componente geologia da componente antrópica, é constituído por uma matriz de 53 amostras e 37 variáveis ativas (34 elementos químicos, pH, Matéria Orgânica (MO) e Condutividade Elétrica (CE). As variáveis ativas consideradas foram as seguintes: Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Se, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, Zn e pH, MO e CE.

Foram excluídos da análise estatística multivariada e das representações gráficas delas derivadas os elementos S, Te e W por apresentarem todos os valores abaixo do limite de deteção do método

A Análise de Componentes Principais (ACP), realizada com os dados dos elementos químicos dos solos da ilha do Sal, permitiu determinar as associações entre os diversos elementos químicos estudados (variáveis) e as correspondentes unidades geológicas. Os cinco eixos explicam 64 % da variância total, os resultados encontram-se na tabela 5.3.

Na Tabela 5.3 apresentam-se as coordenadas com valores superiores a 0,5 estão assinalados a vermelho e os coeficientes inferiores a -0,5 estão assinalados a azul. Da análise da tabela destacam-se as seguintes associações de variáveis:

- CP1: Fe, Co, Mn, Sc, Al, Zn, Ga, Ni, La em oposição às variáveis Ca, Sr, B e Se;
- CP2: Mg, Ni e Ti, em oposição às variáveis Bi, Tl; As, Pb, Sb, Ga;
- CP3: Au, La, P e U;
- CP4: Th, em oposição à variável Cd, Cr, P;
- CP5: CE e Na, em oposição pH.

Na Tabela 5.3 apresentam-se as coordenadas com valores superiores a 0,5 estão assinalados a vermelho e os coeficientes inferiores a -0,5 estão assinalados a azul.

Tabela 5.3 – Coordenadas das 37 variáveis relativas aos 5 primeiros Eixos Principais (EP).

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
CE	-0.309	0.069	-0.132	-0.012	0.858
MO	0.314	-0.146	0.254	0.126	0.183
pH	-0.089	0.037	0.333	0.231	-0.603
Ag	-0.002	-0.122	0.430	-0.473	0.106
Al	0.657	-0.080	0.470	0.199	0.073
As	-0.184	-0.854	-0.097	0.130	0.063
Au	-0.104	-0.031	0.591	-0.380	-0.136
B	-0.623	-0.061	0.034	-0.035	0.318
Ba	0.433	0.468	0.472	0.078	0.029
Bi	0.087	-0.908	-0.233	0.175	-0.010
Ca	-0.837	0.286	0.186	-0.057	-0.218
Cd	0.181	-0.226	-0.131	-0.678	-0.174
Co	0.806	0.435	-0.315	-0.076	-0.030
Cr	0.405	-0.245	-0.298	-0.599	-0.148
Cu	0.441	-0.138	0.433	-0.163	0.193
Fe	0.900	0.063	-0.244	-0.039	0.043
Ga	0.626	-0.533	0.247	-0.048	0.047
Hg	0.031	-0.307	0.197	0.429	-0.296
K	0.444	-0.016	0.445	0.372	0.128
La	0.529	0.089	0.573	0.198	-0.022
Mg	0.338	0.804	-0.166	0.013	-0.027
Mn	0.779	0.180	-0.285	-0.157	0.016
Mo	0.082	-0.273	0.288	0.003	0.132
Na	-0.320	0.236	0.209	0.053	0.746
Ni	0.600	0.600	-0.278	-0.059	-0.116
P	0.069	0.094	0.571	-0.507	0.042
Pb	0.141	-0.781	0.154	0.046	-0.069
Sb	-0.211	-0.566	-0.088	-0.395	0.145
Sc	0.745	-0.103	0.045	0.126	-0.020
Se	-0.587	0.157	0.422	0.100	-0.015
Sr	-0.741	0.286	0.202	-0.134	-0.194
Ti	0.441	0.599	-0.029	0.299	0.227
Th	0.405	-0.377	0.254	0.526	0.019
Tl	0.061	-0.881	-0.295	0.215	0.040
U	-0.042	0.050	0.539	-0.197	-0.056
V	0.397	-0.194	0.315	-0.406	0.017
Zn	0.628	-0.241	0.000	-0.370	0.173

Da análise da tabela destaca-se:

- CP1: com uma variância explicada de 22,45 %, encontra-se bem representado e explica 13 das 34 variáveis, Al, Co, Fe, Ga, La, Mn, Ni Sc e Zn com coordenadas positivas e em oposição, B, Ca, Se e Sr com coordenadas negativas;
- CP2: encontra-se bem representado e explica 9 das 34 variáveis, Mg, Ni e Ti com coordenadas positivas e em oposição Bi, Tl; As, Pb, Sb, Ga com coordenadas negativas. Este eixo apresenta uma variância explicada de 16,80 %
- CP3: este eixo, com uma percentagem de variância explicada de 10,22 %, explica as variáveis Au, La, P e U com coordenadas positivas;
- CP4: apresenta uma variância explicada de 8,1 % e explica a variável Th (positiva) e as variáveis Cd, Cr e P (negativas);
- CP5: apresenta uma variância explicada de 6,1 % e explica as variáveis CE e Na (positivas) e em oposição à variável pH (negativa).

As variáveis Ag, Ba, Cd, Cu, Hg, K, Mo, V e MO, não foram explicadas por nenhum dos eixos seleccionados.

Nas Figuras 5.2 a) e b) apresentam-se as projeções nos dois planos fatoriais, definidos pelos pares de eixos CP1/CP2 e CP1/CP3, respetivamente.

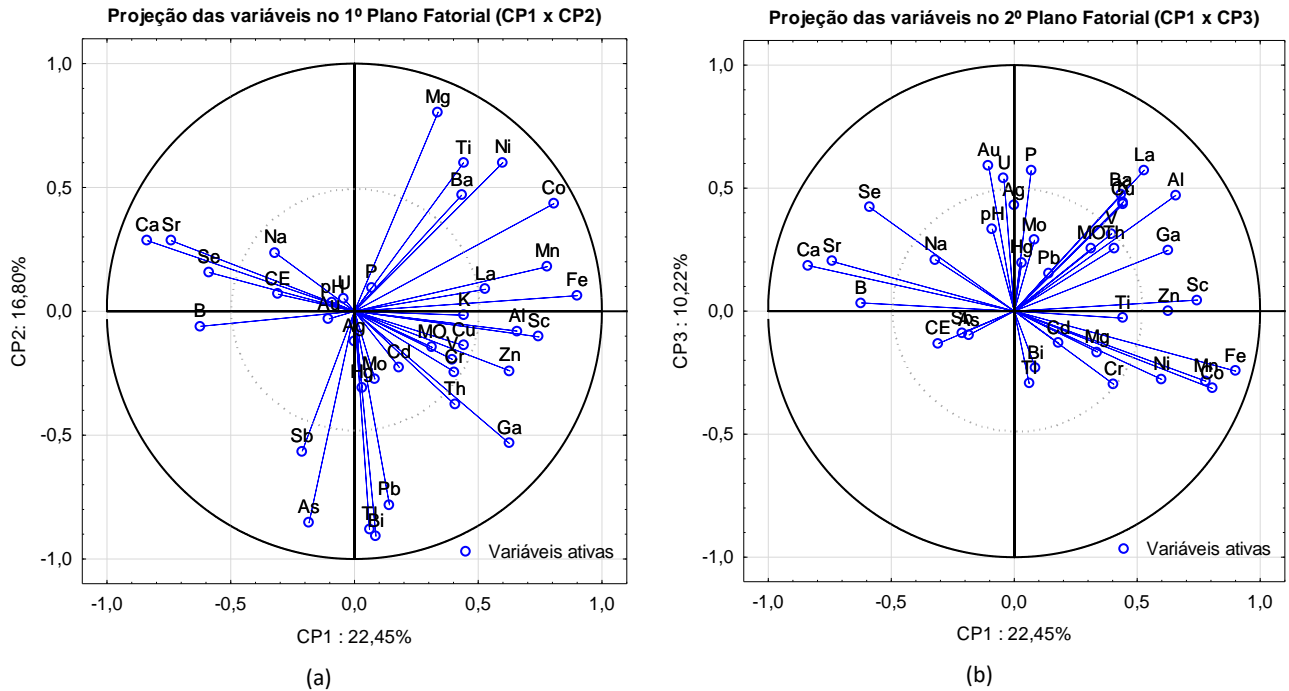


Figura 5.3 - Projeção das coordenadas das 37 variáveis nos 1º (a) e 2º (b) planos fatoriais.

O primeiro plano fatorial das amostras de solos (Figura 5.3a), é constituído pelo CP1 em que as variáveis melhor explicadas são: Al, Co, Fe, Ga, La, Mn, Ni, Sc, Zn, B, Ca, Se e Sr e pelo eixo 2 com as variáveis Mg, Ni e Ti, As, Bi, Pb, e Sb representam 39,2% do número total de variáveis.

O segundo plano fatorial (Figura 5.3b) é formado pelos eixos CP1 versus CP3 em que as variáveis explicadas no CP3 são: P, Au, La e U.

A distribuição espacial dos CPs poderá revelar determinadas características/associações que afetam as distribuições dos elementos a nível local. As figuras 5.4 e 5.5 apresentam a cartografia dos scores das amostras nos eixos principais CP1 a CP5, respetivamente, permitindo visualizar a contribuição estimada de cada componente principal em cada amostra.

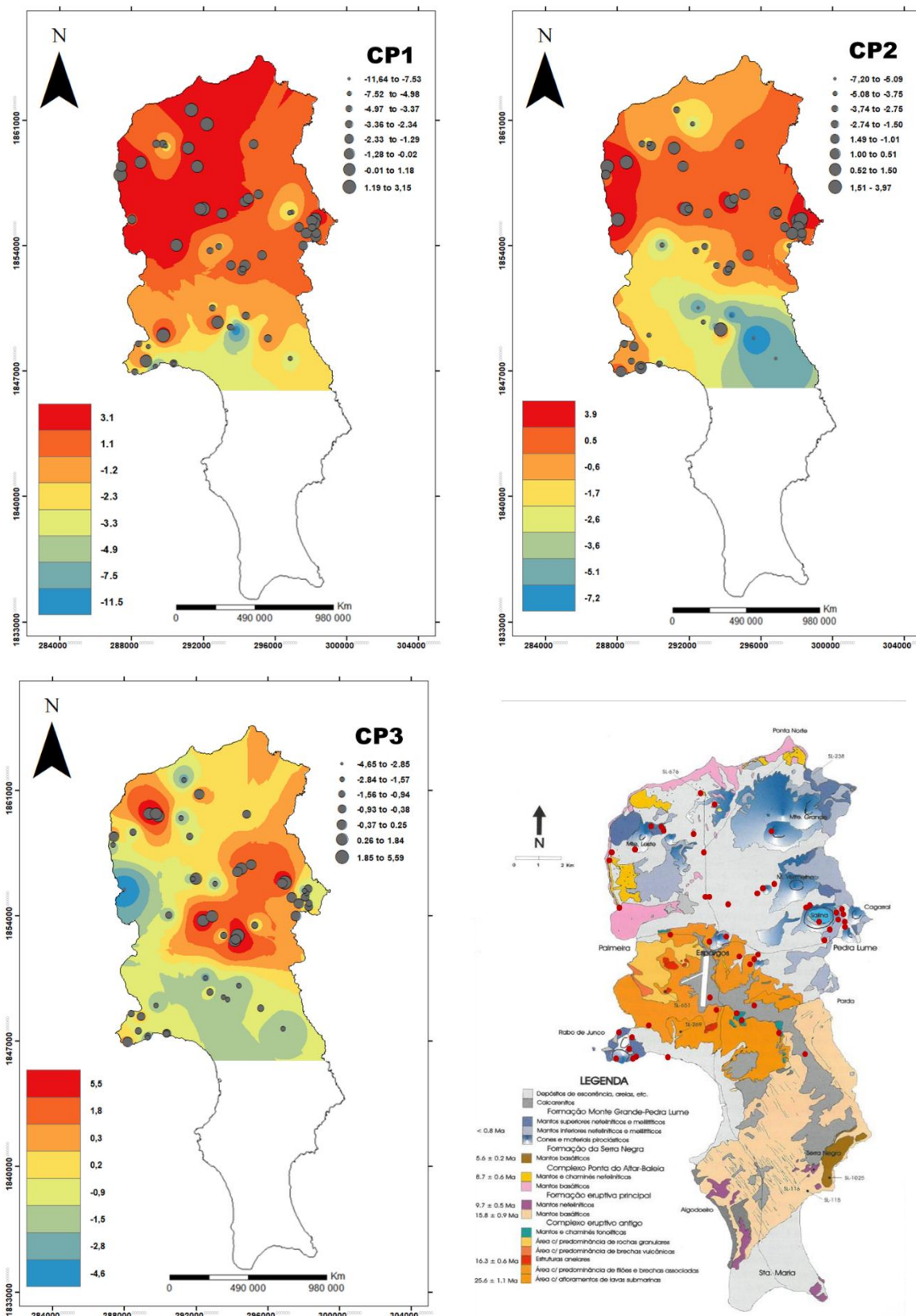


Figura 5.4 – Cartografia das coordenadas das amostras no (a) CP1 [Fe, Co, Mn, Sc, Al, Zn, Ga, Ni, La (valores positivos) em oposição às variáveis Ca, Sr, B e Se (valores negativos)]; (b) CP2 [Mg, Ni e Ti (valores positivos) em oposição às variáveis Bi, Tl; As, Pb, Sb, Ga (valores negativos)]; (c) CP3 [Au, La, P e U (valores positivos)] As variáveis explicadas nos eixos são apresentadas por ordem decrescente de importância das respectivas coordenadas; (d) Carta geológica da ilha do Sal [editada pelo Instituto de Investigação Científica Tropical em 1990 e modificado por P.C. Torres].

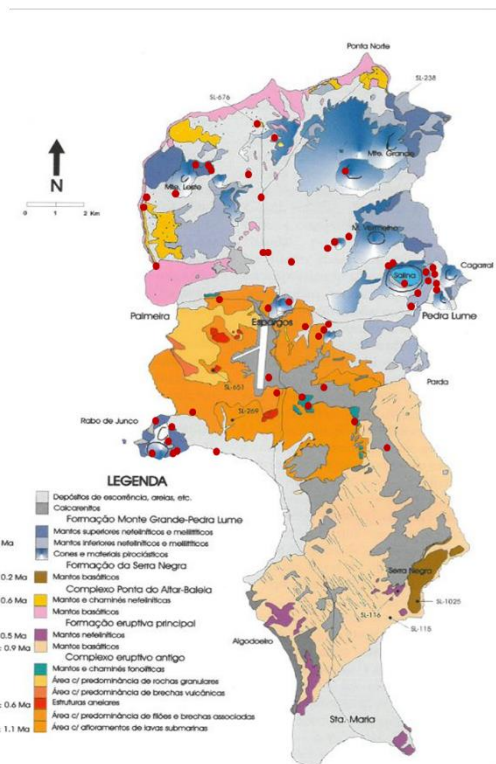
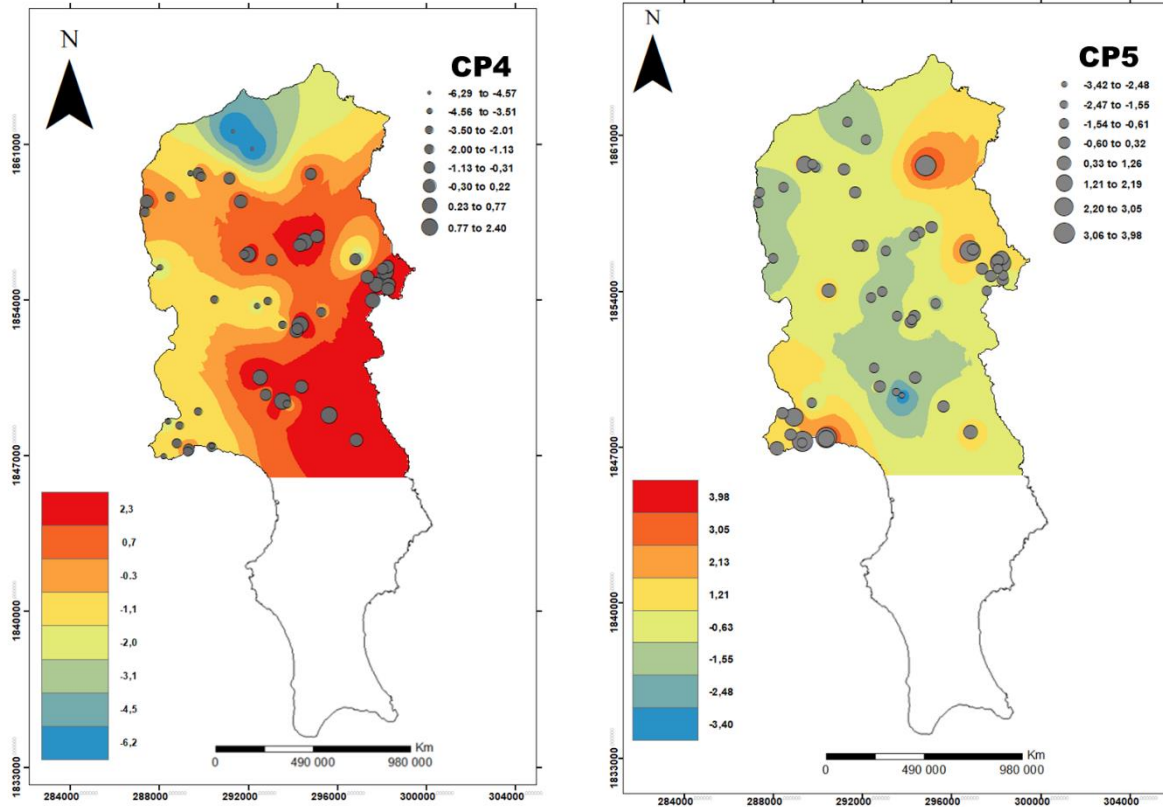


Figura 5.5 – Cartografia das coordenadas das amostras no (a) CP4 [Th (valores positivos) em oposição às variáveis Cd, Cr, P (valores negativos)]; (b) CP5 [CE e Na (valores positivos) em oposição às variáveis pH (valores negativos)]. As variáveis explicadas nos eixos são apresentadas por ordem decrescente de importância das respectivas coordenadas; (c) Carta geológica da ilha do Sal [editada pelo Instituto de Investigação Científica Tropical em 1990 e modificado por P.C. Torres].

Os mapas foram elaborados no programa ArcGIS® usando como estimador IDW (Inverse Distance Weighted). Para uma melhor visualização, foram elaborados mapas de superfícies coloridas combinados com a cartografia pontual dos teores. Para os mapas e para a cartografia de teores, foram definidas 8 de classes.

No eixo CP1 encontram-se bem representadas as associações Al, Co, Fe, Ga, La, Mn, Ni Sc e Zn (valores positivos) e B, Ca, Se e Sr (valores negativos). Observando a figura 5.4a, nota-se que os solos pertencentes à Formação Complexo Ponta do Altar-Baleia e o Complexo Eruptivo antigo apresentam as coordenadas mais altas (valores positivos dos scores). Por outro lado, verificamos que as coordenadas mais baixas (valores negativos dos scores) se encontram maioritariamente associadas às amostras de solos da Formação Monte Grande e nos Depósitos Recentes (Quaternário).

No CP2 (Figura 5.4b) está representada a associação Mg, Ni e Ti (valores positivos), a partir das coordenadas, notamos que a mesma está associada principalmente à Formação do Monte Grande e aos Depósitos Recentes (Quaternário). A associação As, Bi, Ga, Pb, Sb e Tl (valores negativos) estará provavelmente relacionada a uma origem essencialmente antrópica.

No CP3 está representada a associação Au, La, P e U (valores positivos) é possível notar que os solos associados à Formação do Monte Grande e o Complexo Eruptivo antigo apresentam as coordenadas mais altas.

No CP4 (associação Th-valores positivos em oposição às variáveis Cd, Cr e P-valores negativos), a partir da figura 5.5a, podemos constatar que os valores mais altos das coordenadas positivas se encontram principalmente nas rochas associadas à Formação do Monte Grande, ao Complexo Ponta do Altar – Baleia e ao Complexo eruptivo antigo.

O CP5 representa a associação CE e Na com coordenadas positivas e em oposição pH com coordenadas negativas (Figura 5.5b).

5.4. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS EPT NOS SOLOS DA ILHA DO SAL

O mapeamento geoquímico é uma ferramenta de capital importância para o conhecimento geológico de determinada região, a sua representação espacial proporciona uma concentração de informações que permite uma fácil interpretação e auxilia a tomada de decisões de políticas públicas que contemplem um equilíbrio entre a saúde, meio ambiente e economia de um país.

Os mapas geoquímicos da ilha do Sal, foram gerados a partir dos resultados obtidos das análises químicas de 53 amostras de solo para os elementos: Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sc, Se, Sr, Th, Ti, U, V, Zn e pH, MO e CE. A distribuição espacial dos elementos B, Bi, S, Sb, Te e W não foi representada porque apresentaram teores abaixo do limite de deteção.

O software utilizado foi o ArqGis®10.7, em todos os mapas foi utilizada a ferramenta geoestatística de interpolação IDW (inverse distance weighted). Este método considera que dados espacialmente mais próximos apresentam resultados mais comparáveis entre si, portanto pontos vizinhos apresentarão maior influência ao se computar a interpolação entre as amostras. Amostras espacialmente mais próximas tendem estar sujeitos aos mesmos processos naturais como clima, litótipos, uso e ocupação do solo, atividades socioeconômicas, dentre outros, o que torna o método IDW adequado para interpolar os mapas geoquímicos (Lima, 2020).

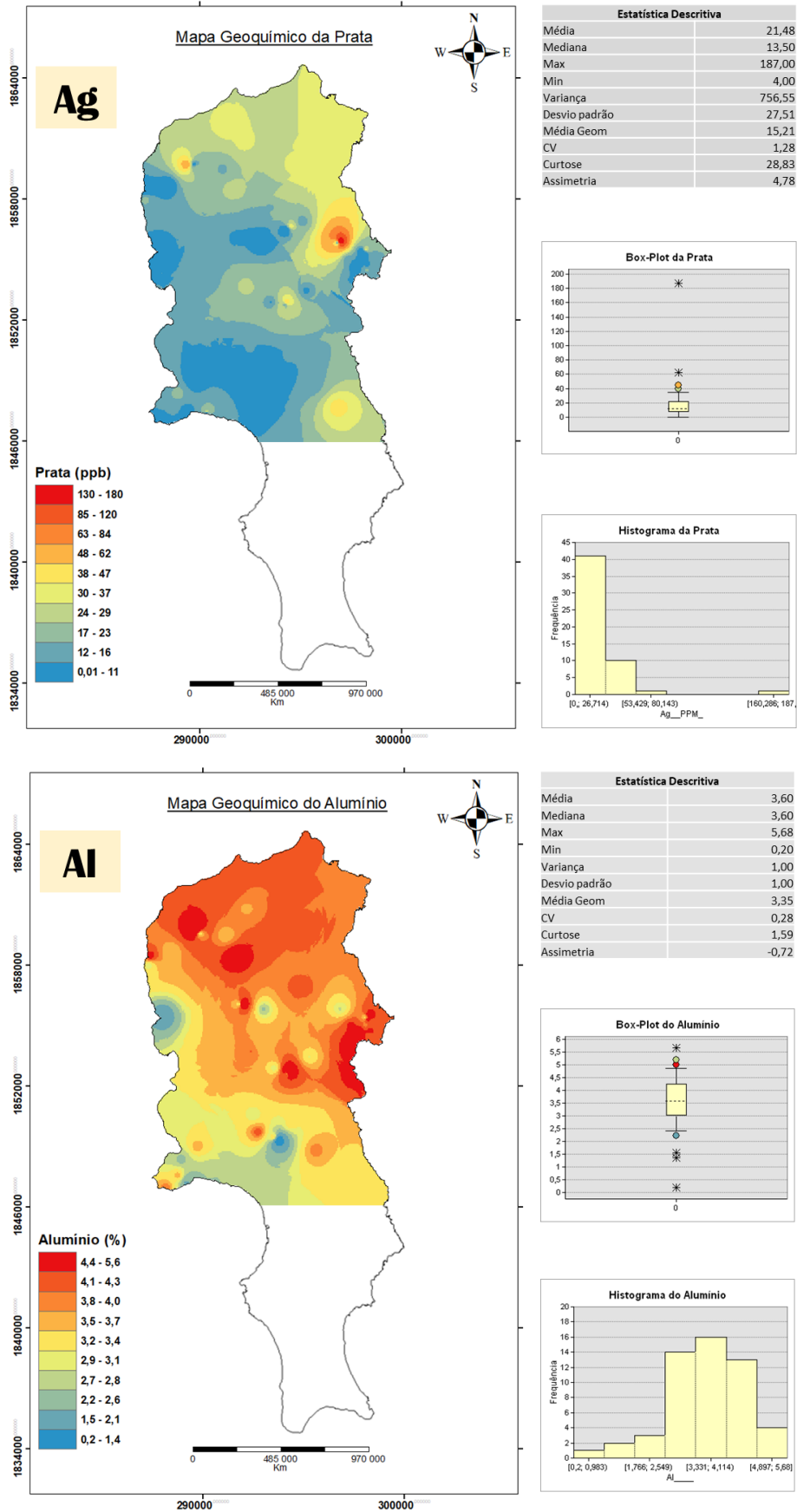


Figura 5.6 - Cartografia dos teores de Ag e Al com base nos valores de percentis e respetivos histogramas.

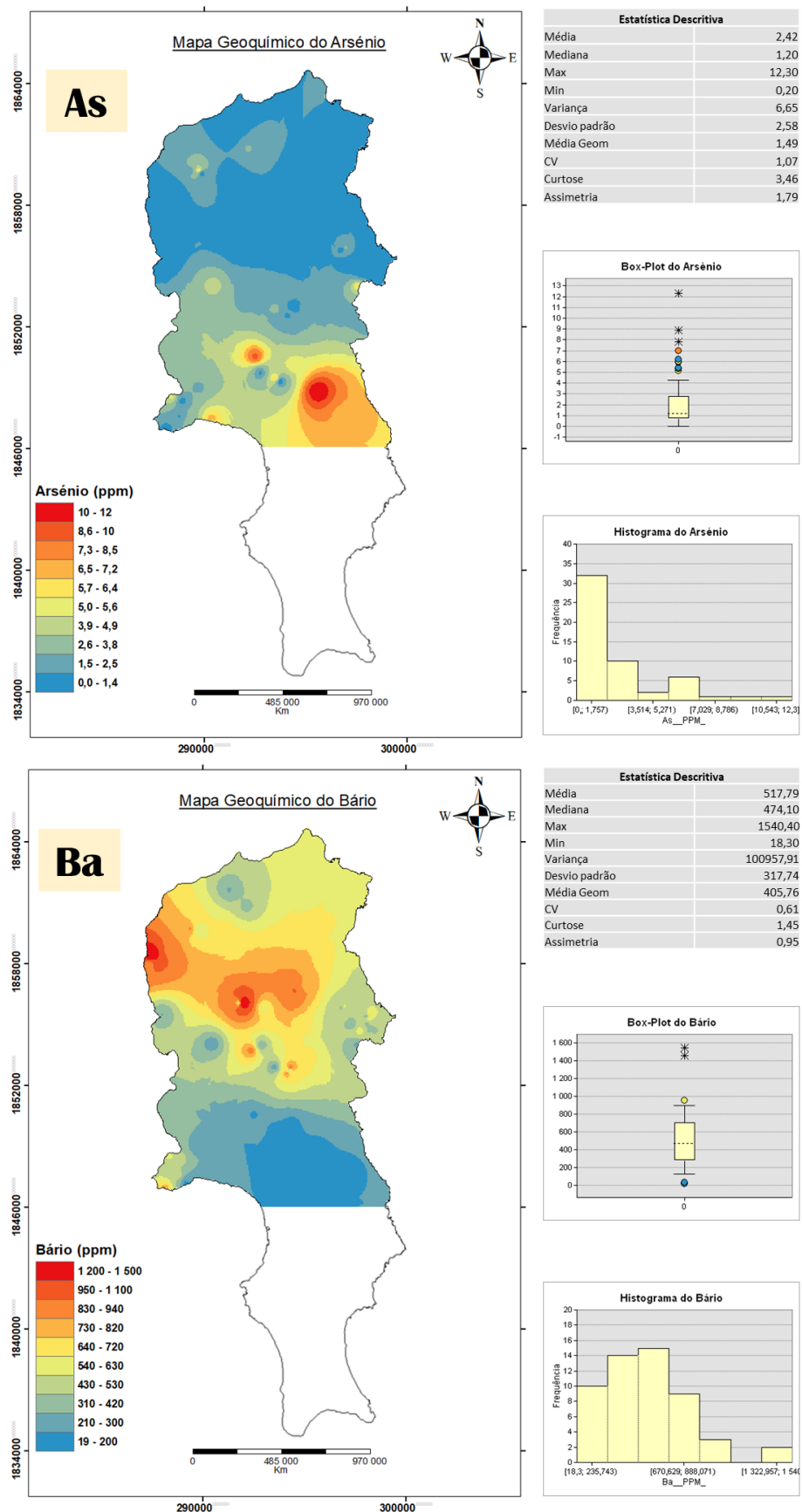


Figura 5.7 - Cartografia dos teores de As e Ba com base nos valores de percentis estatística descritiva e respetivos histogramas.

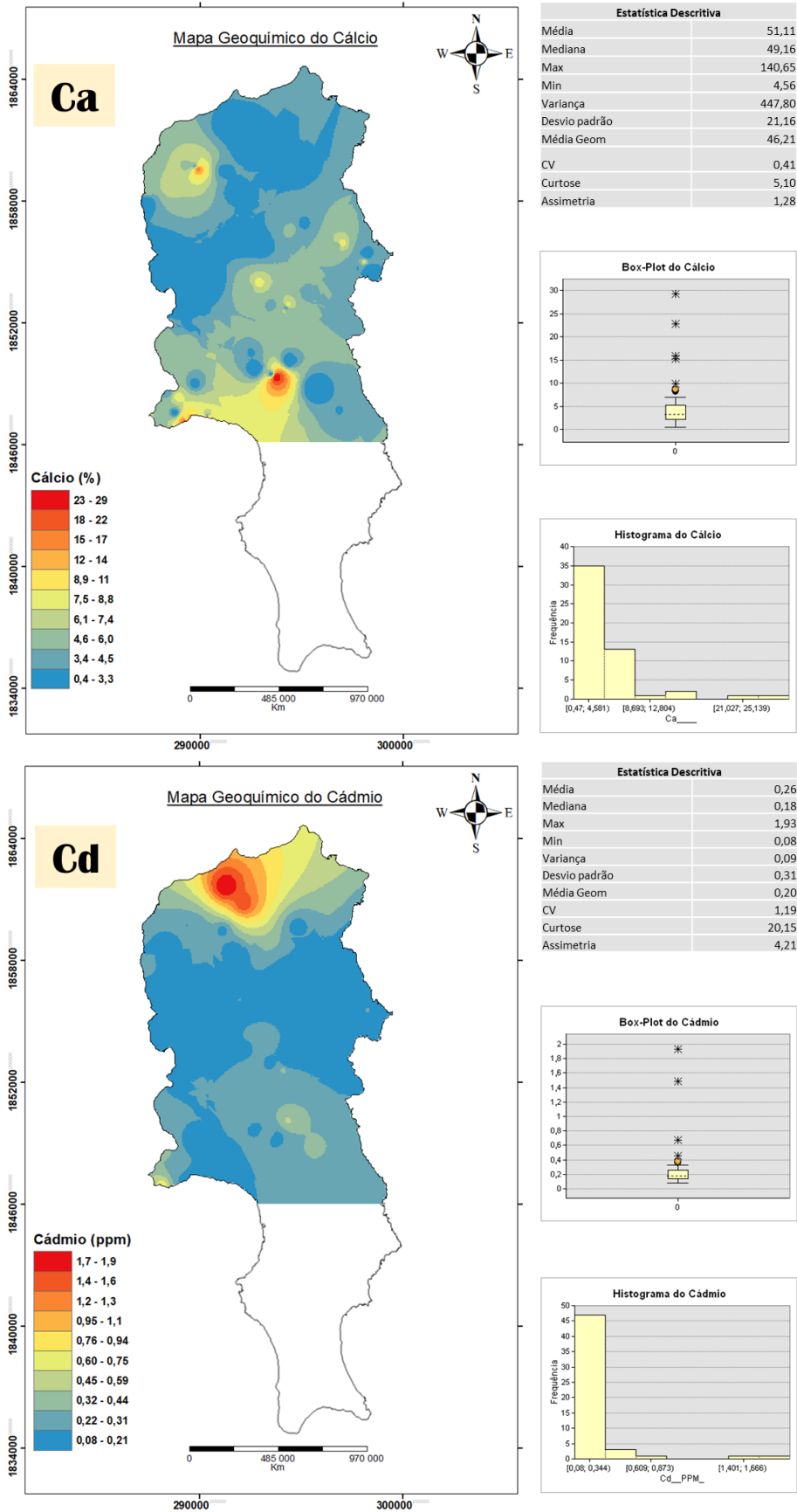


Figura 5.8 - Cartografia dos teores de Ca e Cd com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.

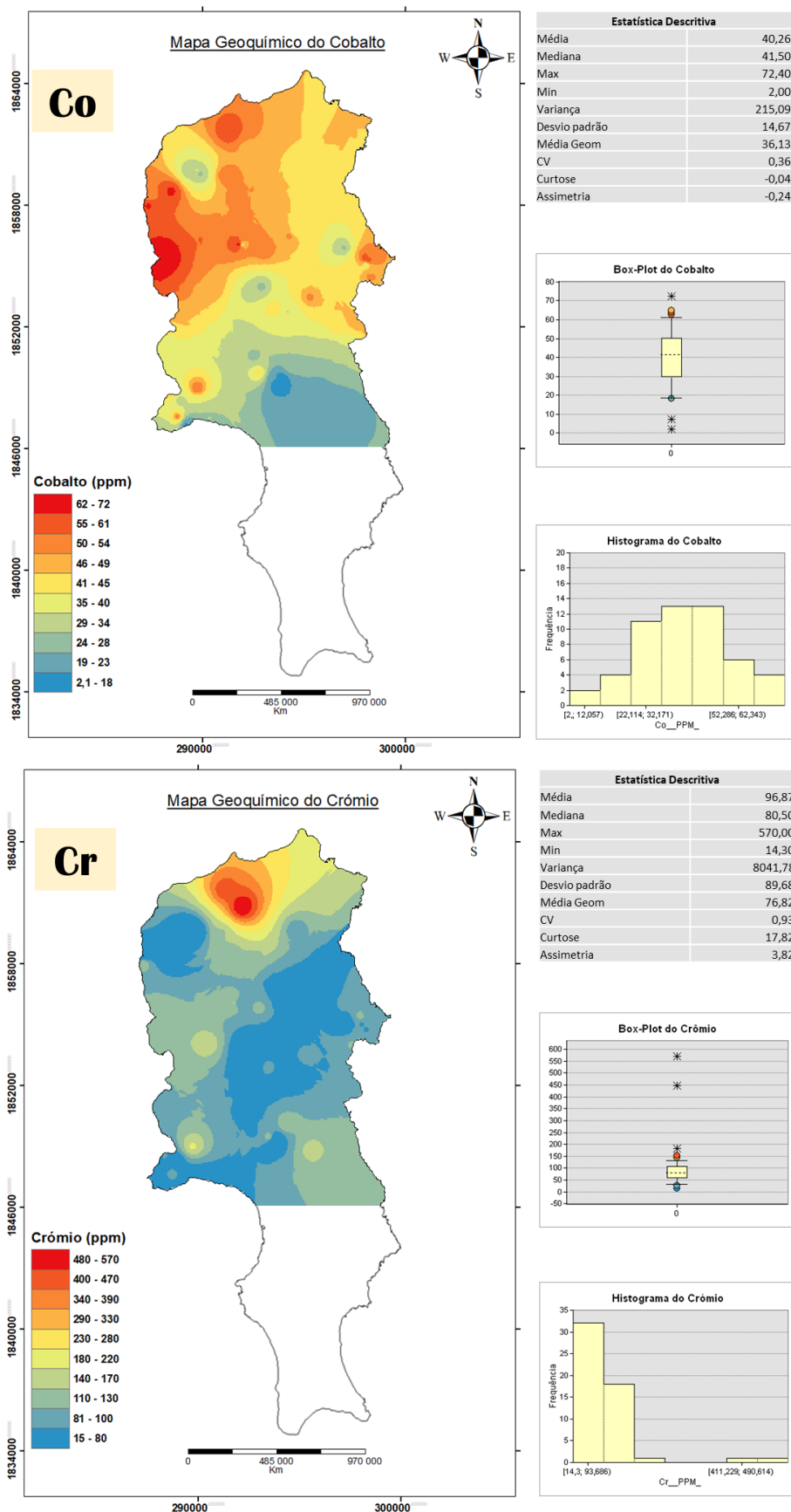


Figura 5.9 - Cartografia dos teores de Co e Cr com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.

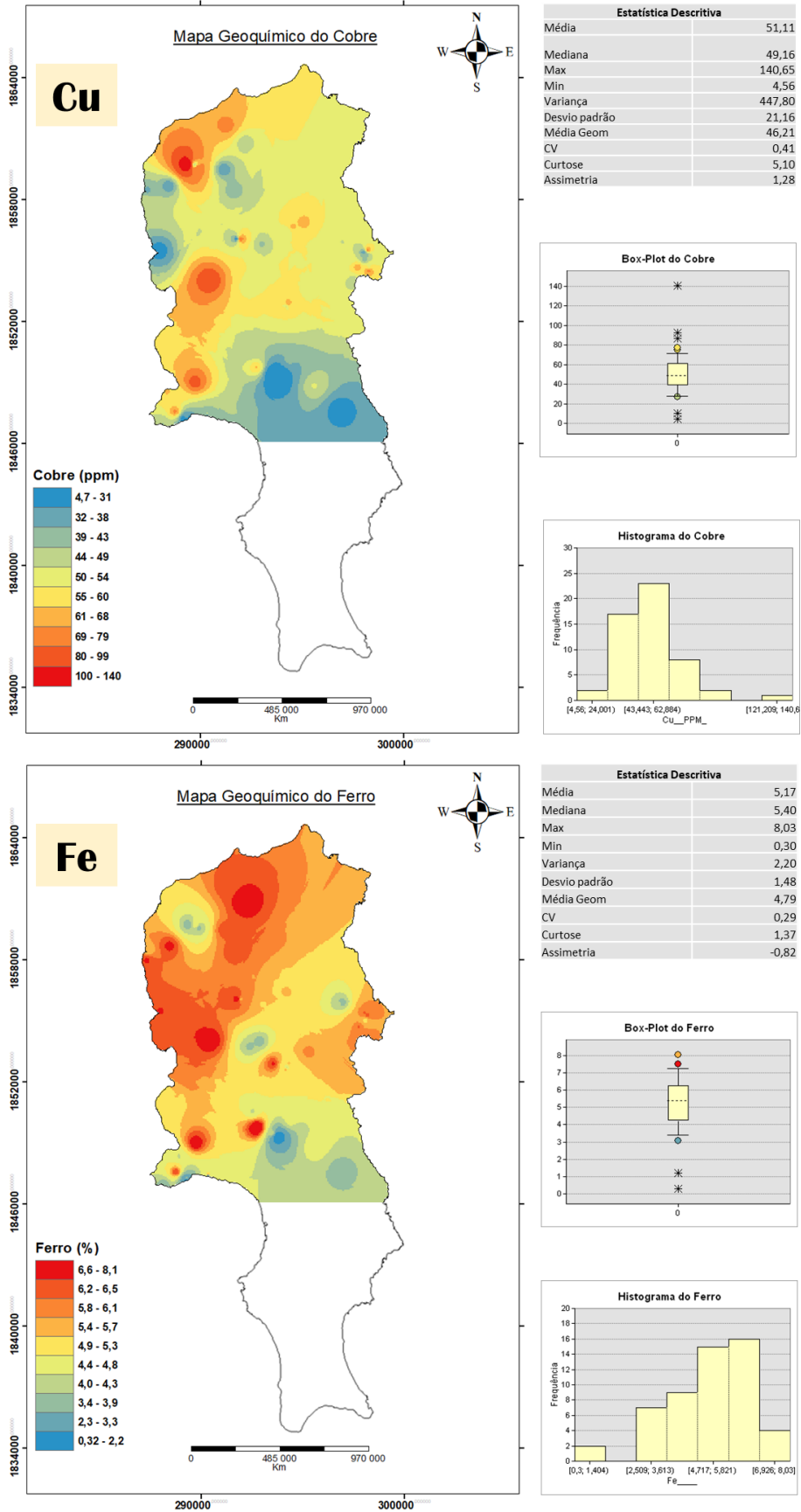


Figura 5.10 - Cartografia dos teores de Cu e Fe com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.

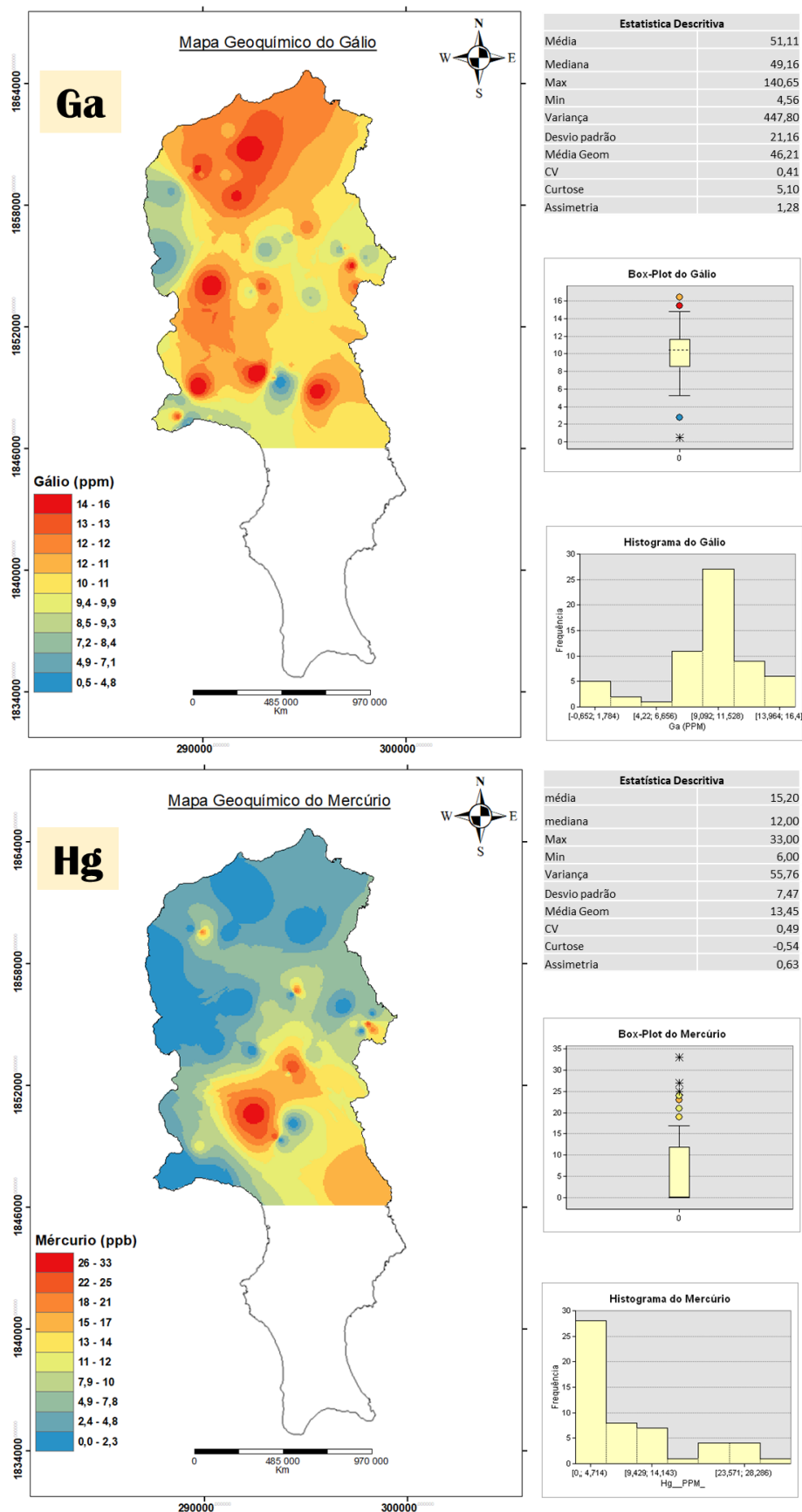
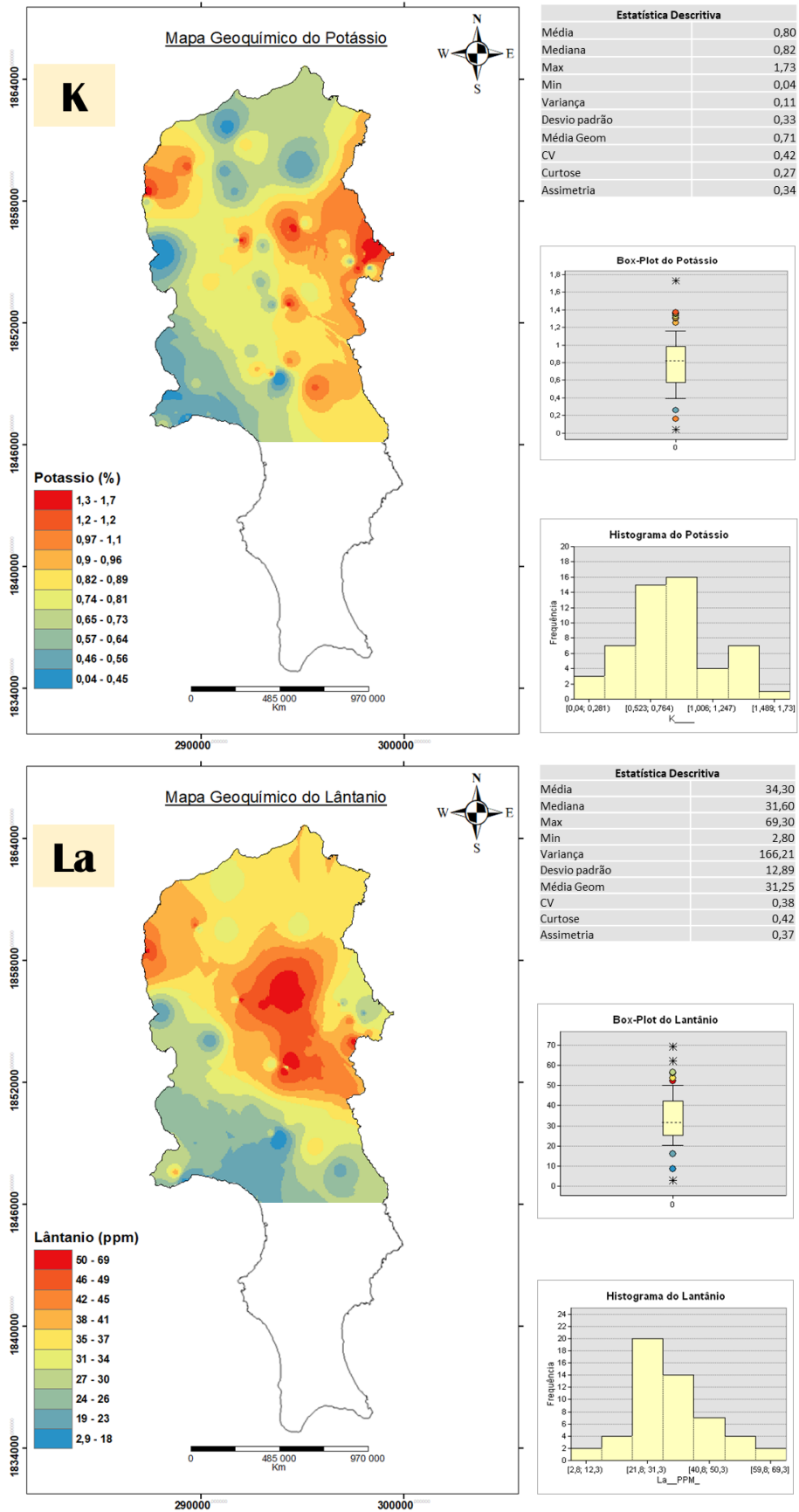


Figura 5.11 - Cartografia dos teores de Ga e Hg com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.



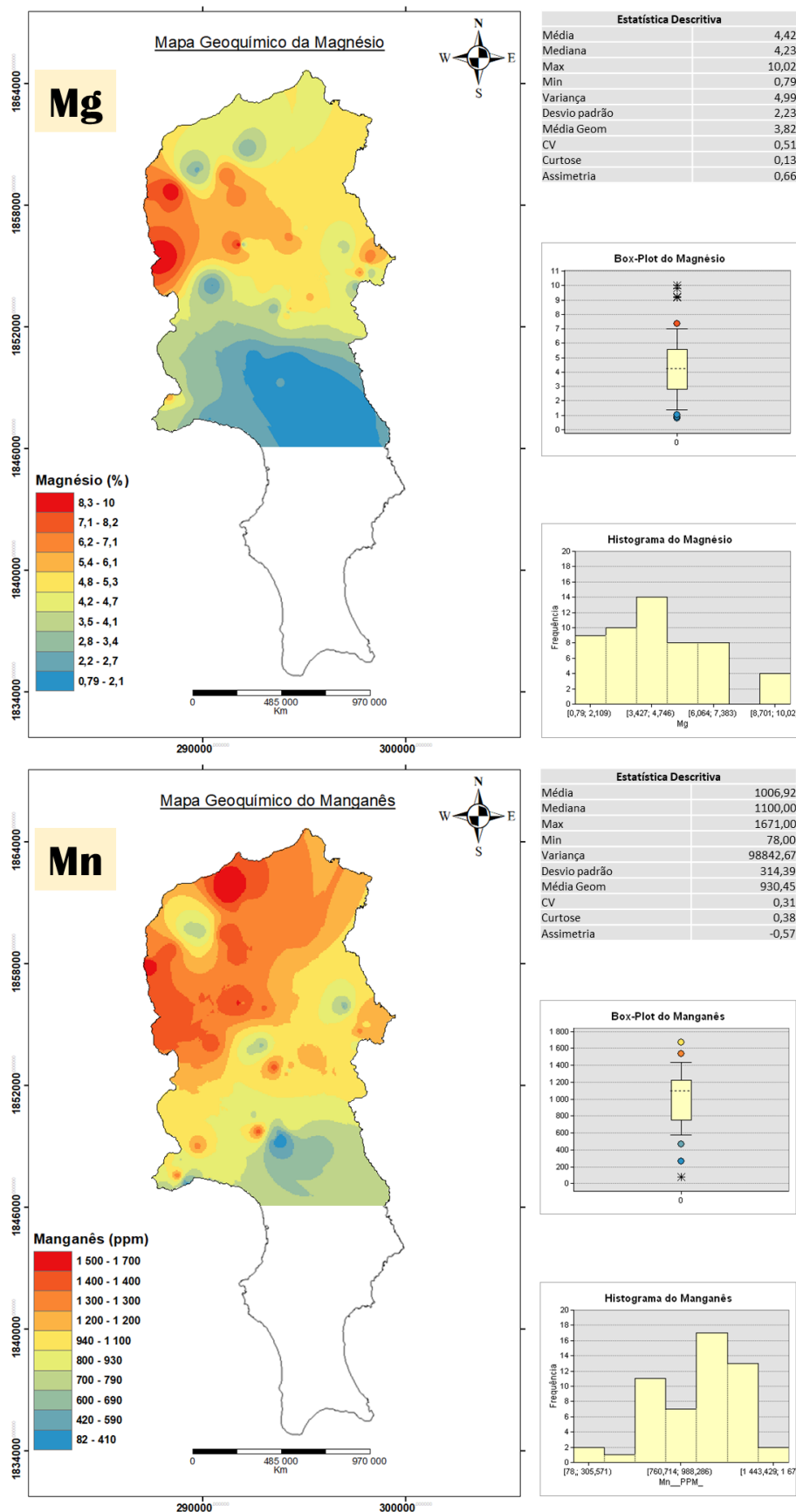


Figura 5.13 - Cartografia dos teores de Mg e Mn com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.

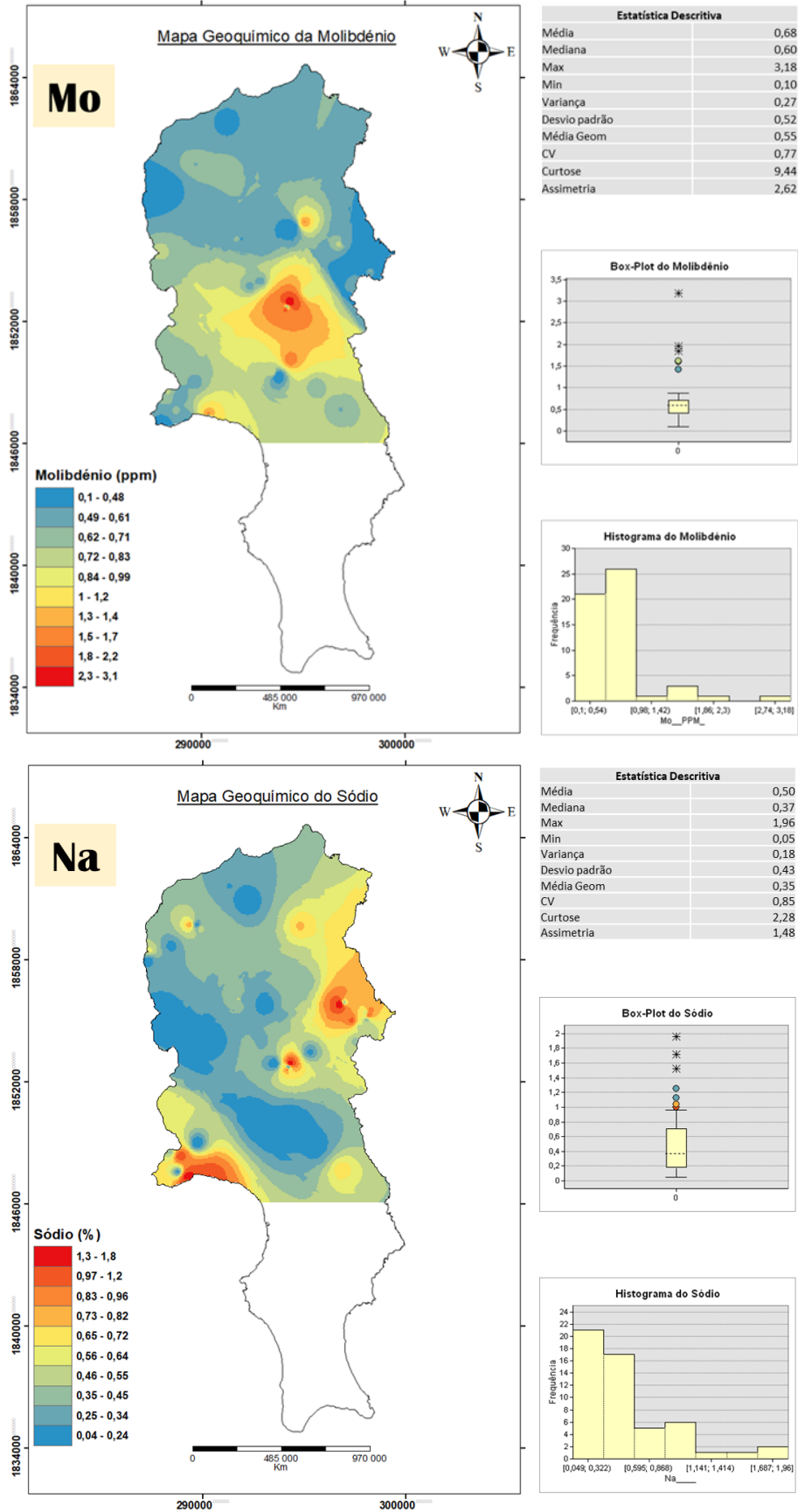


Figura 5.14 - Cartografia dos teores de Mo e Na com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.

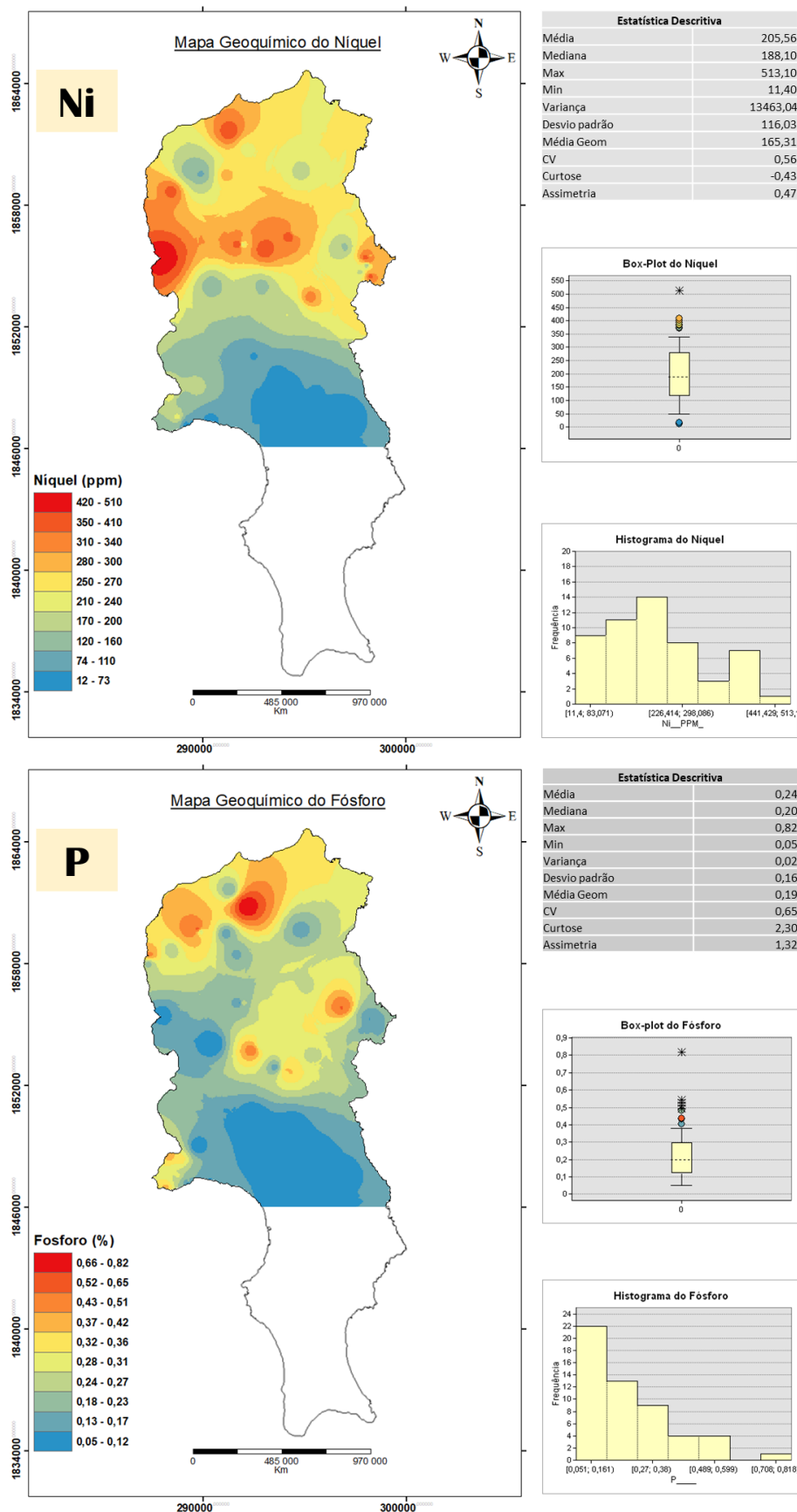
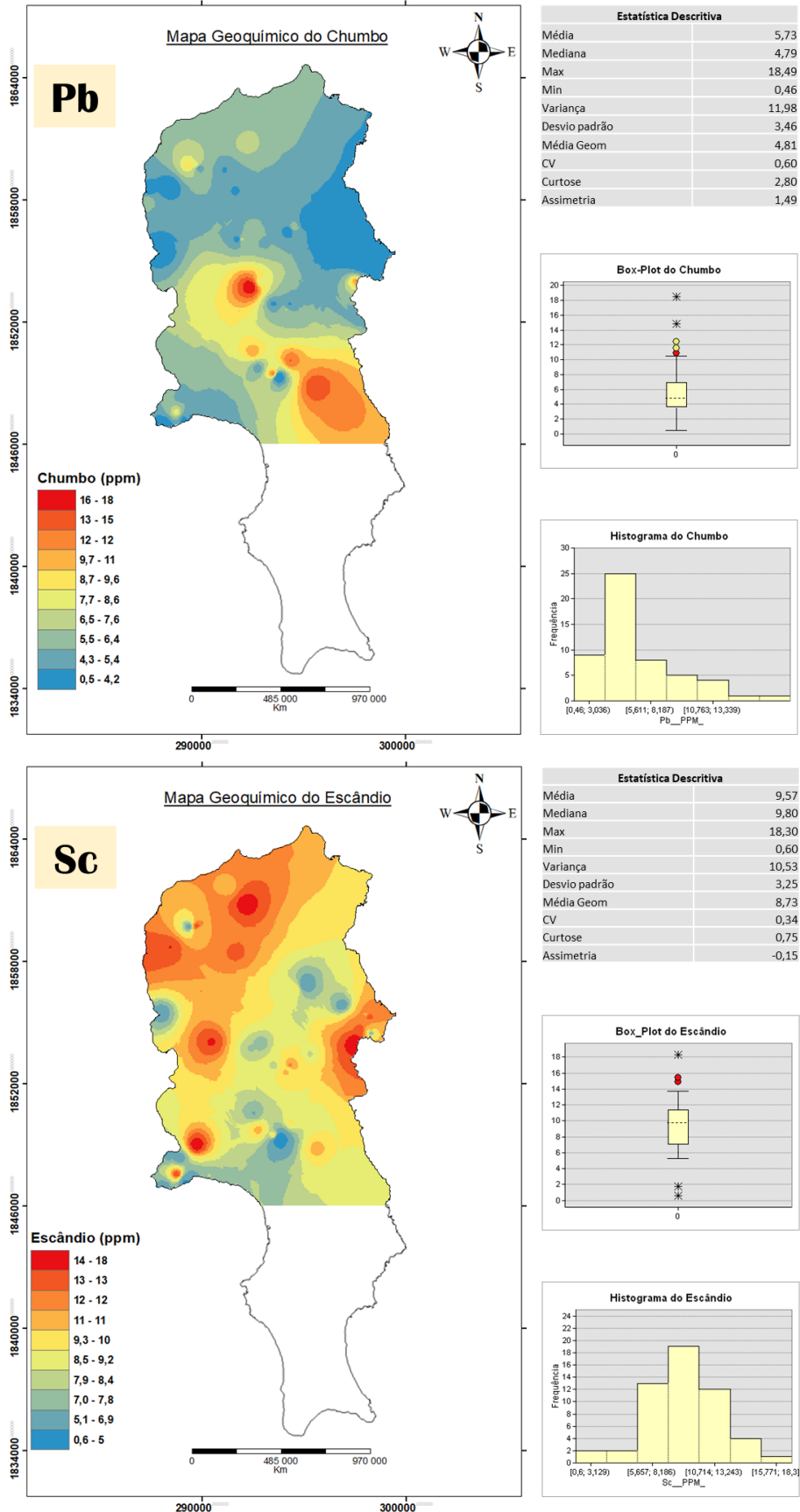


Figura 5.15 - Cartografia dos teores de Ni e P com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.



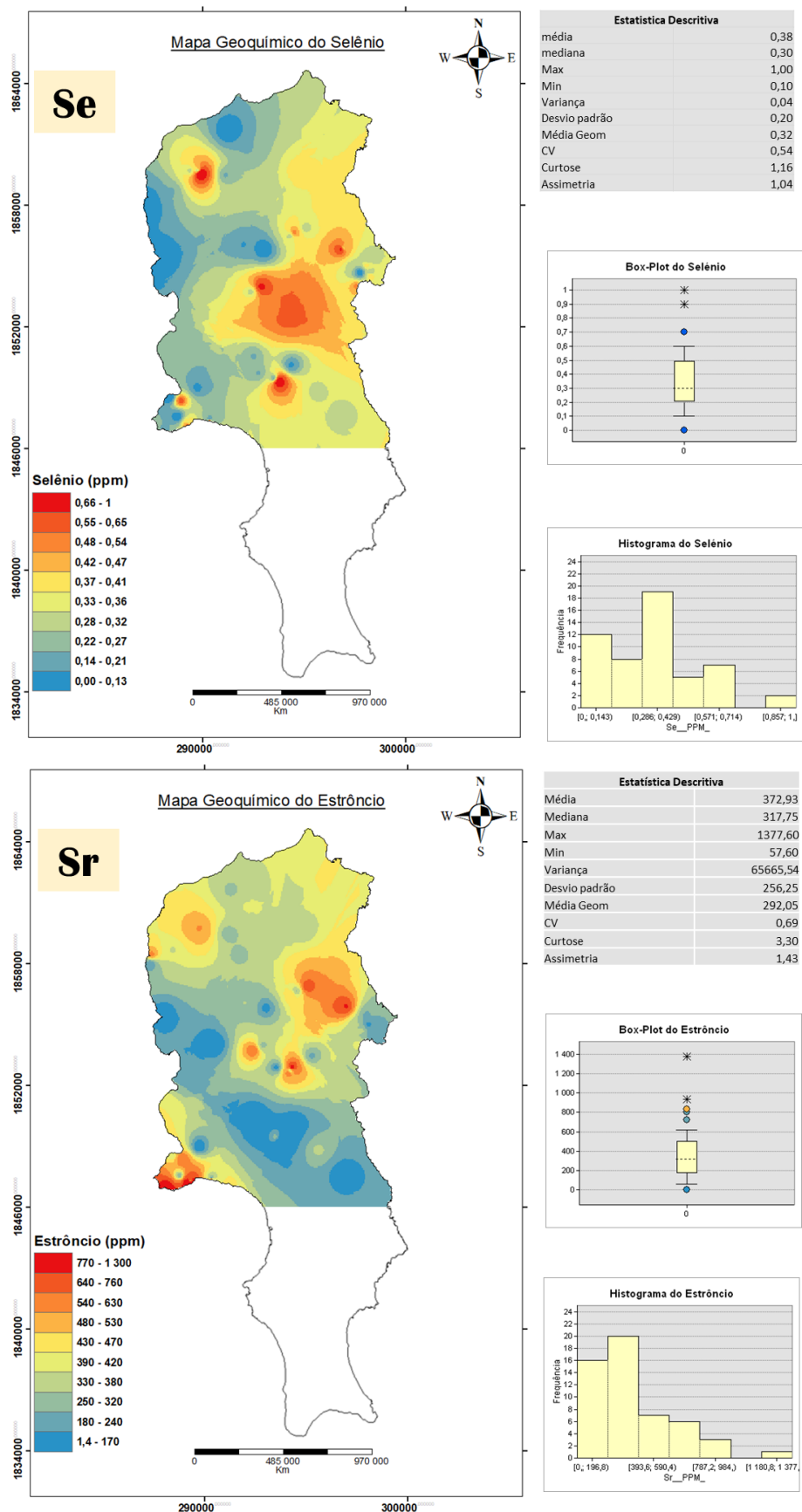


Figura 5.17 - Cartografia dos teores de Se e Sr com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.

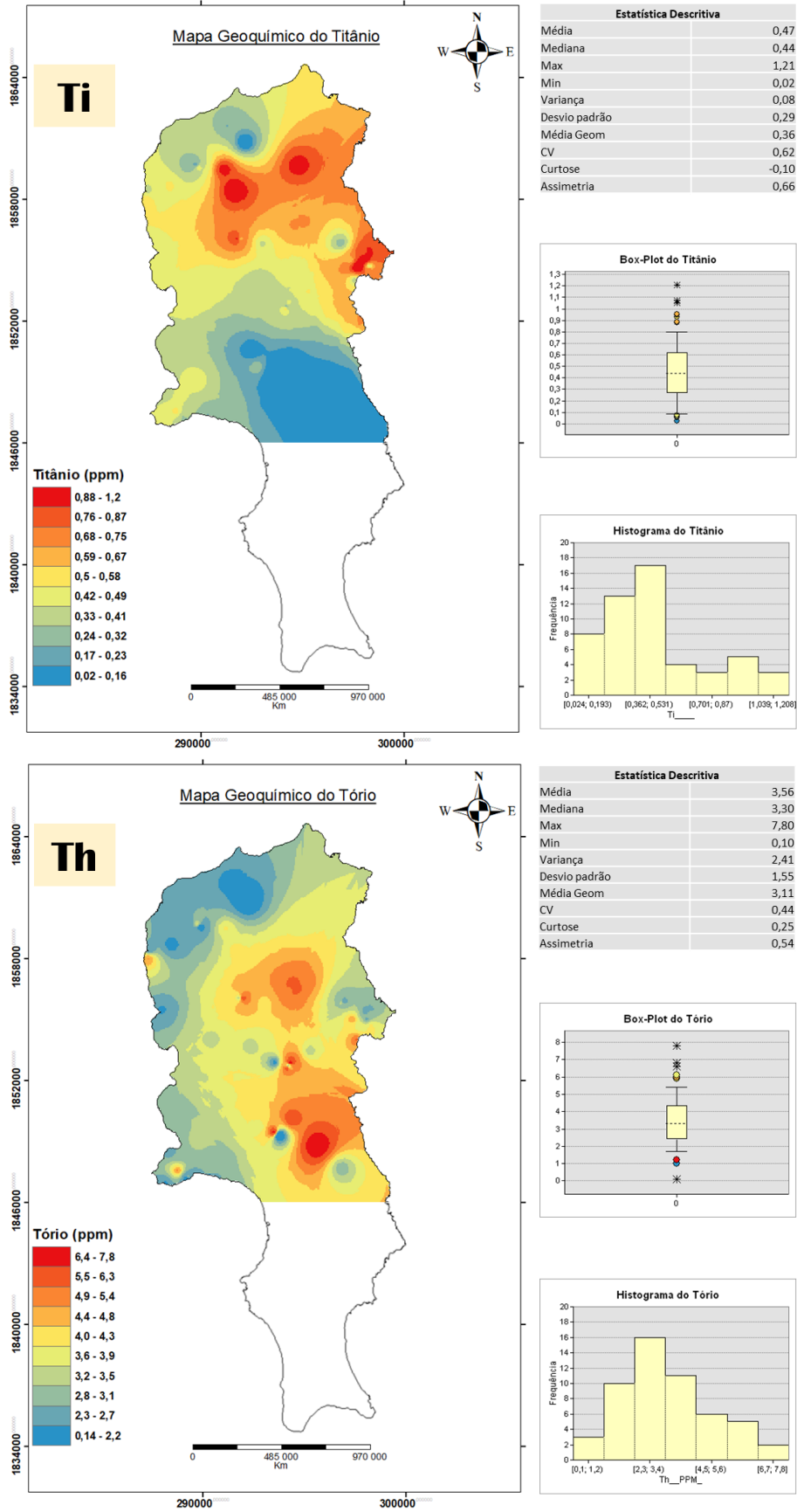


Figura 5.18 - Cartografia dos teores de Ti e Th com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.

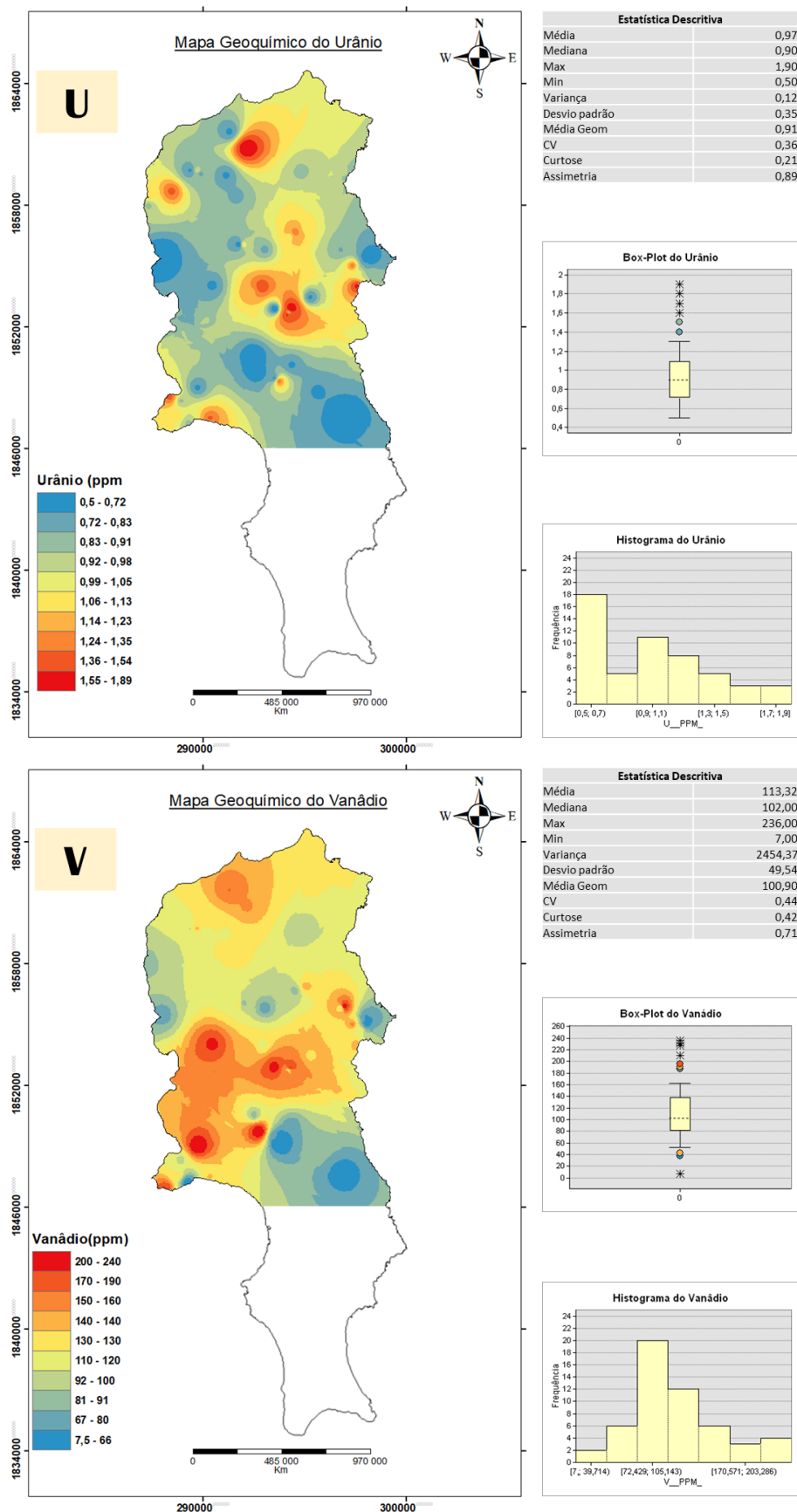


Figura 5.19 - Cartografia dos teores de U e V com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.

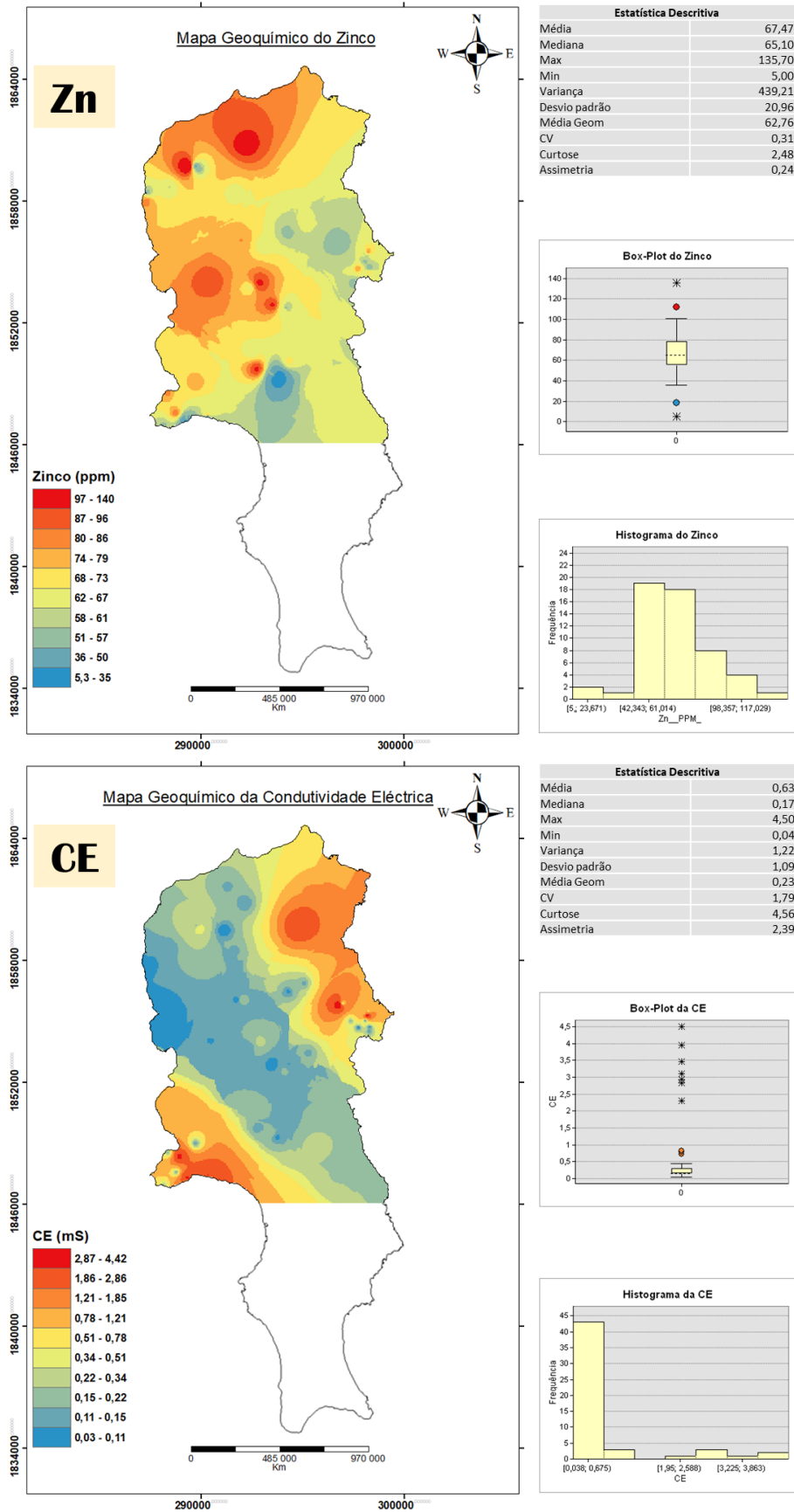


Figura 5.20 - Cartografia dos teores de Zn e valores de CE com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.

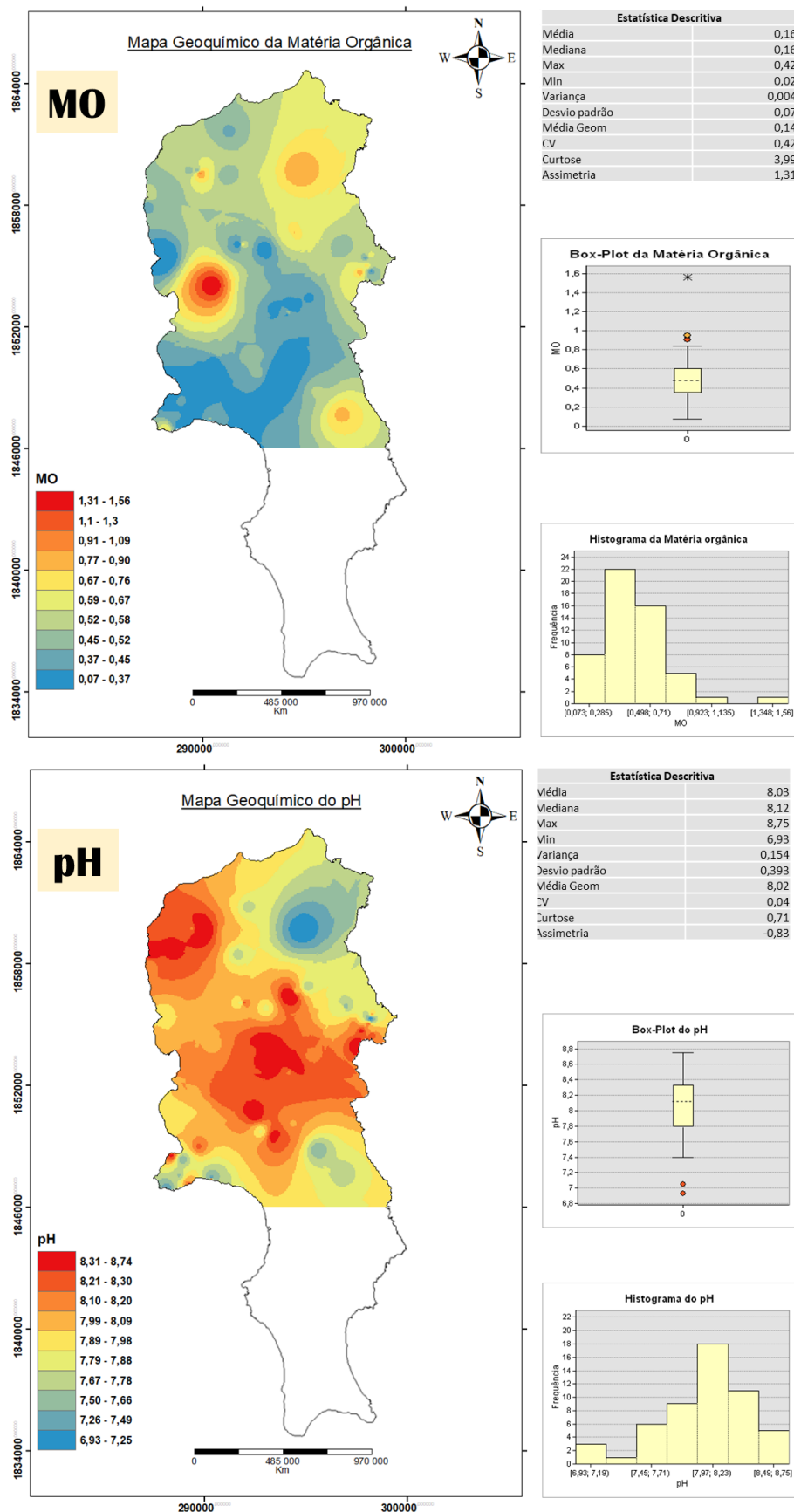


Figura 5.21 - Cartografia dos valores de MO e pH com base nos valores de percentis, estatística descritiva e respetivos histogramas.

5.5. RISCOS DE SAÚDE ASSOCIADOS AOS EPT NA ILHA DO SAL

5.5.1. Estimação dos valores de base para os EPT e mapeamento dos índices de enriquecimento

A partir dos valores calculados na estatística descritiva univariada estimou-se os Valores de Base (fundo geoquímico local) da ilha do Sal (Tabela 5.4) com base nos valores da mediana assim como tendo apenas em consideração os valores situados entre o intervalo P₅ e P₉₅.

Tabela 5.4 – Valores de Base para os solos da ilha do Sal.

Variável		Média	Varição	P ₅ -P ₉₅	VB-Med	VB (P ₉₅ -P ₅)
As	mg kg ⁻¹	2.42	0.20 – 12.30	0.40 - 7.40	1.2	2,0
Cd	mg kg ⁻¹	0.26	0.08-1.93 0	0.09 - 0.54	0.18	0.20
Co	mg kg ⁻¹	40.26	2.00 – 72.40	18.48 - 62.98	41.4	40.5
Cr	mg kg ⁻¹	96.87	14.30 – 570.0	29.14 - 164.34	79.3	82.3
Cu	mg kg ⁻¹	51.11	4.56 – 140.65	27.31 - 81.33	48.8	49.9
Hg	µg kg ⁻¹	15.2	6.00 – 33.00	6.20 - 26.60	12	14.7
Mn	mg kg ⁻¹	1006.9	78.0 – 1671.0	534 - 1394.2	1100	1019
Ni	mg kg ⁻¹	205.56	11.40 – 513.1	51.28 - 395.42	187.6	202
Pb	mg kg ⁻¹	5.73	0.46 – 18.49	2.38 - 11.90	4.7	5.4
Zn	mg kg ⁻¹	67.47	5.0 – 135.70	42.52 - 100.08	64.85	67,4

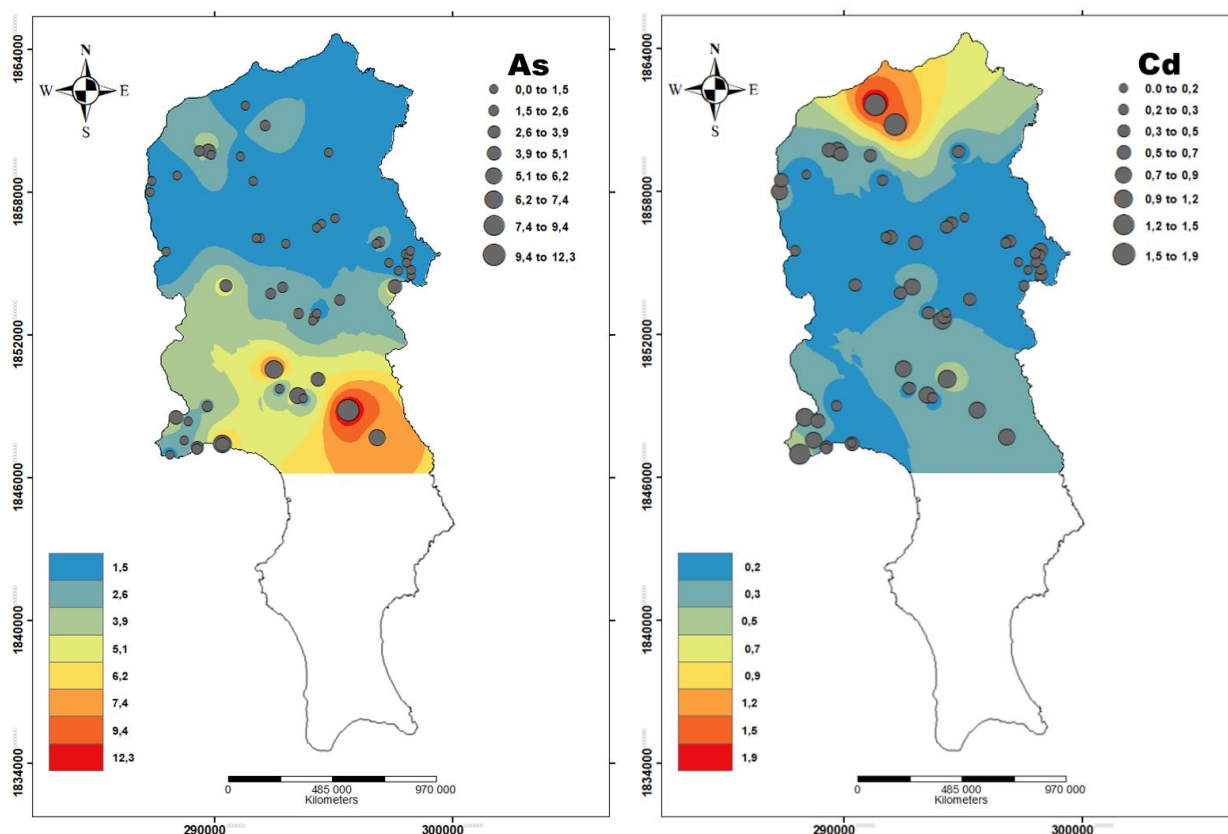


Figura 5.22 – Mapas de distribuição espacial mostrando os gradientes de enriquecimento dos elementos As e Cd tendo em conta os valores de base calculados para a mediana.

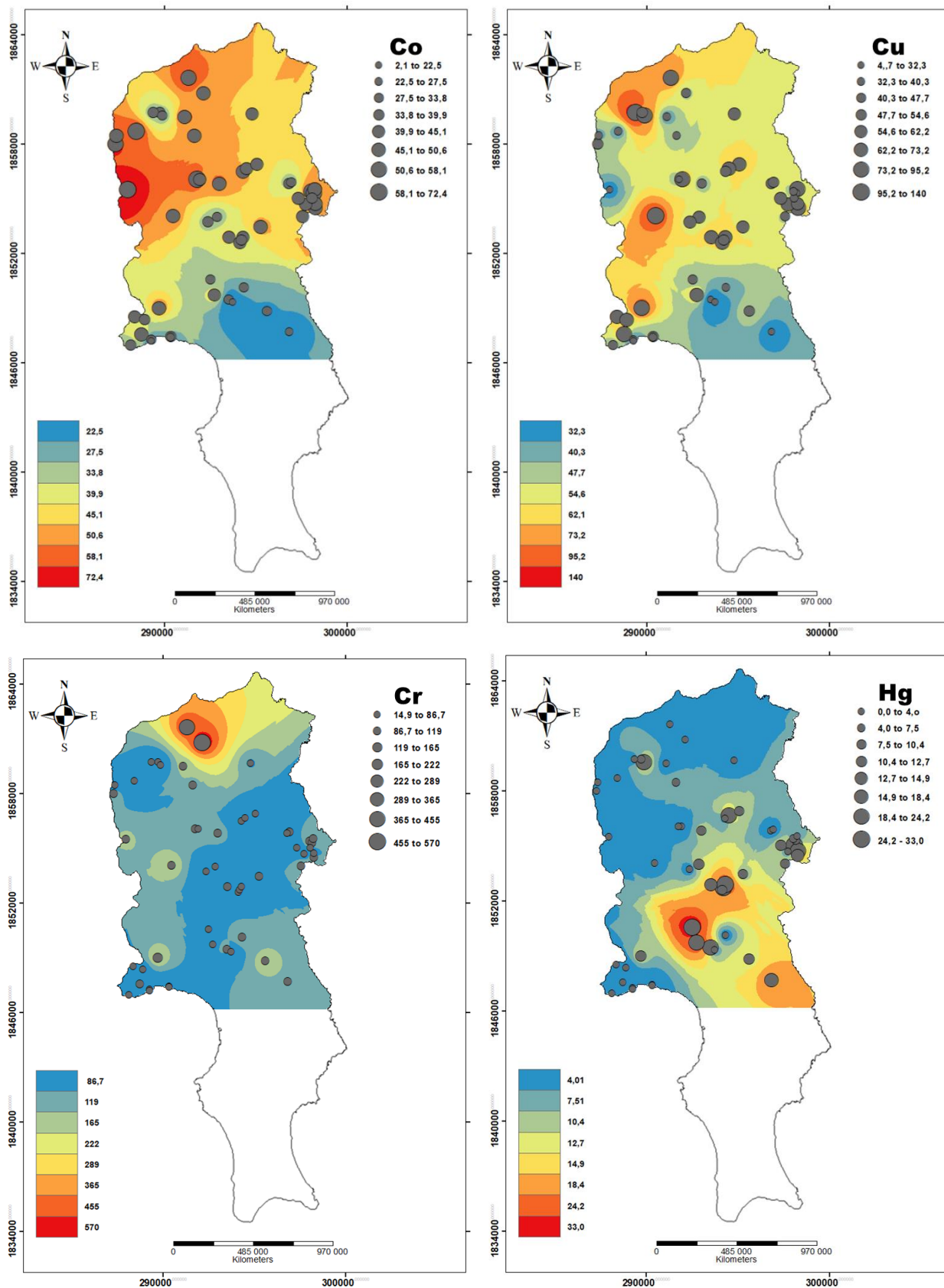


Figura 5.23 – Mapas de distribuição espacial mostrando os gradientes de enriquecimento dos elementos Co, Cu, Cr e Hg tendo em conta os valores de base calculados para a mediana

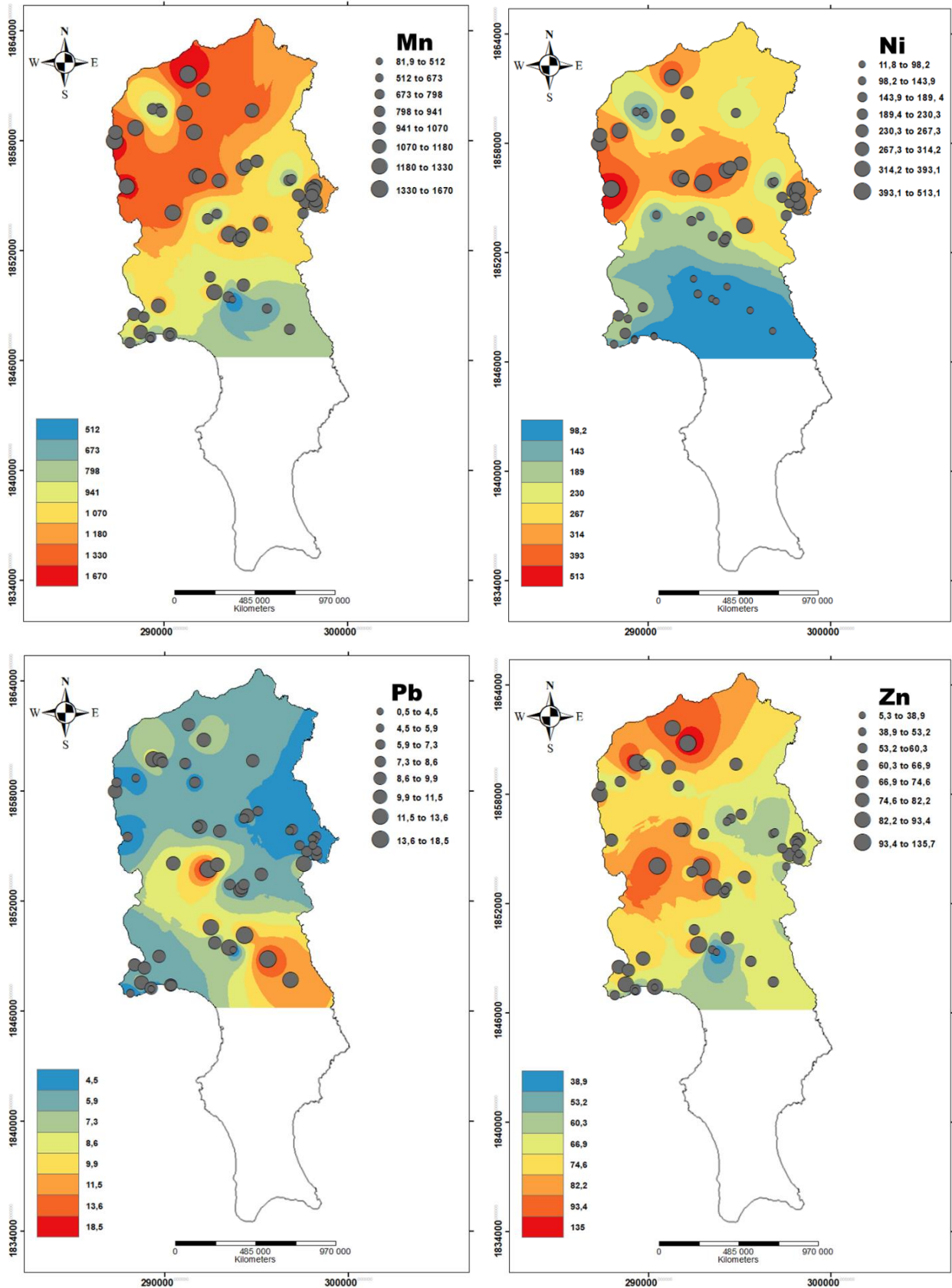


Figura 5.24 – Mapas de distribuição espacial mostrando os gradientes de enriquecimento dos elementos Mn, Ni, Pb e Zn tendo em conta os valores de base calculados para a mediana.

5.5.2. Avaliação do risco ecológico

Da análise dos resultados (Figura 5.25) constata-se que de entre os elementos analisados, o As, Cd e Hg são os que inspiram maiores preocupações, uma vez que estes apresentam um fator de risco ecológico alto ($160 < P_n < 320$).

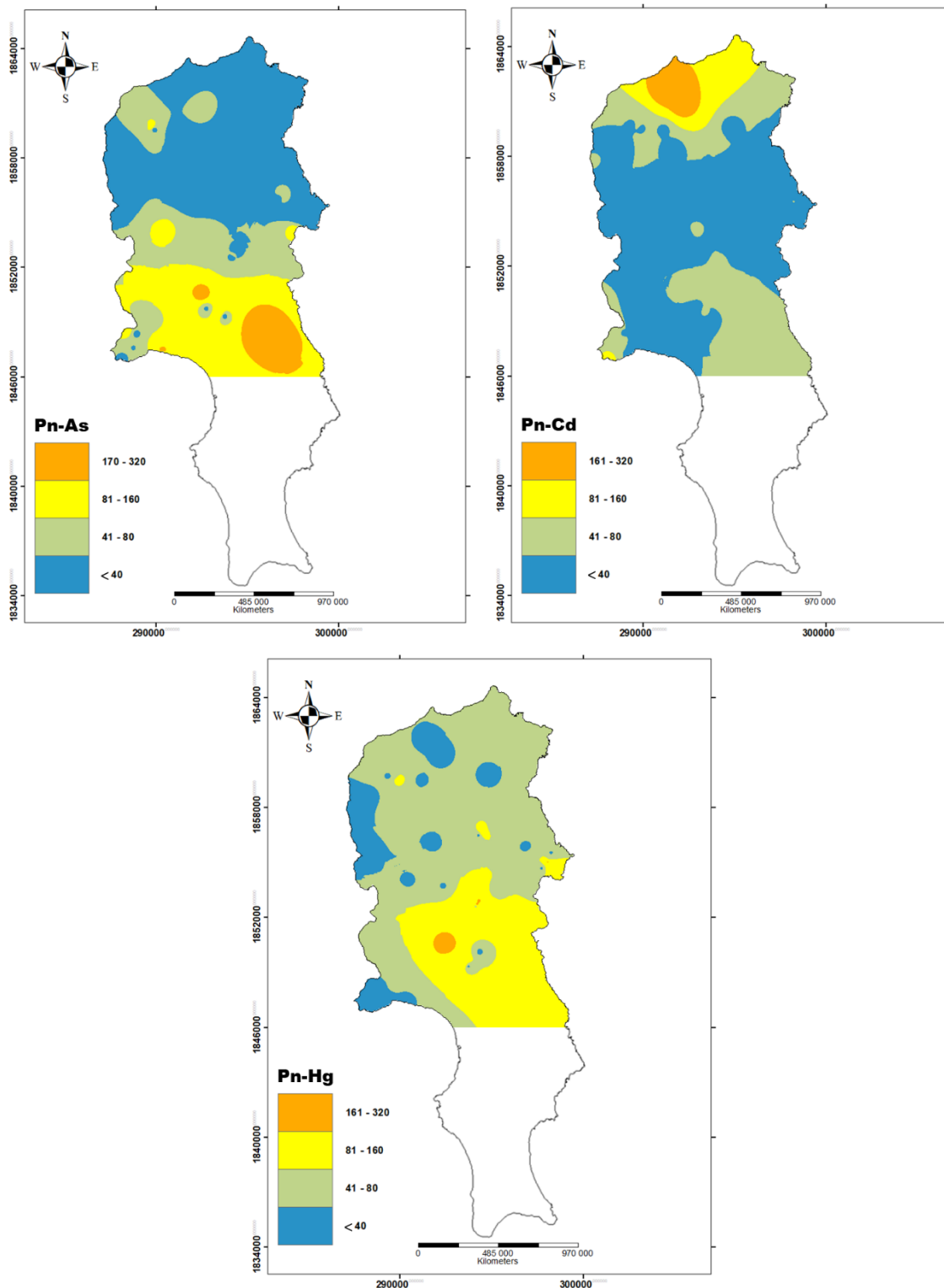


Figura 5.25 - Mapas de distribuição espacial dos valores de Pn para os elementos que apresentam alto risco ecológico (ou seja, para As, Cd e Hg)

Estes elementos são conhecidos pelos seus efeitos tóxicos e por causarem graves problemas à saúde, o As e o Cd estão classificados como possivelmente cancerígenos para o ser humano segundo a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) o que requererá uma monitorização e especial atenção das autoridades cabo-verdianas em todas às áreas de risco.

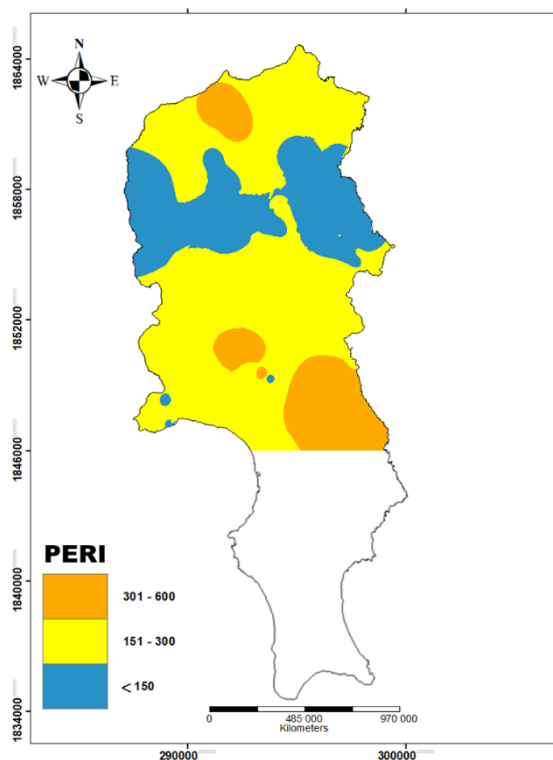


Figura 5.26 –Índice de risco ecológico potencial (PERI) mostrando a contribuição combinada de todos os elementos examinados neste estudo

Os resultados do PERI mostram-nos que a ilha do Sal, apresenta no geral um risco ecológico moderado ($150 < \text{PERI} < 300$) e como era de se esperar, as zonas em que se registaram elevados fatores de risco ecológico são também os mesmos em que os valores do PERI são mais elevados, sendo assim classificadas como zonas de risco ecológico considerável ($300 < \text{PERI} < 600$).

5.5.3. Avaliação do risco para a saúde humana

A ilha do Sal encontra-se em desenvolvimento, e a sua população, principalmente a mais idosa, não deixou as suas atividades mais tradicionais como a agricultura e a pastorícia. Relativamente à componente ambiental, os principais problemas estão relacionados com as características geológicas da ilha e ao desenvolvimento económico e social da ilha.

Durante décadas, os resíduos sólidos foram lançados diretamente sobre os terrenos sem tratamento adequado. O objetivo desta secção foi integrar dados relativos a EPT dos solos para estimar o risco cancerígeno e não cancerígeno para a saúde humana da comunidade local.

Os Índices de Risco cancerígenos para os dez elementos, estão representados na tabela 5.5. Os valores em negrito mostram IR superior á 1 e, portanto, destacam os elementos que têm potencial risco cancerígeno.

Tabela 5.5 - Quocientes de risco (QR) das várias vias de exposição aos EPT e Índice de risco (IR) resultante do somatório das diferentes vias de exposição.

	QR ingestão		QR dérmico		QR inalação		IR	
	Criança	Adulto	Criança	Adulto	Criança	Adulto	Criança	Adulto
As	1,94E+00	2,08E-01	5,44E-03	8,31E-04	1,09E-03	6,13E-04	1,95	0,00
Cd	7,20E-03	7,71E-04	8,06E-04	1,23E-04	2,01E-05	1,13E-05	0,01	0,00
Co	2,80E+00	3,00E-01	7,84E-03	1,20E-03	3,91E-03	2,21E-03	2,81	0,00
Cr	7,30E-01	7,83E-02	2,05E-03	3,12E-04	6,12E-04	3,45E-04	0,73	0,00
Cu	2,71E-02	2,90E-03	7,59E-05	7,59E-05	7,57E-07	4,27E-07	0,03	0,00
Hg	9,50E-04	9,50E-05	9,50E-07	7,80E-07			0,00	0,00
Mn	7,75E-01	8,30E-02	2,17E-03	3,31E-04	1,04E-02	5,86E-03	0,79	0,01
Ni	2,64E-01	2,82E-02	7,38E-04	1,13E-04	1,64E-03	9,23E-04	0,27	0,00
Pb	5,29E-02	5,67E-03	1,48E-04	2,26E-05	1,27E-06	7,14E-07	0,05	0,00
Zn	4,45E-03	4,77E-04	1,25E-05	1,90E-06	1,99E-02	7,01E-08	0,02	0,00

O IR para os adultos é inferior à 1 em todos os elementos analisados, para as crianças o IR é superior à 1 para o As (IR= 1.95) e Co (IR=2.81), indicando assim potencial risco não-cancerígeno. O valor de IR desses elementos é controlado principalmente pelo QR ingestão em que os valores também são superiores à 1 para esses dois elementos. A via oral é geralmente o principal modo de exposição aos EPT, seja pela alimentação, seja pelo consumo de água contaminada. Os índices de risco por ingestão tendem a ser superiores para as crianças pelo facto de levarem constantemente a mão à boca. A avaliação dos riscos à exposição dos elementos As, Cr, Ni e Cd por inalação, contacto dérmico e ingestão dos solos recolhidos na ilha do Sal, apresentam valores abaixo dos índices aceitáveis, pelo que nos dá a indicação de que não existe risco cancerígeno para os residentes da ilha.

Tabela 5.6 - Risco de câncer para os elementos As, Cd, Cr e Ni para a ilha do Sal.

	Criança	Adultos
As	2,46E-08	4,78E-08
Cd	1,05E-10	3,46E-10
Cr	2,15E-07	7,08E-07
Ni	1,06E-08	3,49E-08

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

A inexistência de dados geoquímicos de base que caracterizem o ambiente superficial da ilha do Sal (Cabo Verde) foi o ponto de partida deste projeto de Dissertação. Este estudo pretende estabelecer uma base de dados geoquímicos da ilha do Sal (Cabo Verde), produzir mapas geoquímicos que contribuam para a compreensão da variabilidade geoquímica dos elementos químicos. A informação disponibilizada fornece uma primeira análise da geoquímica do ambiente superficial da ilha do Sal e fornece valores que sirvam de apoio ao estabelecimento de critérios ambientais.

O principal objetivo deste trabalho, consistiu no estabelecimento de uma base de dados geoquímicos referentes a 37 elementos químicos da ilha do Sal (Cabo Verde). Para a realização do mesmo realizou-se uma colheita de 53 amostras que não abrangeu parte sul da ilha. Durante os processos de amostragem, preparação física das amostras e análises, seguiram-se as recomendações do IGCP 259 – “International Geochemical Mapping”.

A compilação de todos os dados obtidos culminou com a produção do Atlas Geoquímico dos Solos da ilha de Sal, tendo sido apresentado, para cada elemento químico, um conjunto de informação variada, nomeadamente, parâmetros estatísticos básicos gerais, "box-plots" e os mapas de distribuição espacial das variáveis Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sc, Sr, Se, Ti, Th, U, V, Zn e ainda do pH, condutividade eléctrica (CE) e matéria orgânica (MO). Os mapas foram elaborados utilizando o método de interpolação Inverse Distance Weighted (IDW). Não foi possível produzir os mapas geoquímicos dos elementos Au, B, Bi, S, Sb, Te, Tl e W.

Neste estudo estabeleceram-se relações entre os padrões geoquímicos dos elementos e as diferentes formações geológicas, tipo de solo e eventuais focos de poluição (agrícola, industrial, agropecuária, etc.). A partir dos valores de fundo geoquímicos estabelecidos para os solos da ilha do Sal calculou-se o Índice de Risco Ecológico e Índice de risco carcinogénico (RC) e não carcinogénico (IR). A cartografia destes índices permitiu evidenciar as zonas que apresentam um maior enriquecimento nos elementos considerados.

Além da compilação do mapa geoquímico da ilha do Sal, foi possível também chegar as seguintes conclusões:

A. Análise da cor do solo

- Os solos característicos dos Depósitos Recentes caracterizam-se pela dominância das cores castanhas e castanhas escuras.
- Os solos que sobrepõem a Formação Monte Grande apresentam cores mais variadas, desde vários tons de castanho, a cinzento e vermelho.
- Os solos que sobrepõem o Complexo Eruptivo Antigo apresentam cores em vários tons de castanho, e pontualmente vermelho.
- As amostras pertencentes ao Complexo Ponta do Altar-Baleia apresentam cores que variam de castanho a castanho-escuro e cores castanhas amareladas e castanhas acinzentadas,

B. Análise textural das amostras

- Verificou-se que as amostras pertencentes aos Depósitos Recentes apresentam a maior variação textural de entre as formações estudadas, variando de franco arenosa a franco argilosa.

- As amostras pertencentes ao Complexo Ponta do Altar-Baleia e a Formação Monte Grande apresentaram uma tendência muito parecida com texturas entre franco arenosa e areia franca. Destacou-se a alta percentagem de areia (80 %).
- As amostras representativas do Complexo Eruptivo Antigo apresentaram uma variação textural entre franco arenosa e franco argilosa arenosa.

C. Caracterização mineralógica das amostras de solos

- Os solos dos Depósitos Recentes distinguem-se dos solos associados às rochas vulcânicas por terem maior proporção relativa de quartzo e piroxena, minerais mais resistentes à meteorização e, no caso do quartzo, também poderá resultar do transporte vindo do Sahara e de outras ilhas.
- Complexo Ponta do Altar-Baleia: estes solos são constituídos fundamentalmente por quartzo e carbonatos e cerca de 15 % de filossilicatos
- Os solos da Formação Monte Grande são bastante enriquecidos em feldspato e quartzo.
- Os solos da Formação Complexo Ponta do Altar Baleia são bastante enriquecidos em piroxena e feldspatos.

D. Caracterização físico-química das amostras de solos

Os solos pertencentes ao Complexo Ponta do Altar-Baleia destacam-se dos demais por apresentarem a maior percentagem de elementos com os maiores valores de mediana em Ag, Au, Cd, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sc, Tl, V e Zn, e para os elementos Th e Ca com os valores de mediana mais baixos. A variável pH também apresenta o valor da mediana mais baixo.

Nos Depósitos Recentes encontramos os valores de condutividade muito elevados, quando comparados com os valores das outras formações, estes valores estarão provavelmente associados a intrusão salina.

A Análise de Componentes Principais (ACP) permitiu identificar as associações entre os diversos elementos químicos estudados (variáveis) e as correspondentes unidades geológicas. Os cinco eixos explicam 64 % da variância total. Da análise dos resultados destacaram-se as seguintes associações de variáveis:

- CP1: Fe, Co, Mn, Sc, Al, Zn, Ga, Ni, La em oposição às variáveis Ca, Sr, B e Se;
- CP2: Mg, Ni e Ti, em oposição às variáveis Bi, Tl; As, Pb, Sb, Ga;
- CP3: Au, La, P e U;
- CP4: Th, em oposição à variável Cd, Cr, P;
- CP5: CE e Na, em oposição pH.

O CP1 (Fe, Co, Mn, Ni, Zn e La), de origem geogénica, está associado aos minerais típicos que ocorrem nas rochas basálticas e seus produtos de alteração. Em oposição a esta associação, com valores negativos, ocorrem os elementos Ca e Sr, típicos das rochas sedimentares e evaporitos (o Sr é um elemento de substituição do Ca). Por outro lado, o CP2 associa positivamente o Mg, Ti e Ni (elementos também típicos das rochas basálticas e mesmo sedimentares, e sua meteorização), sugerindo também uma origem geogénica. Em oposição. A associação As, Pb, Sb e Bi, provavelmente refletindo uma associação de origem antropogénica. O CP3 associa positivamente: P, Au, La e U, evidenciando uma origem geogénica de elementos das rochas mais antigas da ilha como fonólitos, carbonatitos.

A avaliação do risco ecológico permitiu verificar que apenas os elementos As, Cd e Hg, ocorrem em classes de risco ecológico, e geralmente nas mesmas localizações, dando assim indicação da provável origem

antropogénica. A avaliação do risco ecológico potencial (PERI) aparenta a “força” do risco relativo ao Hg, e As na zona mais a Sul da ilha e do Cd mais a Norte.

Verificou-se que o Índice de Risco (IR) para os adultos é inferior à 1 em todos os elementos analisados, para as crianças o IR é superior à 1 para o As e Co, indicando assim potencial risco não cancerígeno. O valor de IR desses elementos é controlado principalmente pelo $QR_{\text{ingestão}}$ em que os valores também são superiores à 1 para esses dois elementos. A via oral é geralmente o principal modo de exposição aos EPT, seja pela alimentação, seja pelo consumo de água contaminada. Os índices de risco por ingestão tendem a ser superiores para as crianças pelo facto de levarem constantemente a mão à boca. Refira-se que existe ainda muitas estradas em terra, acentuando assim a interação das crianças na terra.

A avaliação dos riscos à exposição carcinogénica (RC) dos elementos As, Cr, Ni e Cd (elementos apresentados na OMS) por inalação, contacto dérmico e ingestão dos solos recolhidos na ilha do Sal, apresentam valores abaixo dos índices aceitáveis, pelo que nos dá a indicação de que não existe risco cancerígeno para os residentes da ilha.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, M.Y.; Watts A.B.; Hill I. (2003). A Seismic Reflection Profile Study of Lithospheric Flexure in the Vicinity of the Cape Verde Islands." *J. Geophysical Research*, 108.
- Alloway, B.J. (2013). Sources of heavy metals and metalloids in soils. Em Alloway, B. J. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3ª. ed.), United Kingdom, Springer.
- Alves, A.N.L.; Della Rosa, H. (2003). Exposição ocupacional ao cobalto: aspectos toxicológicos. *Rev. Bras. Ciênc. Farmacêuticas*, v. 39, n. 2, 129-139.
- Alves, C.A.M.; Macedo, J.R; Silva, C.L.; Serralheiro, A.; Peixoto, A.F. (1979). Estudo Petrológico e Vulcanológico da ilha de Santiago (Cabo Verde). *Garcia de Orta, Ser. Geol.*, Lisboa, 3 (1-2), 47 -74.
- Amaral, I. (1964). Santiago de Cabo Verde: a terra dos homens. Lisboa: Junta de investigação do Ultramar, 444 p. ISBN 9789899542532.
- Assunção, F. (1968). Geologia da Província de Cabo Verde. Curso de Geologia do Ultramar. Garcia da Orta, Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 2-52.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry (1999). Toxicological profile for Lead. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2005). Toxicological profile for Cobalt. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2008). Toxicological Profile for Manganese. U.S. Department of Health and Human Services.
- Azevedo, A.C. (2006). Solos e ambiente: uma introdução. Santa Maria: Pallotti.
- Azevedo, F.A. (2003). Toxicologia do mercúrio. São Paulo: Editora RIMA/Inter Tox, 272p.
- B.O da República Cabo Verde (2010). Boletim Oficial da República de Cabo Verde, I Série, 28.
- B.O da República Cabo Verde (2013). Boletim Oficial da República de Cabo Verde, I Série, 19.
- Baleno, I.C (1991-2002). Povoamento e formação da sociedade In Historia geral de Cabo Verde. Lisboa: Edição IICT e INPPCV 1, 125-177.
- Bebiano, J.B. (1932). A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde." Departamento das Comunidades dos Serviços Geológicos de Portugal.
- Berlin, M. (1986). Mercury. In: Handbook on the Toxicology of Metals, Friberg, L., Nordberg, G. F., Vouk, V. (Eds)., 2nd ed. New York. Elsevier Science Publishers BV, 345-387.
- Bradl, H.B. (2005). Heavy metals in the environment, London, Elsevier Ltd.
- Bremner, I., (1998). Manifestations of copper excess, *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 67, 1069S-1073S.
- Brindley, G.W.; Brown, G. (1980). Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification, Mineralogical Society, London, 131 pp.
- Burke, K.; Wilson, J.T. (1972). Is the African Plate Stationary, *Nature*, 239: 387-390.
- Cabral Pinto, M.; Ferreira da Silva, E.A. (2019). Heavy Metals of Santiago Island (Cape Verde) alluvial deposits: Baseline value maps and human health risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1), 2.
- Cabral Pinto, M.; Ferreira da Silva, E.A. (2019). Heavy Metals of Santiago Island (Cape Verde) alluvial deposits: Baseline value maps and human health risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16.1: 2.
- Cabral Pinto, M.; Marinho-Reis, P.; Almeida, A.; Pinto, E.; Neves, O.; Inácio, M., ... ; Moreira, P.I. (2019b). Links between cognitive status and trace element levels in hair for an environmentally exposed population: A case study in the surroundings of the estarreja industrial area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4560.
- Cabral Pinto, M.; Silva, M.; Ferreira da Silva, E.A.; Marinho-Reis, A.P. (2017). The cancer and non-cancer risk of Santiago Island (Cape Verde) population due to potential toxic elements exposure from soils. *Geosciences*, 7(3), 78.
- Cabral Pinto, M.M.S.; Marinho-Reis, A.P.; Almeida, A.; Freitas, S.; Simões, M.R.; Diniz, M.L., ... ; Moreira, P.I. (2019). Fingernail trace element content in environmentally exposed individuals and its influence on their cognitive status in ageing. *Exposure and Health*, 11(3), 181-194.
- Cabral Pinto, M.M.S.; Marinho-Reis, A.P.; Almeida, A.; Ordens, C.M.; Silva, M.M.; Freitas, S., ... ; de Melo, M.T.C. (2018). Human predisposition to cognitive impairment and its relation with environmental exposure to potentially toxic elements. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(5), 1767-1784.

- Cabral Pinto, M.M.S.; Ordens, C.M.; de Melo, M.T.C.; Inácio, M.; Almeida, A.; Pinto, E.; da Silva, E.A.F. (2019a). An inter-disciplinary approach to evaluate human health risks due to long-term exposure to contaminated groundwater near a chemical complex. *Exposure and Health*, 1-16.
- Cabral Pinto, M.M.S.; Silva, M.M.; da Silva, E.A.F.; Dinis, P.A.; Rocha, F. (2017). Transfer processes of potentially toxic elements (PTE) from rocks to soils and the origin of PTE in soils: A case study on the island of Santiago (Cape Verde). *Journal of Geochemical Exploration*, 183, 140-151.
- Cabral Pinto, M.S.; da Silva, E.F.; Silva, M.M.V.G.; Melo-Gonçalves, P. (2015). Heavy metals of Santiago Island (Cape Verde) topsoils: Estimated background value maps and environmental risk assessment. *Journal of African Earth Sciences*, 101, 162-176.
- Cabral-Pinto, M.M.; Inácio, M.; Neves, O.; Almeida, A.A.; Pinto, E.; Oliveiros, B.; da Silva, E.A.F. (2020). Human health risk assessment due to agricultural activities and crop consumption in the surroundings of an industrial area. *Exposure and Health*, 12(4), 629-640.
- CCME-Canadian Council of Ministers of the Environment (1999). Lead. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health, 10p.
- Chao, T.T.; Sanzolone, R.F. (1992) – Decomposition techniques. *Journal of Geochemical Exploration*, 44, 1-3, 65-106.
- Cleland, T.M. Practical description of the Munsell color system, with suggestions for its use. 1921.
- Cotton, F.A.; Wilkinson, G.; Murillo, C.A; Bochmann, M. (1999). *Advanced Inorganic Chemistry*. Sixth edition. Jonh Wiley & Sons, Inc., USA, 1355p.
- Courtney, R.C.; White, R.S. (1986). Anomalous Heat Flow for Dynamic Support from a Thermal Plume in the Mantle.” *Geophysics Journal R. Astron. Society* 87, 815-867.
- Crough, S. (1978). Thermal Origin of Mid-plate Hot-Spot Swells.” *Geophysical Journal International* 55 (2), 451-469.
- Csuros, M.; Csuros, C. (2000) –Environmental sampling and analysis for metals. Lewis Publishers, USA, 372p.
- Dalmolin, R.S.D. et al. (2005). Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência Rural*. Santa Maria 35 (2), 481-489.
- Darnley, A.G.; Björklund, A.; Bølviken, B.; Gustavsson, N.; Koval, P.V.; Plant, J.A.; Steenfelt, A.; Tauchid, M.; Xie Xuejing (1995). A Global Geochemical Database for Environmental And Resource Management. Recommendations for international geochemical mapping. Final report of IGCP project 259. UNESCO Publishing.
- Dinis, A.C.; Matos, G.C. (1993). Carta de zonagem agroecológica e da vegetação de Cabo Verde: Ilha do Sal. Lisboa, 9-30.
- Doležalová Weissmannová, H.; Mihočová, S.; Chovanec, P.; Pavlovský, J. (2019). Potential ecological risk and human health risk assessment of heavy metal pollution in industrial affected soils by coal mining and metallurgy in Ostrava, Czech Republic *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(22), 4495
- dos Santos, V.; Varón-López, J.; Fonsêca, C.; Lopes, P.; Siqueira, J.; de Souza, F. (2016). Biological attributes of rehabilitated soils contaminated with heavy metals. *Environmental Science and Pollution Research* 23, 6735-6748.
- Duncan, R. A. (1981). Hotspots in the southern oceans—an absolute frame of reference for motion of the Gondwana continents. *Tectonophysics*, 74(1-2), 29-42.
- EMBRAPA (2013). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa Solos, 353 p.
- Environment Agency, (2009). Contaminants in soil: updated collation of toxicological data and intake values for humans. Nickel. Science Report SC050021/SR TOX8. Bristol: Environment Agency, 10p.
- Fernandez, R.N.; Schulze, D.G. (1992). Munsell colors of soils simulated by mixtures of Goethita and Hematita with kaolinite. *Zeitschrift. Pflanzenernähr Bodenk* 155, 473-478.
- Ferreira, A.M. (2000). Dados geoquímicos de base de sedimentos fluviais de amostragem de baixa densidade de Portugal Continental: Estudo de factores de variação regional. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.
- Frizzo, S.J; Licht, O.A.B. (2007). Estatística uni e bivariada aplicadas à prospecção geoquímica. In: Licht, O.A.B., Mello, C.S.B & Silva, C.R. (Eds). *Prospecção Geoquímica de Depósitos Mineraias Metálicos e não metálicos, óleo e gás*. SBGq/CPRM. Rio de Janeiro, 20, 619-660.
- Gomes, C. (1979). Raios X no estudo de minerais. Universidade de Aveiro, 216 p
- Greenwood, N.N.; Earnshaw, A., (1997). Zinc, cadmium and mercury. *Chemistry of the Elements* 29, 1201–1226.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research* 14(8), 975-1001.
- Heleno, S. (2003). O Vulcão do Fogo. Estudo Sismológico. Coleção: Teses. Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento, Lisboa, 463p.

- Hernández, J.R.; José Bonete, M.; Martínez-Espinosa, R.M. (2015). Propuesta de una nueva clasificación de los oligoelementos para su aplicación en nutrición, oligoterapia, y otras estrategias terapéuticas. *Nutricion Hospitalaria* 31 (3), 1020–1033. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.3.8325>
- Hoernle, K.; Tilton, G.; Le Bas, M.; Duggen, S.; Garbe-Schönberg, D. (2001). Geochemistry of oceanic carbonatites compared with continental carbonatites: mantle recycling of oceanic crustal carbonate. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 142, 520-542.
- Holm, P.; Wilson, J.; Christensen, B.; Hansen, L.; Hansen, S.; Hein, K.; Mortensen, A.; Pedersen, R.; Plesner, S.; Runge, M. (2006). Sampling the Cape Verde mantle plume: evolution of melt compositions on Santo Antão, Cape Verde islands. *Journal of Petrology* 47 (1), 145-189
- Holm, P.M.; Grandvuinet T.; Friis J.; Wilson J.R.; Barker A.K.; Plesner S. (2008). An 40Ar-39Ar Study of the Cape Verde Hot-Spot: Temporal Evolution in a Semistationary Plate Environment." *Journal of Geophysical Research* 113.
- Hu, B.; Li, G.; Li, J.; Bi, J.; Zhao, J.; Bu, R. (2013). Spatial distribution and ecotoxicological risk assessment of heavy metals in surface sediments of the southern Bohai Bay, China. *Environmental Science and Pollution Research* 20 (6), 4099-4110.
- IARC-International Agency for Research on Cancer (1990). Chromium, Nickel and Welding. In *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*; IARC: Lyon, France, 49.
- Inácio Ferreira, M.M.S. (2004). Dados geoquímicos de base de solos de Portugal Continental, utilizando amostragem de baixa densidade. Tese de Doutoramento em Geociências, Universidade de Aveiro, 286pp.
- Instituto Nacional Estatística, 2000.
- Instituto Nacional Estatística, 2010.
- International Agency for Research on Cancer Working group on the Evaluation of Carcinogenic risks to Humans (2004). Some drinking-water disinfectants and contaminants, including arsenic. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 84, 1-477.
- IPCS-International Programme on Chemical Safety (2001). Arsenic and arsenic compounds. *Environmental Health Criteria* 224. Geneva
- IRIS - Integrated Risk Information System, 2019. <https://www.epa.gov/iris/reference-dose-rfd-description-and-use> health-risk-assessments. Acedido em setembro 2019
- Islam, M.S.; Ahmed, M.K.; Habibullah-Al-Mamun, M.; Raknuzzaman, M. (2015). Trace elements in different land use soils of Bangladesh and potential ecological risk. *Environmental Monitoring and Assessment* 187 (9), 1-11.
- Islam, S.; Ahmed, K.; Masunaga, S. (2015). Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh. *Science of the Total Environment* 512, 94-102.
- Ji, Y.; Feng, Y.; Wu, J.; Zhu, T.; Bai, Z.; Duan, C. (2008). Using geoaccumulation index to study source profiles of soil dust in China. *J. Environ. Sci.* 20, 571–578.
- Johnson, R.A.; Wichern, D.W. (1998). *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Fourth Edition. Prentice-Hall, New Jersey, 816 pp.
- Johnson, R.K.; Wiederholm, T., Rosemberg, D.M. (1998). Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations and species assemblages of benthic macroinvertebrates. Pp. 40-105. In: D.M. Rosemberg & V.H. Resh. (eds.). *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York, 488p.
- Jolliffe, I. (1986). *Principal component analysis*. New York, Springer-Verlag. 271 p.
- Jolliffe, I.T. (1990). *Principal Component Analysis: A beginner's guide - I. Introduction and application*. *Weather* 45, 375–382.
- Jolliffe, I.T. (1993). *Principal Component Analysis: A beginner's guide - II. Pitfalls, myths and extensions*. *Weather* 48, 246–253.
- Jorgensen, J.O.; Holm P.M. (2002). Temporal Variation and Carbonatete Combination in Primitive Ocean Islands from São Vicente, Cape Verde Islands." *Chem. Geology* 192, 249-267.
- José, F. (2012). Evaluación preliminar de riesgos para la salud humana por metales pesados en las bahías de Buenavista y San Juan de los Remedios, Villa Clara, Cuba.
- Klaassen, C.D. (1991). Metais Pesados e seus Antagonistas. In: GILMAN, A. Goodman et al. *As bases farmacológicas da terapêutica*. 8.Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1061-1065.
- Kogarko, L.N.; Ryabukhin V.A.; Volynets. M.P. (1992). Cape Verde Islands Carbonatite Geochemistry. *Geochem. International* 29, 62-74.
- Kumar, A. et al. (2020). Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17.7, 2179.
- Kumar, et al (2021) A., Jigyasu, D. K., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Shabnam, A. A., Cabral-Pinto, M. M. S., ... & Bhatia, A. (2021).
- Lancelot et al., (1997) in Mota Gomes & Pina, 2003
- LeBas, M.J. (1980). Alkaline magmatism and uplift of continental crust. *Proc. Geol. Assoc. London*, 91, 33-38.

- Lima, L. (2008). Áreas Protegidas e/ou Zonas de Desenvolvimento Turístico em Cabo Verde- O caso da Boa Vista. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências das Zonas Costeiras, Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento.
- Lima, L.L.; Lima, L.P.; Ferreira, R.L. (2013). Manganês: Importância e problemas associados. (AQB)– Associação Brasileira de Química. Rio de Janeiro: 53º Congresso Brasileiro de Química.
- Losada-Lima, A. (1987-88). Algunas consideraciones sobre la brioflora macaronésica. *Lazaroa* 10, 213-218.
- Maanan, M.; Saddik, M.; Maanan, M.; Chaibi, M.; Assobhei, O.; Zourarah, B. (2015). Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. *Ecological Indicators* 48, 616-626.
- Madeira, J.; Mata, J.; Mourão, C.; Brum da Silveira, A.; Martins, S.; Ramalho, R.; Hoffmann, D. (2010). Volcano-stratigraphic and structural evolution of Brava Island (Cape Verde) based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, U/Th and field constraints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 196, 219-235.
- Mata, J.; Moreira, M.; Doucelance, R.; Ader, M.; Silva, L. (2010). Noble gas and carbon isotopic signatures of Cape Verde oceanic carbonatites: Implications for carbon provenance. *Earth and Planetary Science Letters* 291, 70-83.
- Mata, J.; Torres P.C.; Munhá J.; Mendes M.H.; Silva L.C. (1999). Tectonic Controls on the Geochemistry of Sal Island (Cape Verde). European Union of Geosciences, Strasbourg, France: Abstract Volume, 348.
- Monzón-Argüello, C.; Rico, C.; Naro Maciel, E.; Varo-Cruz, N.; López, P.; Marco, A.; López-Jurado, L.F. (2010). Population structure and Conservation implications for the loggerhead sea turtle of the Cape Verde islands. *Conservation Genetics*. 11: 1871-1884.
- Mota Gomes, A. (1999). Análise de Resultados – Proteção de Ambiente, Gestão dos Recursos Naturais, Luta contra a Pobreza. Relatório inédito, Praia
- Mota Gomes, A. (2007). Hidrologia e Recursos Hídricos da Ilha de Santiago (Cabo Verde) - Tese de Doutoramento, Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.
- Mota Gomes, A.; Pereira J.M.; Cabral J.A.; Afonso C.B.; Carvalho J.N. (2009). Quadro Estratigráfico Comparativo da Geologia das Ilhas da República de Cabo Verde.” UNICV.
- Mota Gomes, A.; Pina, A.L. (2003). Recursos Naturais de Cabo Verde – sua exploração numa perspectiva de desenvolvimento sustentável. Relatório inédito, Tarrafal.
- Mourão, C.; Mata, J.; Doucelance, J.; Madeira, J.; Silveira, A.; Silva, L.; Moreira, M., (2010a). Quaternary extrusive calcicarbonatite volcanism on Brava Island (Cape Verde). *Journal of African Earth Sciences* 56 (2-3), 59-74.
- Nava-Ruiz, C.; Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16 (3), pp.140 147.
- Neto, M.M.J. (2004). Estatística multivariada. Revista de Filosofia e Ensino. Documento disponível em: http://www.criticanarede.com/cien_estadistica.html.
- Oorts, K. (2013). Copper. Em Alloway, B. J. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3ª. ed.), United Kingdom, Springer.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2002). Programa de Desarrollo Sostenible de la Región de la Mojana. Toxicología Ambiental. Bogotá.
- Pérez López, C. (2004). Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS, Madrid, Universidad Complutense de Madrid. Pearson Prentice Hall.p. 121-154
- Perk, M. van der (2006). Soil and water contamination: from molecular to catchment scale, Netherlands, Taylor & Francis.
- Pin, J.; Pierce C.; Watts, A.B.; Grevemeyer, J.; Krabbenhoft, A. (2008). Crustal Structure and Origin of the Cape Verde Rise.” *Earth Planet Science Letter* 272, 422-428.
- Pinto, M.M.S.C., et al. (2001). Mineralizações uraníferas no Vale de Abrutiga e estudo do impacto ambiental da sua exploração.
- Prasad, S.; Yadav, K.K.; Kumar, S.; Gupta, N.; Cabral-Pinto, M.M.; Rezanía, S.; Alam, J. (2021). Chromium contamination and effect on environmental health and its remediation: A sustainable approaches. *Journal of Environmental Management*, 285, 112174.
- Pollitz, F. F. (1991). Two-stage model of African absolute motion during the last 30 million years. *Tectonophysics*, 194(1-2), 91-106.
- Ramalho, R. et al. (2010). Why Have the Old Cape Verde Islands Remained Above Sea-level? Insights Field Data and Wave Erosion Modeling.”???????????
- Ramalho, R., Helffrich, G., Cosca, M., Vance, D., Hoffmann, D., & Schmidt, D. N. (2010). Episodic swell growth inferred from variable uplift of the Cape Verde hotspot islands. *Nat. Geosci.*, 3(11), 774-777.
- Ramalho, R. A. (2011). Building the cape verde Islands. Springer Science and Business Media.
- Reimann, C.; Caritat P. (1998). Chemical elements in the environment. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York, 398.

- Reimann, C.; Caritat, P.; Niskavaara, H.; Finne, F.E.; Kashulina, G.; Pavlov, V.A. (1998). Comparison of elemental contents in O- and C-horizon soils from the surroundings of Nikel, Kola Peninsula, using different grain size fractions and extractions. *Geoderma* 84(1-3), 5-87.
- Roberts C.M.; McClean C.J.; Veron J.E.N. et al. (2002) Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science* (New York, N.Y.) 295, 1280-4.
- Rose, A.W.; Hawkes, E.H., Webb, J.S. (1979). *Geochemistry in mineral exploration*. Second Edition. Academic Press, London.
- Ross, S. M. (1994). Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. Em Ross, S. M. *Toxic metals in soil-plant systems*, England, Wiley.
- Ruelas-Inzunza, J.; Páez-Osuna, F.; García-Flores, D.; Cabral Pinto, MMS, et al. (2015). Heavy metals of Santiago Island (Cape Verde) top soils: Estimated background value maps and environmental risk assessment. *Journal of African Earth Sciences* 101, 162-176.
- Sakuma, A.M.; Decapitani, E. M.; Tiglia, P. Arsênio. In: Azevedo, F.A.; Chasin, A. A. M. (2003). *Metais: Gerenciamento da toxicidade*. São Paulo: Atheneu Editora, 554p.
- Salminen, R., Tarvainen, T., Demetriades, A., Duris, M., Fordyce, F., Gregorauskiene, V., Kahelin, H., Kivisilla, J., Klaver, G., Klein, H., Larson J.O., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mjartanova, H., Mouvet, C., O'Connor, P., Odor, L., Ottonello, G., Paukola, T., Plant, J.A., Reimann, C., Schermann, O., Siewers, U., Steenfelt, A., Van der Sluys, J., Williams L. (1998). *FOREGS geochemical mapping field manual*. Geological Survey of Finland, Guide 47, 36 pp. (www.gsf.fi/info/for_htm.pdf).
- Santos, R.D. dos et al. (2005). *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Viçosa. SBRS/EMBRAPA/CNPQ.
- Schaetzl, R.; Anderson, S. (2005). *Soils: genesis and geomorphology*. Cambridge University Press.
- Schwertmann, U. (2008). Iron oxides. In: *Encyclopedia of soil science*. Springer Netherlands, 363-369.
- Semedo, J.M. (2004). O Parque Natural da ilha do Fogo, Cabo Verde – Subsídios para a sua gestão e seu desenvolvimento. Dissertação de mestrado em Gestão e Auditoria Ambiental, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Fundacion Universitaria Iberoamericana, España/Brasil, 160p.
- Serralheiro, A. (1970). *A Geologia da Ilha do Maio*. Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa.
- Serralheiro, A. (1976). *A Geologia da Ilha de Santiago*. Tese de Doutoramento. Lisboa.
- Silva J.A. (2003). Estudo da Relação entre as Concentrações Ambientais das Névoas de Ácido Crômico em Processo de Eletrodeposição de Cromo Duro e a Eficácia de Três Diferentes Sistemas de Proteção Coletiva. Dissertação Mestrado em Saúde Ambiental. São Paulo: Universidade de São Paulo, 137 p.
- Silva, L.; Le Bas, M.; Robertson, A., (1981). An oceanic carbonatite volcano on Santiago, Cape Verde Islands. *Nature*, 294 (5842), pp. 644-645
- Silva, L.C. (2008). Alguns aspectos da geologia das ilhas de Cabo Verde. Seminários. Departamento de Geologia Marinha/ INETI, (Alfragide), Lisboa.
- Silva, L.C. (2008). Alguns Aspectos da Geologia de Cabo Verde - Seminários. Departamento de Geologia Marinha/INETI (Alfragide), Lisboa.
- Silva, M.C.R. (2003). Impacto Ambiental da Actividade Agrícola e Industrial na Várzea de Loures: Hidrosfera e Pedosfera. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geoquímica. Universidade de Lisboa, Lisboa, 338 pp.
- Silva, M.M.V.G.; Cabral-Pinto, M.M.S.; Dinis, P. (2021). Geochemistry of subtropical arenosols from Kuito region (Angola). Urbanization effects and environmental implications. *Journal of African Earth Sciences*, 104307.
- Silveira, A.B. (2006). Vulcanismo de Cabo Verde. Enquadramento geotectónico, morfologia, estrutura e estratigrafia da Ilha do Fogo. 4ª Jornadas Internacionais de Vulcanologia da Ilha do Pico, Açores.
- Simonson, R.W. (1993). Soil color standards and terms for field use—history of their development. *Soil Color*, n. soilcolor,1-20.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF (1993). *Soil survey manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
- Steinnes, E. (2013). Lead. In Alloway, B. J. *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (3ª. ed.), United Kingdom, Springer.
- Stillman, C.J.; Furnes H.; Le Bas M.J.; Robertson A.H.F.E.; Zileonka J. (1982). The Geological History of Maio, Cape Verde Island." *Journal of Geological Society of London*.
- Teixeira, A.J.S.; Barbosa, L.A.G. (1958). *A Agricultura do Arquipélago de Cabo Verde*." Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa.
- Thompson, M. (1983). Analytical methods in applied environmental geochemistry. In *Applied Environmental Geochemistry*. Academic Press, London, 75-101.
- Torres, P. C.; Silva, L.C.; Serralheiro, A.; Mendes, M.H.; Macedo, J.R.; Mota Gomes, A. (2002). *Geologia da Ilha do Sal*. Com. IICT, Série de Ciências da Terra, Ministério da Ciência e do Ensino Superior e Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia, Lisboa, 57p.

USDE-U.S. Department of Energy (2013). The Risk Assessment Information System (RAIS); U.S. Department of Energy's Oak Ridge Operations Office: Oak Ridge, TN, USA, 2013. Disponível em <https://rais.ornl.gov/> (accessed on 4 September 2018)

USEPA- United States Environmental Protection Agency (2001). Risk assessment guidance for superfund (RAGS), vol III—Part A, process for conducting probabilistic risk assessment, Office of emergency and remedial response, Washington, DC. Vol.14, No.4.

USEPA-United States Environmental Protection Agency (2011). Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final); United States Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA. Disponível em <http://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252> (accessed on 18 September 2018).

Varenes, A. (2003). *Produtividade dos solos e ambiente*, Lisboa, Escolar Editora.

Wallace, B.P., DiMatteo,A.D., Hurley, J.B., Finkbeiner, E.M., Boltzen, A.B., Chaloupka, M.Y., Hutchinson, B.J., Abreu-Grobois, F.A., Amorocho, D., Bjornal, K.A., Bourjea, J., Bowen, B.W., Dueñas, R.B., CasaleP., Choudhury, B.C., Costa, A., Dutton, P.H., Fallabrino, A., Gerard,A., Gerondot, M., Godfrey, M.H., Hamann, M., Lopez- Mendilaharsu, M., Marcovaldi, M.A., Mortimer, J.A., Musick, J.A., Nel, R., Pilcher, N.J., Seminoff, A., Troeng, S., Witherington, B.& Mast, R.B. (2010). Regional Management Units for Marine Turtles: a Novel Framework for Prioritizing Conservation and Research Across Multiple Scales. *PLoS ONE*. 5/(12). E15465.

White, R.S.; McKenzie, D. (1989) Magmatism at Rift Zones the Generation of Volcanic Continental Margins and Flood Basalts. *Journal of Geophysical Research* 94, 7685-7730.

WHO-World Health Organization (1981). International Programme on Chemical Safety (IPCS). Environmental Health Criteria 17: Manganese [monografia na internet]. Geneva: World Health Organization

WHO-World Health Organization (1989). Mercury: environmental aspects. Geneva. Environmental Health Criteria, 86-115.

WHO-World Health Organization (2004). Copper in drinking-water -WHO Guidelines for Drinking-Water Quality, Geneva, World Health Organization

Williams, C.; Hill, I.; Young, R.; White, R. (1990). Fracture zones across the Cape Verde Rise, NE Atlantic. *J. Geol. Soc. London* 147: 851-857.

Wu, J.; Lu, J.; Li, L.; Min, X.; Luo, Y. (2018). Pollution, ecological-health risks, and sources of heavy metals in soil of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Chemosphere* 201, 234-242.

Zatta, P.; Lucchini, R.; van Rensburg, S. J; Taylor, A. (2003). The role of metals in neurodegenerative processes: aluminum, manganese, and zinc. *Brain research bulletin*, 62(1), 15-28.

Zhao, H.; Xia, B.; Fan, C.; Zhao, P.; Shen, S. (2012). Human health risk from soil heavy metal contamination under different land uses near Dabaoshan Mine, Southern China. *Science of the Total Environment*, 417-418, 45-54.

Zukowska, J.; Biziuk, M. (2008). Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake. *Journal of Food Science* 73 (2), R21-R29.

ANEXO 1

Amostra	Formação	Cor do manual	
1	Depósitos Recentes	7.5YR/4/2 Brown (Seco)	Catanho
		7.5YR 3/2 castanho escuro (Húmido)	Castanho escuro
2	Formação Monte Grande	10YR/4/4 Dark yellowish brown (Seco)	Castanho amarelado escuro
		10YR 3/2 Very dark grayish brown (Húmido)	Castanho cinzento muito escuro
3	Formação Monte Grande	2.5Y/5/2 Grayish brown (Seco)	Castanho acinzentado
		2.5YR 2.5/1 Reddish black (Húmido)	Preto avermelhado
4	Formação Monte Grande	10YR 4/2 Dark grayish brown (Seco)	Castanho acinzentado escuro
		10YR 3/2 Very dark grayish brown (Húmido)	Castanho cinzento muito escuro
5	Depósitos Recentes	10YR 4/3 Brown (Seco)	Castanho
		10YR 3/2 Very dark grayish brown (Húmido)	Castanho cinzento muito escuro
6	Formação Monte Grande	5YR 4/6 Yellowish red (Seco)	Vermelho amarelado
		5YR 4/4 Reddish brown (Húmido)	Castanho avermelhado
7	Formação Monte Grande	10YR 4/3 Brown (Seco)	Castanho
		10YR 3/2 Very dark grayish brown (Húmido)	Castanho cinzento muito escuro
8	Formação Monte Grande	2.5YR 3/4 Dusky red (Seco)	Vermelho escuro
		2.5YR 3/3 Dusky red (Húmido)	Vermelho escuro
9	Formação Monte Grande	10YR 6/4 -Light yellowish brown (Seco)	Castanho ligeiramente amarelado
		10YR 4/4 Dark yellowish brown (Húmido)	Castanho amarelado escuro
10	Depósitos Recentes	10YR 4/4 Dark yellowish brown (Seco)	Castanho amarelado escuro
		10YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
11	Formação Monte Grande	10YR 4/4 Dark yellowish brown (Seco)	Castanho amarelado escuro
		10YR 4/2 Dark grayish brown (Húmido)	Castanho acinzentado escuro
12	Depósitos Recentes	10YR 4/3 Brown (Seco)	Castanho
13	Depósitos Recentes	5YR 3/2 Dark reddish brown (Seco)	Castanho avermelhado escuro
		5YR 2.5/2 Very dark brown (Húmido)	Castanho muito escuro
14	Formação Monte Grande	10YR 5/4 Yellowish Brown (Seco)	Castanho amarelado
		10YR 4/3 Brown (Húmido)	Castanho
15	Formação Monte Grande	10YR 3/3 Dark brown (Seco)	Castanho escuro
		7.5YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro

Amostra	Formação	Cor do manual	
16	Formação Monte Grande	7.5YR 3/2 Dark brown (Seco)	Castanho escuro
		7.5YR 2.5/2 Very dark brown (Húmido)	Castanho muito escuro
17	Formação Monte Grande	10YR/5/3 Pale Brown (Seco)	Castanho pálido
		10YR 4/3 Brown (Húmido)	Castanho
18	Formação Monte Grande	10YR 5/3 Pale Brown (Seco)	Castanho pálido
		10YR 4/2 Dark grayish brown (Húmido)	Castanho acinzentado escuro
19	Complexo Eruptivo Antigo	10YR 3/3 Dark brown (Seco)	Castanho escuro
		7.5YR 2.5/2 Very dark brown (Húmido)	Castanho muito escuro
20	Formação Monte Grande	10YR 4/3 Brown (Seco)	Castanho
		10YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
21	Complexo Eruptivo Antigo	10YR 3/4 Dark yellowish brown (Seco)	Castanho amarelado escuro
		7.5YR 3/2 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
22	Formação Monte Grande	10YR 5/2 Grayish brown (Seco)	Castanho acinzentado
		10YR 2/1 Black (Húmido)	Preto
23	Depósitos Recentes	7.5YR 4/3 Brown (Seco)	Castanho
		7.5YR 2.5/2 Very dark brown (Húmido)	Castanho muito escuro
24	Complexo Eruptivo Antigo	7.5YR 3/4 Dark brown (Seco)	Castanho escuro
		7.5YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
25	Complexo Eruptivo Antigo	10YR 4/2 Dark grayish brown (Seco)	Castanho acinzentado escuro
		10YR 3/1 Very dark gray (Húmido)	Cinzentado muito escuro
26	Complexo Eruptivo Antigo	7.5YR 4/4 Brown (Seco)	Castanho
		7.5YR 3/4 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
27	Depósitos Recentes	7.5YR 4/6 Strong brown (Seco)	Castanho Forte
		7.5YR 3/4 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
28	Depósitos Recentes	7.5YR 5/6 Strong brown (Seco)	Castanho Forte
		7.5YR 4/4 Brown (Húmido)	Castanho
29	Complexo Eruptivo Antigo	5YR 4/4 Reddish brown (Seco)	Castanho avermelhado
		5YR 3/4 Dark reddish brown (Húmido)	Castanho avermelhado escuro
30	Depósitos Recentes	10YR 5/4 Yellowish Brown (Seco)	Castanho amarelado
		10YR 4/2 Dark grayish brown (Húmido)	Castanho acinzentado escuro

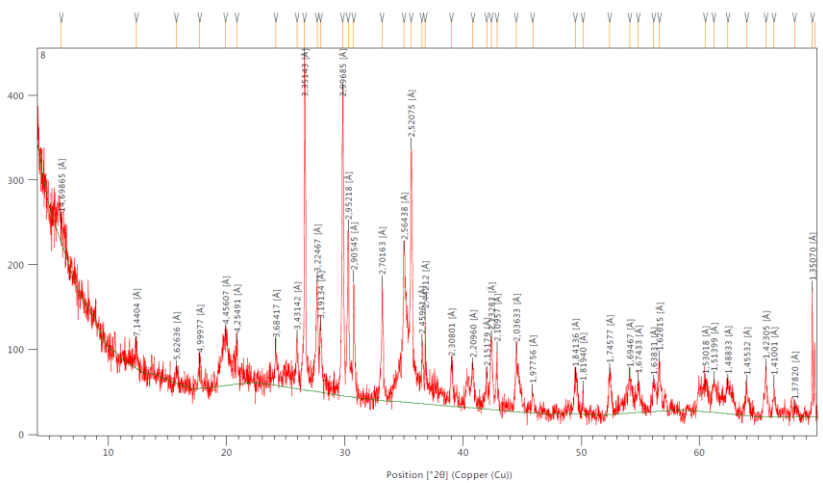
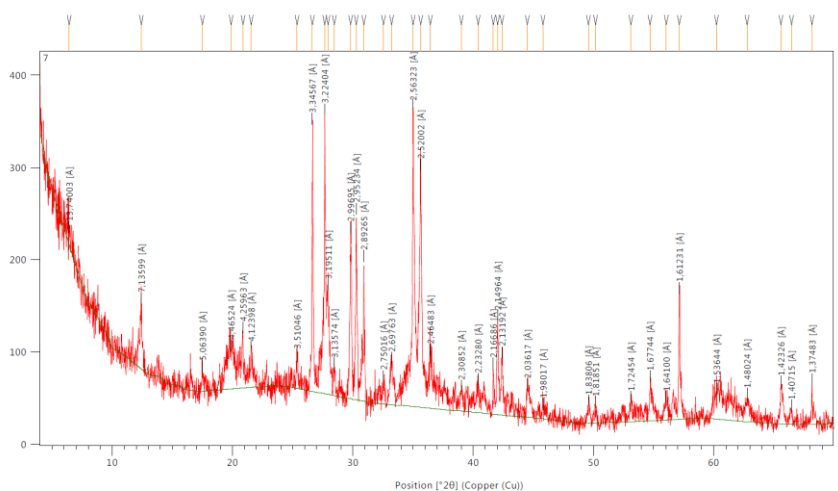
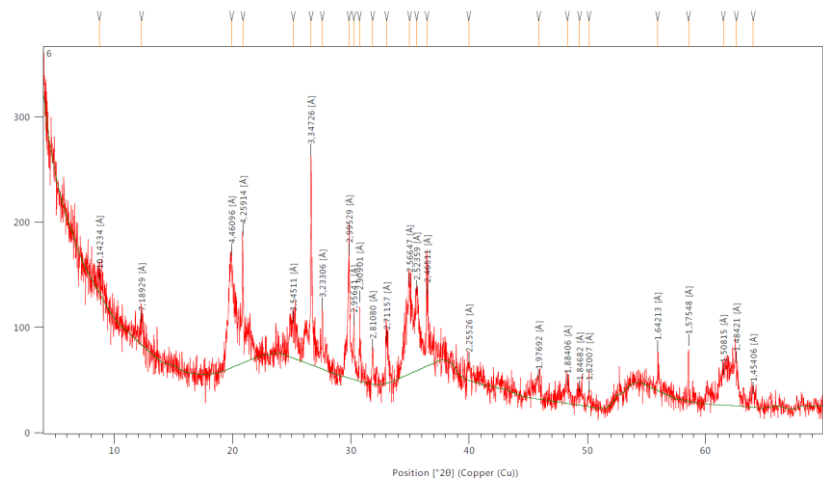
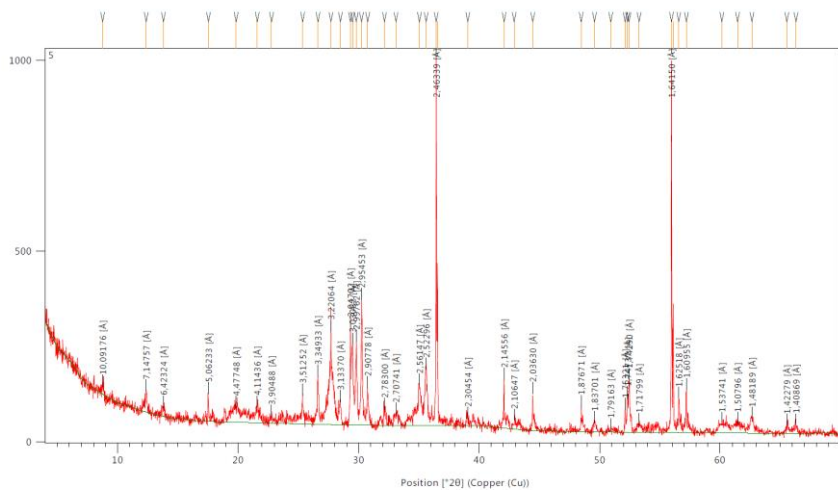
Amostra	Formação	Cor do manual	
31	Formação Monte Grande	2.5Y 8/3 Pale yellow (Seco)	Amarelo pálido
		2.5YR 7/4 Pale red (Húmido)	Vermelho pálido
32	Formação Monte Grande	10YR 4/2 Dark grayish brown (Seco)	Castanho acinzentado escuro
		10YR 3/2 Very dark grayish brown (Húmido)	Castanho cinzento muito escuro
33	Formação Monte Grande	5YR 4/6 Yellowish red (Seco)	Vermelho amarelado
		5YR 3/3 Dark reddish brown (Húmido)	Castanho avermelhado escuro
34	Depósitos Recentes	2.5Y 6/2 Light brownish gray (Seco)	Cinzento acastanhado escuro
		2.5Y 4/3 Olive brown (Húmido)	Castanho esverdeado
35	Depósitos Recentes	10YR 4/3 Brown (Seco)	Castanho
		10YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
36	Depósitos Recentes	10YR 3/2 Very dark grayish brown (Seco)	Castanho cinzento muito escuro
		10YR 2/1 Black (Húmido)	Preto
37	Depósitos Recentes	10YR 5/3 Pale Brown (Seco)	Castanho pálido
		10YR 3/4 Dark yellowish brown (Húmido)	Castanho amarelado escuro
38	Formação Monte Grande	10YR 4/2 Dark grayish brown (Seco)	Castanho acinzentado escuro
		10YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
39	Complexo Ponta do Altar-Baleia	10YR 4/4 Dark yellowish brown (Seco)	Castanho amarelado escuro
		10YR 3/4 Dark yellowish brown (Húmido)	Castanho amarelado escuro
40	Complexo Ponta do Altar-Baleia	10YR 4/3 Brown (Seco)	Castanho
		10YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
41	Depósitos Recentes	10YR 5/3 Brown (Seco)	Castanho
		10YR 3/2 Very dark grayish brown (Húmido)	Castanho cinzento muito escuro
42	Complexo Ponta do Altar-Baleia	10YR 4/4 Dark yellowish brown (Seco)	Castanho amarelado escuro
		10YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
43	Complexo Ponta do Altar-Baleia	10YR 3/3 Dark brown (Seco)	Castanho escuro
		10YR 3/2 Very dark grayish brown (Húmido)	Castanho cinzento muito escuro
44	Complexo Eruptivo Antigo	7.5YR 4/3 Brown (Seco)	Castanho
		7.5YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
45	Depósitos Recentes	10YR 3/3 Dark brown (Seco)	Castanho escuro
		10YR 3/2 Very dark grayish brown (Húmido)	Castanho cinzento muito escuro

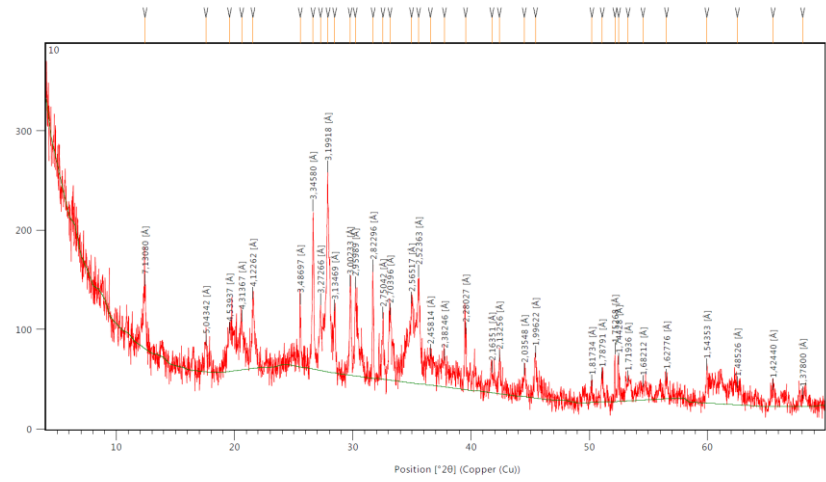
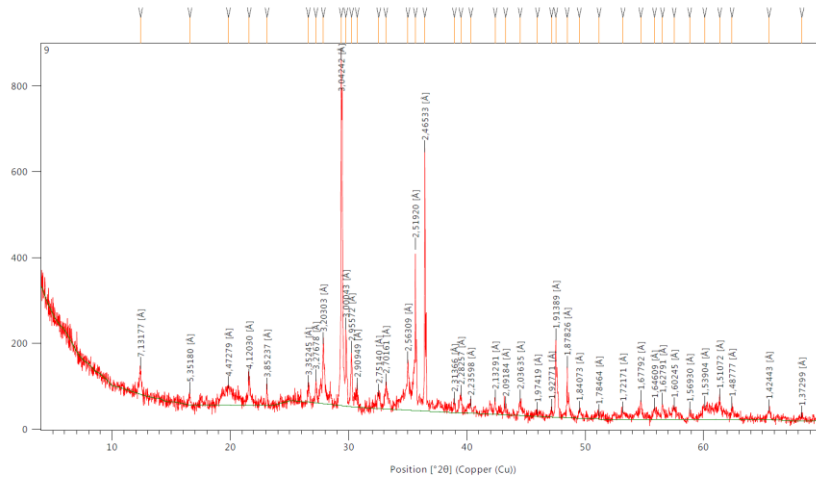
Amostra	Formação	Cor do manual	
46	Depósitos Recentes	7.5YR 6/4 Light brown (Seco)	Castanho claro
		7.5YR 4/6 Strong brown (Húmido)	Castanho forte
47	Depósitos Recentes	10YR 4/3 Brown (Seco)	Castanho
		10YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
48	Formação Monte Grande	2.5Y 7/3 Pale yellow (Seco)	Amarelo pálido
		2.5Y 4/4 Olive brown (Húmido)	Castanho esverdeado
49	Formação Monte Grande	10YR 5/3 Pale Brown (Seco)	Castanho pálido
		10YR 4/2 Dark grayish brown (Húmido)	Castanho acinzentado escuro
50	Formação Monte Grande	10YR 4/4 Dark yellowish brown (Seco)	Castanho amarelado escuro
		10YR 3/3 Dark brown (Húmido)	Castanho escuro
51	Depósitos Recentes	10YR 3/3 Dark brown (Seco)	Castanho escuro
		10YR 3/2 Very dark grayish brown (Húmido)	Castanho cinzento muito escuro
52	Formação Monte Grande	10YR 4/2 Dark grayish brown (Seco)	Castanho acinzentado escuro
		10YR 3/2 Very dark grayish brown (Húmido)	Castanho acinzentado muito escuro
53	Complexo Eruptivo Antigo	7.5YR 3/4 Dark brown (Seco)	Castanho escuro
		7.5YR 2.5/3 Very dark brown (Húmido)	Castanho muito escuro

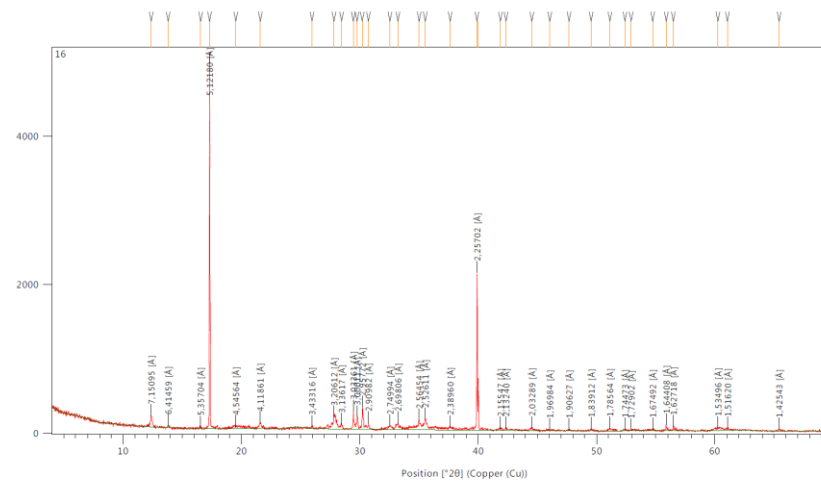
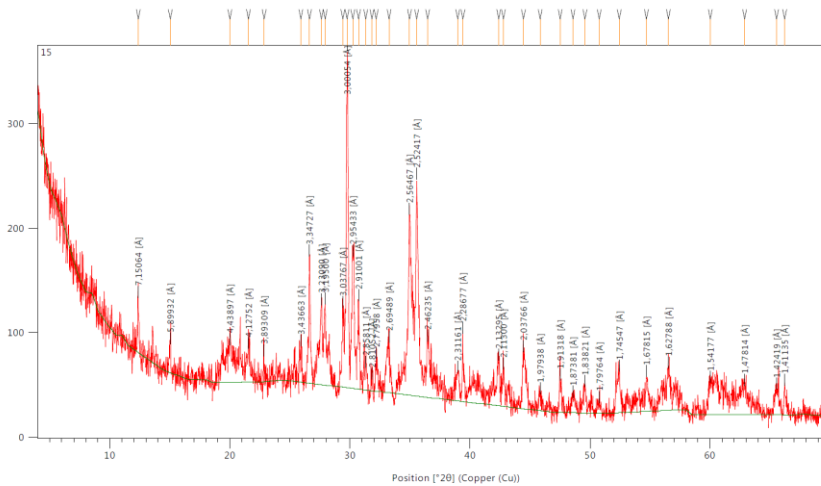
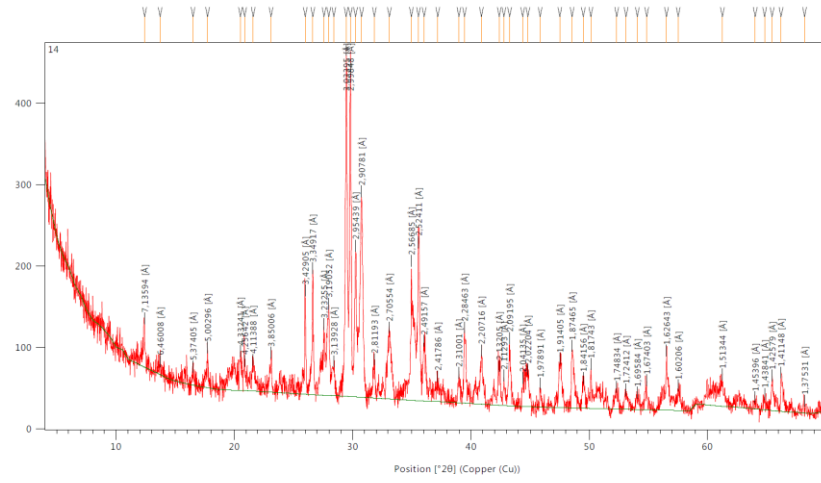
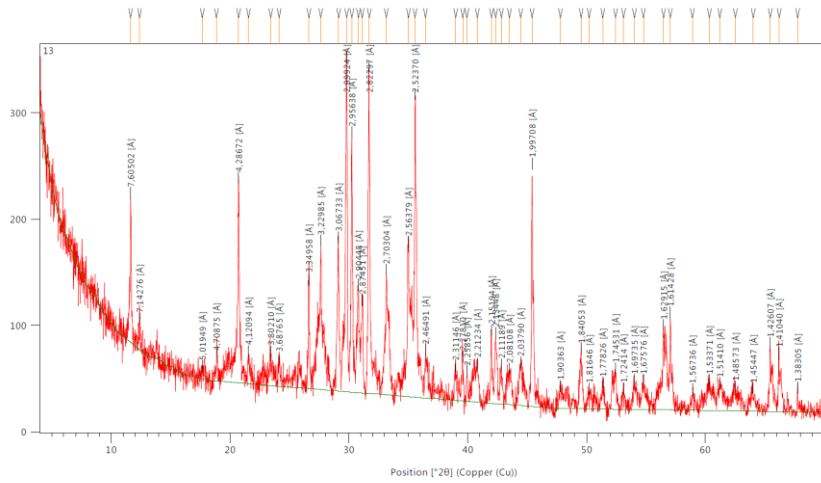
ANEXO 2

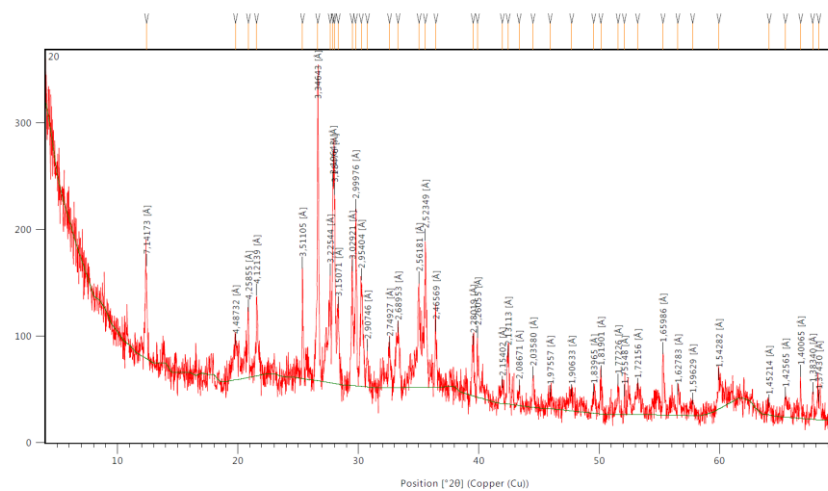
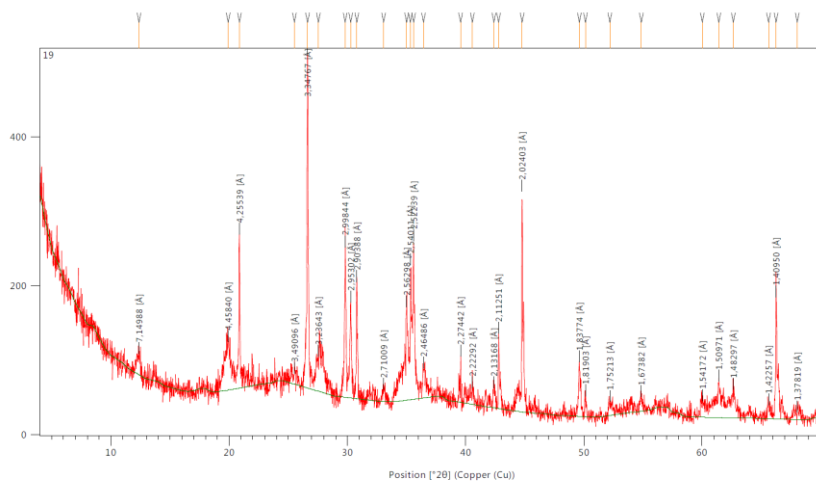
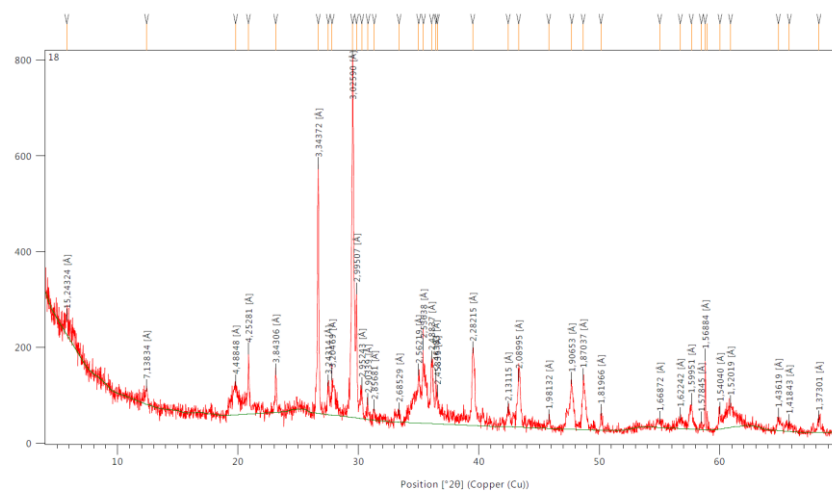
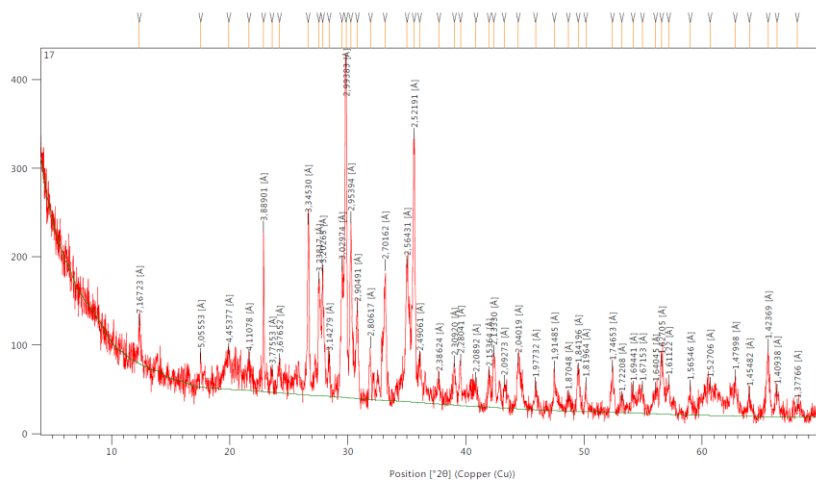
Amostra	X	Y	Elevação	pH	CE	MO		Análise textural			
						(%)	Classificação	Areia	Silte	Argila	Classificação
1	293948	1852900	43m	8,35	0,074	0,332	Muito baixo	79,60	14,22	6,18	Areia
2	294608	1852625	95m	8,16	0,129	0,547	Muito baixo	75,32	14,64	10,05	Franco Arenosa
3	294574	1852637	78m	8,58	0,106	0,254	Muito baixo	91,17	5,44	3,39	Areia
4	294525	1852609	67m	8,18	0,188	0,345	Muito baixo	81,85	14,43	3,72	Areia Franca
5	295681	1853363	27m	8,15	0,138	0,364	Muito baixo	93,01	4,42	2,57	Areia
6	297929	1853918	22m	8,57	0,412	0,651	Muito baixo	65,81	16,61	17,58	Franco Arenosa
7	298651	1853295	35m	8,30	0,119	0,487	Muito baixo	73,63	16,40	9,97	Franco Arenosa
8	298681	1854453	34m	8,05	0,104	0,368	Muito baixo	69,27	14,60	16,13	Franco Arenosa
9	298720	1855035	40m	8,20	0,096	0,722	Muito baixo	92,78	4,18	3,03	Areia
10	298523	1854957	28m	7,05	3,47	0,548	Muito baixo	69,06	19,73	11,21	Franco Arenosa
11	298432	1854974	30m	7,64	0,782	0,379	Muito baixo	65,46	26,64	7,90	Franco Arenosa
12	298623	1855321	42m	8,05	0,724	0,647	Muito baixo	85,34	10,01	4,62	Areia Franca
13	297174	1855786	31m	7,90	4,5	0,461	Muito baixo	67,61	24,83	7,56	Franco Arenosa
14	297205	1855775	16m	7,55	0,303	0,475	Muito baixo	59,44	27,10	13,45	Franco Arenosa
15	297848	1854936	0m	8,13	0,186	0,602	Muito baixo	80,05	15,42	4,41	Areia Franca
16	298207	1854635	0m	8,36	0,077	0,840	Muito baixo	87,61	8,18	4,21	Areia
17	292758	1853704	73m	8,28	0,128	0,509	Muito baixo	85,16	10,26	4,57	Areia Franca
18	293136	1853689	72m	8,50	0,265	0,464	Muito baixo	55,15	28,35	16,46	Franco Arenosa
19	293775	1855084	32m	7,85	0,149	0,275	Muito baixo	55,59	29,48	14,91	Argilosa
20	294771	1856581	59m	8,01	0,172	0,775	Muito baixo	80,25	14,34	5,40	Areia Franca
21	294661	1856547	47m	8,75	0,091	0,620	Muito baixo	89,57	7,78	2,62	Areia
22	295471	1856576	98m	7,69	0,14	0,640	Muito baixo	90,27	6,56	3,11	Areia
23	292991	1850217	75m	8,41	0,204	0,512	Muito baixo	22,20	42,64	35,15	Franco Argilosa
24	293273	1849595	55m	7,86	0,13	0,484	Muito baixo	69,63	20,67	9,7	Franco arenosa
25	294094	1849297	86m	8,22	0,092	0,188	Muito baixo	92,73	5,71	1,55	Areia
26	294006	1849360	76m	8,46	0,185	0,308	Muito baixo	45,43	23,51	30,99	Franco argilosa arenosa
27	294365	1850112	?	8,08	0,145	0,311	Muito baixo	29,24	33,24	37,52	Franco Argilosa
28	296826	1848145	72m	7,73	0,184	0,806	Muito baixo	54,11	17,10	28,79	Franco argilosa arenosa

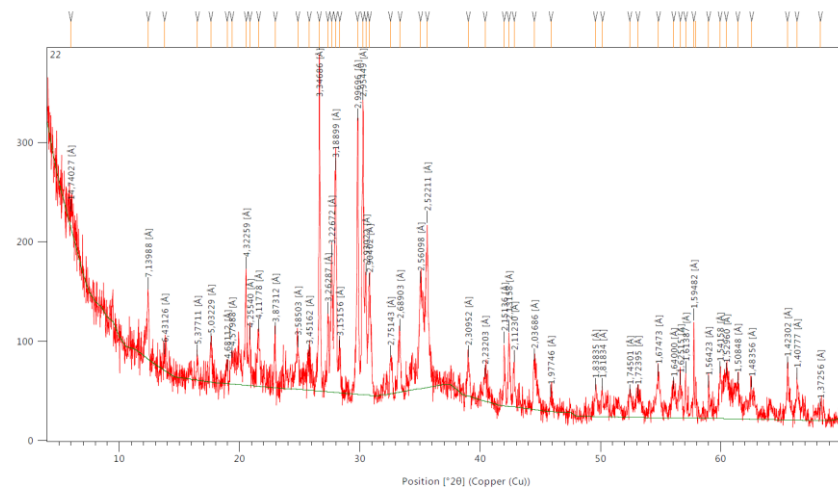
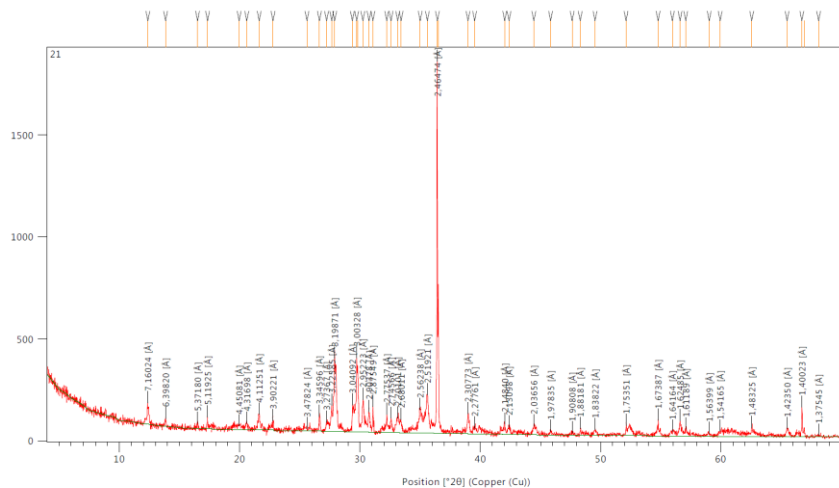
Amostra	X	Y	Elevação	pH	CE	MO		Análise textural			
						(%)	Classificação	Areia	Silte	Argila	Classificação
29	295945	1848788	73m	7,55	0,303	0,532	Muito baixo	59,08	13,39	27,45	Franco argilosa arenosa
30	287781	1858431	26m	8,40	0,142	0,566	Muito baixo	90,61	6,04	3,27	Areia
31	288788	1858646	56m	8,35	0,125	0,459	Muito baixo	97,11	1,40	1,43	Areia
32	289510	1859362	73m	8,18	0,274	0,490	Muito baixo	66,95	20,78	12,18	Franco arenosa
33	289504	1859438	91m	8,48	0,213	0,462	Muito baixo	69,41	10,73	19,85	Franco arenosa
34	289025	1859447	78m	8,51	0,449	0,948	Muito baixo	70,91	16,87	12,20	Franco Arenosa
35	293469	1856277	29m	8,22	0,203	0,635	Muito baixo	58,35	31,37	10,29	Franco Arenosa
36	292386	1857864	29m	7,82	0,075	0,253	Muito baixo	56,99	32,25	10,72	Franco Arenosa
37	293720	1859875	64m	7,73	0,139	0,541	Muito baixo	79,39	16,16	4,45	Areia Franca
38	295043	1860129	127m	6,93	2,82	0,903	Muito baixo	55,84	32,21	11,92	Franco arenosa
39	292596	1860746	38m	7,74	0,11	0,520	Muito baixo	77,26	10,07	12,67	Franco Arenosa
40	291678	1861541	39m	7,99	0,146	0,433	Muito baixo	82,54	8,99	8,43	Areia Franca
41	291639	1858786	38m	8,04	0,062	0,474	Muito baixo	79,51	14,30	6,18	Areia Franca
42	288028	1857253	29m	8,12	0,062	0,416	Muito baixo	67,14	24,11	8,74	Franco arenosa
43	288396	1855319	18m	7,92	0,038	0,179	Muito baixo	86,98	9,84	3,15	Areia Franca
44	290857	1853924	59m	8,06	0,109	1,560	Baixo	62,28	25,34	12,22	Franco arenosa
45	291374	1847189	11m	7,05	2,94	0,536	Muito baixo	51,91	27,50	20,15	Franca
46	291340	1847147	12m	8,15	2,31	0,306	Muito baixo	69,07	15,00	15,90	Franco arenosa
47	289827	1847323	16m	7,94	3,94	0,233	Muito baixo	35,18	50,26	14,56	Franca
48	289865	1847325	8m	8,36	0,812	0,073	Muito baixo	86,33	7,04	6,60	Areia
49	289082	1846963	24m	7,40	0,305	0,678	Muito baixo	82,92	13,15	3,93	Areia Franca
50	289355	1847304	27m	7,64	0,153	0,409	Muito baixo	73,83	19,93	6,20	Franco Arenoso
51	289263	1848312	20m	7,54	3,11	0,405	Muito baixo	70,48	18,39	11,13	Franco arenosa
52	288550	1848577	14m	8,33	0,184	0,244	Muito baixo	85,39	11,71	2,89	Areia
53	289761	1849387	50m	8,22	0,131	0,311	Muito baixo	65,2	18,09	16,7	Franco arenosa

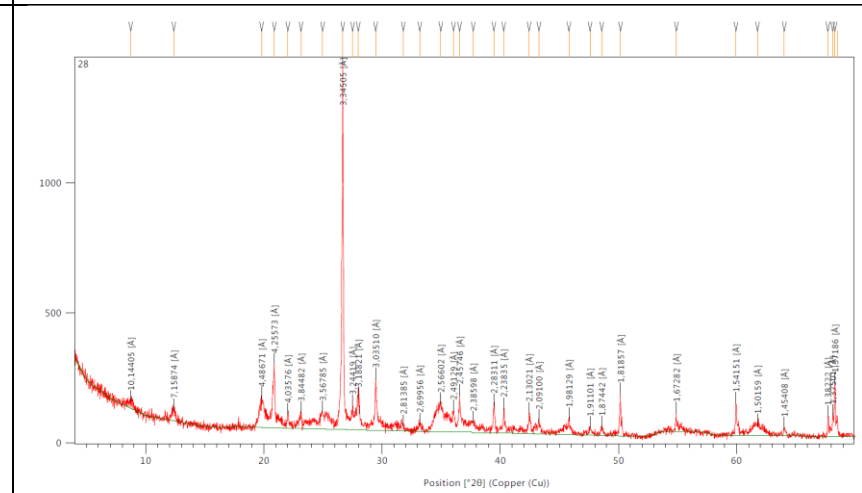
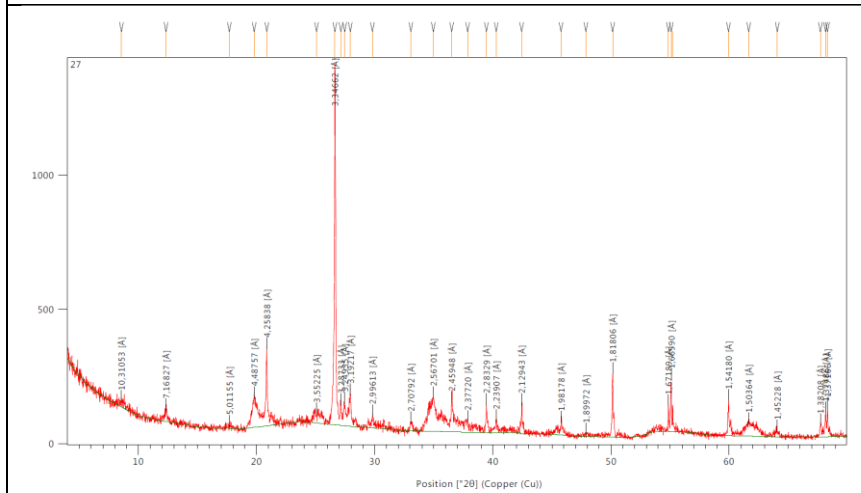
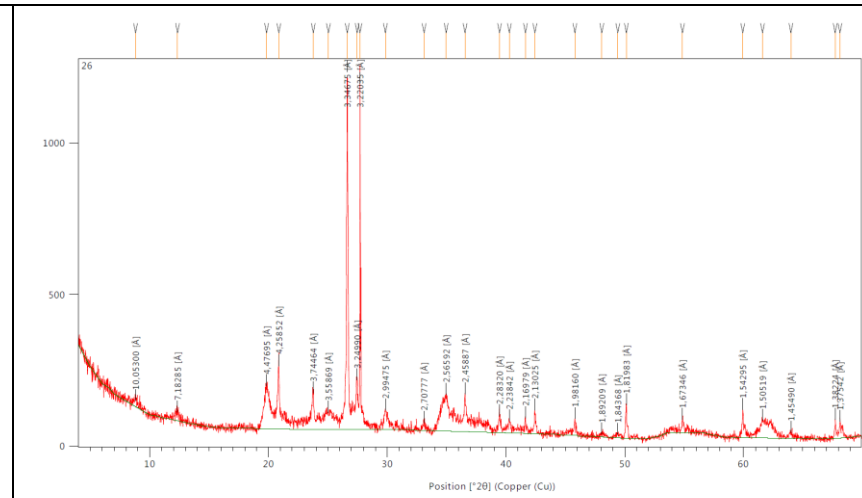
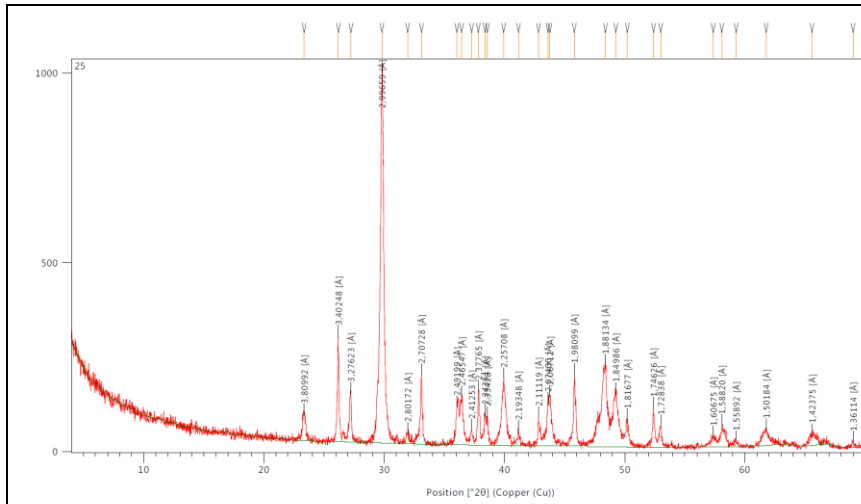












ANEXO 4

Amostra	X	Y	Elevação	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As
1	293544	1852886	43	1,62	57,78	3,98	98,4	11	163,5	44,0	1307	6,63	2,8
2	294218	1852713	95	0,4	48,04	4,79	54,3	13	167,5	32,1	748	4,16	2,5
3	294317	1852891	78	3,18	65,13	4,04	59,6	45	188,1	39,7	1124	5,40	0,5
4	294156	1852604	67	1,96	57,27	6,63	65,6	29	208,7	41,2	1128	5,44	1,0
5	295284	1853451	27	0,83	52,81	4,83	72,1	10	326,7	49,9	1122	5,85	1,6
6	297575	1854008	22	0,59	42,95	10,83	53,0	10	204,6	41,0	856	5,79	6,0
7	298282	1854500	35	0,63	70,79	4,22	69,0	18	373	51,5	1147	5,99	1,2
8	298300	1854708	34	0,37	53,21	3,46	50,9	10	274,7	47,3	1066	5,45	0,9
9	298084	1855026	40	0,10	38,75	2,20	53,9	8	145,8	35,3	952	5,00	0,3
10	298190	1855279	28	0,17	39,38	2,82	59,1	7	330,9	56,5	1157	6,22	0,4
11	298047	185539	30	0,21	31,56	2,65	60,5	<2	399,2	61,2	1162	6,12	0,7
12	298255	1855508	42	0,17	70,30	3,43	80,0	30	296,4	51,8	1165	5,83	0,4
13	296822	1855815	31	0,82	49,86	2,70	53,3	7	188,8	32,6	738	3,97	1,0
14	296956	1855880	16	0,53	48,42	3,93	50,7	187	112,5	25,0	578	3,45	2,9
15	297359	1855016	0	0,44	52,35	3,46	56,9	12	205,0	39,7	1024	5,53	0,6
16	297749	1854681	0	0,28	66,76	3,65	78,5	<2	185,9	44,1	1213	6,10	0,5
17	292389	1853725	73	0,57	51,32	18,49	65,8	27	173,0	30,8	764	3,74	2,0
18	292895	1853974	72	0,55	51,81	8,05	100,5	19	121,7	25,5	668	3,54	1,9
19	293039	1855806	32	0,49	42,17	5,23	61,9	5	392,9	53,4	1265	5,29	0,9
20	294528	1856647	59	0,29	62,44	6,50	56,8	33	270,2	41,9	1045	5,12	0,7
21	294308	1856471	47	0,32	49,16	3,14	53,8	<2	382,7	50,1	1100	5,40	0,6
22	295075	1856871	98	1,41	62,52	3,47	64,6	13	272,9	41,5	1005	5,21	0,7
23	292529	1850545	75	0,88	43,87	10,48	63,3	12	69,6	26,4	779	4,23	8,9
24	292768	1849730	55	0,80	61,05	4,62	99,8	<2	98,0	42,4	1292	8,03	1,3
25	293749	1849320	86	0,16	4,56	0,46	5,0	<2	11,4	2,0	78	0,30	0,6
26	293510	1849471	76	0,81	27,66	11,55	51,6	11	66,5	21,8	684	4,25	6,2
27	294365	1850112	0	1,60	38,80	12,42	68,9	12	76,9	27,4	898	4,49	5,4
28	296850	1847686	72	0,61	26,90	11,51	66,0	40	48,4	18,6	715	3,61	7,0
29	295613	1848820	73	0,63	49,18	14,82	65,1	14	70,5	21,4	604	4,60	12,3

Amostra	X	Y	Elevação	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As
30	287407	1858440	26	0,33	36,42	3,5	55,5	4	283,0	49,6	1208	5,31	0,7
31	288464	1858678	56	0,29	32,00	2,64	60,7	4	371,7	63,7	1315	6,78	<0,1
32	289382	1859699	73	0,66	140,65	9,25	135,7	62	122,3	28,6	727	3,41	2,2
33	289749	1859699	91	0,6	46,97	8,33	46,8	7	136,3	34,9	775	4,81	5,9
34	289886	1859562	78	0,7	75,05	4,15	53,0	19	87,2	25,3	704	3,59	0,5
35	291974	1856054	29	0,46	77,45	6,92	79,7	11	211,1	41,8	1237	5,57	1,2
36	291805	1856056	29	0,66	27,92	3,16	76,9	11	407,2	65,0	1432	6,92	0,2
37	291654	1858447	64	0,62	39,25	4,14	61,7	26	256,5	50,4	1314	6,41	1,2
38	294814	1859647	127	0,57	51,82	5,22	70,7	33	187,1	41,3	1237	5,57	1,2
39	292168	1860791	38	0,61	45,37	7,14	111,8	31	229	47,6	1232	7,48	2,6
40	291312	1861604	39	0,40	71,64	5,49	89,2	34	384	61,1	1671	6,36	<0,1
41	291142	1859468	38	0,68	31,42	4,17	75,5	15	282,7	53,4	1369	6,4	0,4
42	287337	1857973	29	0,45	46,91	6,27	82,6	18	337,7	62,5	1535	6,64	1,1
43	288011	1855475	18	0,73	27,58	2,98	73,1	7	513,1	72,4	1367	6,56	0,8
44	290481	1854043	59	0,81	92,45	8,38	94,0	15	124,8	48,6	1304	7,14	4,3
45	290359	1847431	11	1,84	47,62	5,82	86,0	35	74,0	33,5	1137	5,94	7,8
46	290358	1847389	12	0,65	32,61	3,63	36,1	<2	53,2	18,3	468	3,06	5,3
47	289298	1847266	16	0,64	38,97	5,57	60,5	9	92,7	25,4	731	3,7	3,2
48	289285	1847199	8	0,36	10,23	1,21	18,4	<2	16,3	7,1	264	1,22	2,3
49	288177	1846961	24	0,31	42,88	2,50	55,9	8	141,2	29,7	725	3,6	0,9
50	288778	1847570	27	0,63	70,06	8,23	84,9	15	218,4	50,8	1234	6,54	1,4
51	288929	1848349	20	0,52	58,66	4,95	69,8	20	142,5	31,9	786	4,24	1
52	288385	1848537	14	0,72	60,95	5,88	81,1	15	220,2	41,8	1017	4,76	5,1
53	289736	1848995	50	0,57	87,14	5,55	77,3	6	176,4	53,1	1194	7,25	2,3

Amostra	X	Y	Elevação	U	Au	Th	Sr	Cd	Sb	Bi	V	Ca	P
1	293544	1852886	43	0,6	0,3	2,1	150,2	0,19	0,05	0,04	210	3,90	0,140
2	294218	1852713	95	1,1	1,0	2,8	364,6	0,23	0,04	0,05	109	2,51	0,433
3	294317	1852891	78	1,9	0,7	6,8	834,1	0,08	0,03	<0,02	191	8,67	0,325
4	294156	1852604	67	1,6	0,5	6,0	593,2	0,38	0,05	0,04	160	6,75	0,313
5	295284	1853451	27	0,7	<0,2	3,3	225,4	0,17	0,05	0,03	123	3,84	0,248
6	297575	1854008	22	1,6	0,5	5,4	411,3	0,12	0,05	0,07	142	4,05	0,239
7	298282	1854500	35	0,9	0,3	4,1	187,2	0,15	0,03	0,03	99	1,86	0,184
8	298300	1854708	34	0,9	0,4	3,9	171,3	0,13	0,03	0,03	78	1,97	0,136
9	298084	1855026	40	0,8	1,3	2,6	129,9	0,13	<0,02	<0,02	43	8,22	0,152
10	298190	1855279	28	0,5	0,2	2,9	229,5	0,15	<0,02	0,03	59	2,04	0,118
11	298047	185539	30	0,6	0,3	2,3	179,2	0,11	0,02	<0,02	62	2,70	0,133
12	298255	1855508	42	0,6	0,3	2,6	268,1	0,25	0,02	<0,02	79	3,07	0,171
13	296822	1855815	31	0,8	0,3	3,2	720,9	0,14	0,03	0,02	95	4,18	0,527
14	296956	1855880	16	0,9	4,3	2,4	804,5	0,19	0,07	0,02	228	9,84	0,510
15	297359	1855016	0	1,3	0,4	4,7	361,2	0,10	0,03	0,03	150	4,45	0,259
16	297749	1854681	0	1,0	0,7	3,7	337,6	0,08	0,03	0,02	115	3,20	0,161
17	292389	1853725	73	1,2	2,8	3,3	616,2	0,19	0,18	0,04	136	5,39	0,481
18	292895	1853974	72	1,5	1,7	3,5	300,7	0,28	0,10	0,05	106	8,29	0,276
19	293039	1855806	32	0,8	<0,2	4,1	138,8	0,20	0,04	0,05	72	1,43	0,293
20	294528	1856647	59	1,3	0,6	5,9	313,4	0,18	0,06	0,03	84	4,83	0,272
21	294308	1856471	47	1,1	0,4	5,3	464,3	0,18	0,02	<0,02	93	4,64	0,275
22	295075	1856871	98	1,1	0,7	5,1	721,1	0,1	0,04	0,02	135	2,74	0,256
23	292529	1850545	75	0,5	<0,2	4,0	57,6	0,31	0,10	0,11	86	3,09	0,061
24	292768	1849730	55	0,6	<0,2	3,6	73,7	0,18	0,04	0,06	231	0,66	0,081
25	293749	1849320	86	1,3	<0,2	0,1	>2000,0	0,13	0,03	<0,02	7	29,25	0,089
26	293510	1849471	76	0,7	0,2	6,6	273	0,28	0,08	0,15	74	1,86	0,070
27	294365	1850112	0	0,7	<0,2	6,1	65,5	0,46	0,11	0,15	73	1,10	0,071
28	296850	1847686	72	0,6	0,3	2,9	118,3	0,30	0,11	0,14	52	3,24	0,111
29	295613	1848820	73	0,7	0,2	7,8	335,7	0,33	0,08	0,18	85	0,47	0,110
30	287407	1858440	26	1,1	<0,2	2,3	556,1	0,20	0,02	0,02	90	5,30	0,438

Amostra	X	Y	Elevação	U	Au	Th	Sr	Cd	Sb	Bi	V	Ca	P
31	288464	1858678	56	1,4	<0,2	2	373,7	0,09	<0,02	<0,02	99	7,01	0,236
32	289382	1859699	73	0,7	1,1	2,3	481,1	0,21	0,04	0,04	102	5,28	0,495
33	289749	1859699	91	1	0,7	3,6	551,8	0,27	0,03	0,06	136	3,56	0,545
34	289886	1859562	78	0,8	2,2	1,7	510,6	0,21	0,06	0,02	101	15,79	0,27
35	291974	1856054	29	1,1	0,2	5,9	322,1	0,22	0,03	0,05	81	2,2	0,252
36	291805	1856056	29	0,6	<0,2	3,3	298,1	0,13	0,03	0,03	123	2,81	0,117
37	291654	1858447	64	0,8	<0,2	4	302,7	0,11	0,04	0,04	126	2,43	0,156
38	294814	1859647	127	0,9	<0,2	3,7	340,8	0,17	0,03	0,05	91	2,53	0,146
39	292168	1860791	38	1,8	0,5	1,2	381,7	1,48	0,07	0,07	145	1,5	0,818
40	291312	1861604	39	0,7	1	2,1	304,8	1,93	0,15	0,04	162	1,93	0,179
41	291142	1859468	38	0,7	<0,2	3,9	276,5	0,17	0,03	0,04	113	2,54	0,140
42	287337	1857973	29	0,9	<0,2	4,8	171,9	0,26	0,04	0,06	85	1,28	0,207
43	288011	1855475	18	0,5	<0,2	2,2	103	0,13	0,05	0,03	73	0,92	0,099
44	290481	1854043	59	0,7	0,3	3,4	61	0,15	0,08	0,11	196	0,88	0,051
45	290359	1847431	11	1,7	<0,2	3,4	121,4	0,09	0,24	0,07	149	1,04	0,148
46	290358	1847389	12	0,9	<0,2	2	608,3	0,21	0,09	0,04	102	15,24	0,099
47	289298	1847266	16	0,9	<0,2	3,1	511	0,18	0,1	0,06	68	5,68	0,199
48	289285	1847199	8	0,9	<0,2	1	1377,6	0,13	0,09	<0,02	38	22,82	0,091
49	288177	1846961	24	1,1	<0,2	2,2	937,2	0,67	0,03	<0,02	187	5,1	0,378
50	288778	1847570	27	1,1	<0,2	4,8	278,8	0,3	0,05	0,08	120	1,48	0,276
51	288929	1848349	20	0,9	0,2	2,8	618	0,23	0,07	0,04	96	8,42	0,341
52	288385	1848537	14	1,4	0,2	2,4	380	0,36	0,15	0,04	110	3,49	0,402
53	289736	1848995	50	0,7	<0,2	3,3	77,9	0,12	0,05	0,06	236	2,47	0,064

Amostra	X	Y	Elevação	La	Cr	Mg	Ba	Ti	B	Al	Na	K	W
1	293544	1852886	43	30,0	90,6	2,88	246,8	0,321	<20	2,91	0,076	0,56	<0,1
2	294218	1852713	95	23,9	69,0	3,69	474,1	0,258	27	5,21	0,149	0,83	<0,1
3	294317	1852891	78	69,3	53,2	5,48	891,8	0,429	<20	4,41	1,528	1,30	<0,1
4	294156	1852604	67	62,3	70,9	5,39	857,3	0,524	<20	3,95	0,927	0,88	<0,1
5	295284	1853451	27	44,3	89,2	5,45	656,7	0,494	<20	3,07	0,203	0,74	<0,1
6	297575	1854008	22	52,3	105,1	2,92	275,2	0,360	28	5,01	0,380	0,93	<0,1
7	298282	1854500	35	40,7	99,1	4,05	455,7	0,742	<20	4,05	0,452	0,82	<0,1
8	298300	1854708	34	32,5	75,1	3,52	320	0,443	<20	4,38	0,529	0,54	<0,1
9	298084	1855026	40	25,7	73,7	4,41	379,5	1,069	<20	3,86	0,367	1,33	<0,1
10	298190	1855279	28	26,6	97,9	7,01	593,4	0,948	<20	4,36	1,000	1,37	<0,1
11	298047	185539	30	21,6	120,8	9,20	355,5	0,797	<20	3,31	0,525	0,95	<0,1
12	298255	1855508	42	28,3	94,0	6,75	668,7	0,878	<20	4,67	0,899	1,73	<0,1
13	296822	1855815	31	39,9	56,9	4,24	390,8	0,276	48	2,76	1,713	0,91	<0,1
14	296956	1855880	16	24,1	96,3	3,52	559,1	0,271	<20	2,98	0,353	0,83	0,3
15	297359	1855016	0	44,3	37,6	4,60	337,9	0,609	<20	4,35	1,039	0,62	<0,1
16	297749	1854681	0	36,2	82,0	6,31	623,8	1,208	<20	4,87	0,507	1,25	<0,1
17	292389	1853725	73	39,3	35,4	4,23	866,5	0,374	<20	3,99	0,362	0,82	<0,1
18	292895	1853974	72	37,9	39,8	5,14	329,8	0,335	25	3,57	0,306	0,59	<0,1
19	293039	1855806	32	50,1	106,9	5,19	615,0	0,393	<20	2,53	0,124	0,63	<0,1
20	294528	1856647	59	56,1	54,2	4,89	947,5	0,703	<20	4,24	0,369	1,36	<0,1
21	294308	1856471	47	56,4	57,6	6,73	891,8	0,589	<20	3,78	0,368	1,05	<0,1
22	295075	1856871	98	46,3	56,7	4,69	798,1	0,681	<20	4,10	0,354	0,77	0,2
23	292529	1850545	75	24,2	71,7	1,91	186,7	0,087	<20	2,92	0,144	0,70	<0,1
24	292768	1849730	55	25,1	78,1	1,97	268,9	0,282	<20	4,21	0,138	0,90	<0,1
25	293749	1849320	86	2,8	14,3	2,46	18,3	0,024	21	0,20	0,240	0,04	<0,1
26	293510	1849471	76	30,1	119,0	0,87	127,5	0,076	<20	3,37	0,060	1,01	<0,1
27	294365	1850112	0	31,6	122,7	1,04	164,9	0,098	<20	3,22	0,049	0,98	<0,1
28	296850	1847686	72	22,2	119,2	1,39	137,2	0,063	31	3,24	0,695	0,88	<0,1
29	295613	1848820	73	36,5	144,3	0,79	158,9	0,072	<20	3,88	0,160	1,07	<0,1
30	287407	1858440	26	49,9	38,9	7,36	1450,6	0,387	<20	4,47	0,586	1,31	<0,1

Amostra	X	Y	Elevação	La	Cr	Mg	Ba	Ti	B	Al	Na	K	W
31	288464	1858678	56	37,5	59,9	9,80	884,6	0,502	<20	3,48	0,198	1,00	<0,1
32	289382	1859699	73	38,8	32,7	3,28	832,2	0,246	22	4,41	0,81	1,16	<0,1
33	289749	1859699	91	48,5	60,5	2,08	593,3	0,181	29	5,68	0,148	0,85	<0,1
34	289886	1859562	78	28,7	31,1	3,89	576,1	0,453	20	3,14	0,519	0,74	<0,1
35	291974	1856054	29	53,6	80,5	3,07	1540,4	0,640	<20	5,20	0,271	1,35	<0,1
36	291805	1856056	29	29,6	131,3	9,24	636,8	0,886	<20	3,10	0,482	0,52	<0,1
37	291654	1858447	64	34,3	103,1	6,61	715,9	1,055	<20	4,82	0,381	0,55	<0,1
38	294814	1859647	127	32,1	82,7	4,91	643,0	0,931	21	4,19	0,736	0,46	<0,1
39	292168	1860791	38	35,8	570	2,74	389,6	0,055	<20	3,69	0,123	0,85	<0,1
40	291312	1861604	39	31,1	446,6	4,50	290,9	0,227	<20	4,18	0,240	0,39	<0,1
41	291142	1859468	38	31,2	121,6	6,95	701,5	0,951	<20	3,48	0,385	0,52	<0,1
42	287337	1857973	29	44,4	116,8	6,48	845,6	0,529	<20	2,96	0,171	0,68	<0,1
43	288011	1855475	18	20,3	126,8	10,02	295,1	0,454	<20	1,57	0,128	0,26	<0,1
44	290481	1854043	59	21,0	153,1	2,05	236,4	0,438	<20	3,48	0,095	0,83	<0,1
45	290359	1847431	11	29,1	77,3	1,94	207,7	0,318	<20	2,88	0,965	0,64	<0,1
46	290358	1847389	12	16,0	53,0	2,23	208,5	0,208	62	2,23	1,250	0,46	<0,1
47	289298	1847266	16	23,2	54,6	2,61	278,9	0,368	28	2,61	1,960	0,58	<0,1
48	289285	1847199	8	8,6	15,1	2,97	32,4	0,206	36	1,37	0,759	0,16	<0,1
49	288177	1846961	24	24,9	26,2	3,94	776,3	0,458	<20	3,95	0,644	0,69	<0,1
50	288778	1847570	27	40,0	99,1	4,03	489,1	0,526	<20	3,60	0,216	0,57	<0,1
51	288929	1848349	20	29,6	59,6	4,35	454,2	0,453	21	2,43	1,125	0,44	<0,1
52	288385	1848537	14	26,2	81,3	5,75	563,4	0,356	38	2,69	0,425	0,40	<0,1
53	289736	1848995	50	23	181,2	2,77	203	0,479	<20	3,60	0,085	0,67	<0,1

Amostra	X	Y	Elevação	Sc	Tl	S	Hg	Se	Te	Ga
1	293544	1852886	43	8,1	0,07	<0,02	14	0,5	0,07	11,9
2	294218	1852713	95	8,7	0,09	<0,02	27	0,6	0,02	10,3
3	294317	1852891	78	11,3	<0,02	0,12	25	0,6	0,03	10,4
4	294156	1852604	67	10,7	0,04	0,06	9	0,6	0,03	9,9
5	295284	1853451	27	8,3	0,05	<0,02	8	0,5	0,03	8,4
6	297575	1854008	22	18,3	0,1	0,03	10	0,5	0,02	12,5
7	298282	1854500	35	7	0,06	<0,02	14	0,4	<0,02	10,4
8	298300	1854708	34	10,6	0,05	<0,02	19	0,3	<0,02	9,7
9	298084	1855026	40	11,1	0,04	<0,02	25	0,4	<0,02	9,2
10	298190	1855279	28	13	0,06	<0,02	7	0,3	<0,02	9,4
11	298047	185539	30	10,6	0,04	0,06	6	0,3	<0,02	7,6
12	298255	1855508	42	11,7	0,04	<0,02	<5	0,3	<0,02	9,1
13	296822	1855815	31	6,2	0,04	1,13	<5	0,7	0,02	6,7
14	296956	1855880	16	6,4	0,03	0,04	<5	0,4	<0,02	11,2
15	297359	1855016	0	11,1	0,04	0,04	12	0,3	<0,02	13,9
16	297749	1854681	0	13,1	0,03	<0,02	<5	<0,1	<0,02	10
17	292389	1853725	73	7,7	0,03	0,02	<5	0,3	<0,02	9,2
18	292895	1853974	72	7,2	0,06	0,04	12	0,7	<0,02	12,6
19	293039	1855806	32	9,5	0,07	<0,02	9	<0,1	<0,02	7,5
20	294528	1856647	59	9,3	0,04	<0,02	21	0,5	<0,02	11,1
21	294308	1856471	47	8,7	0,03	<0,02	<5	0,3	<0,02	8,4
22	295075	1856871	98	5,3	0,04	<0,02	9	0,3	<0,02	12
23	292529	1850545	75	6,9	0,16	<0,02	33	0,2	0,04	10,8
24	292768	1849730	55	10,6	0,08	<0,02	23	0,2	<0,02	16,4
25	293749	1849320	86	0,6	<0,02	0,11	<5	0,9	<0,02	0,5
26	293510	1849471	76	9,6	0,21	<0,02	24	0,2	<0,02	11,1
27	294365	1850112	0	9,3	0,23	<0,02	<5	0,1	0,03	10,7
28	296850	1847686	72	8,7	0,21	0,14	17	0,3	0,03	10,3
29	295613	1848820	73	10,5	0,24	0,02	12	0,3	0,03	13,9
30	287407	1858440	26	13	0,04	<0,02	<5	0,1	<0,02	7,1
31	288464	1858678	56	13,5	<0,02	<0,02	<5	0,2	<0,02	6,7

Amostra	X	Y	Elevação	Sc	Tl	S	Hg	Se	Te	Ga
32	289382	1859699	73	6,1	0,04	<0,02	<5	0,3	<0,02	10,8
33	289749	1859699	91	12,9	0,09	<0,02	6	0,3	<0,02	14,8
34	289886	1859562	78	10,1	<0,02	0,04	19	1	<0,02	11,6
35	291974	1856054	29	9,8	0,09	<0,02	<5	0,1	<0,02	11,5
36	291805	1856056	29	10,7	0,05	<0,02	<5	0,2	<0,02	9,9
37	291654	1858447	64	12,4	0,06	<0,02	7	0,3	<0,02	13,4
38	294814	1859647	127	9,9	0,06	0,1	<5	0,4	<0,02	11,3
39	292168	1860791	38	14,9	0,12	<0,02	<5	0,2	<0,02	14,4
40	291312	1861604	39	10,4	0,04	<0,02	<5	<0,1	<0,02	11,1
41	291142	1859468	38	11,3	0,06	<0,02	<5	0,2	<0,02	11,1
42	287337	1857973	29	12	0,07	<0,02	<5	<0,1	<0,02	9,2
43	288011	1855475	18	6,2	0,04	<0,02	<5	<0,1	<0,02	5,3
44	290481	1854043	59	13,7	0,14	<0,02	<5	0,3	0,06	14,1
45	290359	1847431	11	9,1	0,12	<0,02	<5	<0,1	0,04	11,1
46	290358	1847389	12	5,6	0,09	0,18	<5	0,5	<0,02	6,9
47	289298	1847266	16	6,8	0,09	0,08	<5	0,3	<0,02	7,9
48	289285	1847199	8	1,8	0,03	0,11	<5	0,6	<0,02	2,8
49	288177	1846961	24	6,2	0,03	<0,02	<5	0,2	<0,02	9,8
50	288778	1847570	27	13,1	0,1	<0,02	<5	<0,1	<0,02	12,5
51	288929	1848349	20	6	0,07	0,05	<5	0,6	<0,02	7,8
52	288385	1848537	14	6,4	0,05	0,04	<5	<0,1	<0,02	8,3
53	289736	1848995	50	15,4	0,1	<0,02	12	0,1	<0,02	15,4

ANEXO 5

