



UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
Departamento de Ciências da Terra

## CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DA BAÍA DO MUSSULO - LUANDA

Amílcar Francisco Quizembe de Armando

MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS – RAMO AMBIENTE E ORDENAMENTO

Julho, 2014





**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**  
**FACULDADE DE CIENCIAS E TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA TERRA**

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DA BAÍA DO  
MUSSULO – LUANDA**

Amílcar Francisco Quizembe de Armando

**Mestrado em Geociências**

Área de especialização em Ambiente e Ordenamento

**Orientadores científicos**

Professor Doutor Alexandre Diniz, F.C.T.U.C.

Professor Doutor João Serra Prata, F.C.T.U.C.

**Julho, 2014**

**Este trabalho é dedicado aos meus pais, a toda minha família em particular aos meus irmãos e meus filhos.**

## **Agradecimentos**

A Deus antes de força e protecção divina que me concede todos os dias para poder enfrentar os maiores desafios da minha vida.

Aos meus orientadores científicos Professor Doutor Pedro Alexandre Dinis e Prof Doutor João António Serra Pratas pelo rigor, paciência, trabalho abnegado, solidariedade, por terem sido uma verdadeira fonte de conhecimento e pela maneira como souberam conduzir-me até a este momento sublime da minha vida.

A todos meus professores do curso de mestrado.

Aos meus irmãos pela solidariedade permanente e amizade.

Ao Engenheiro Walter Maia, pelos conselhos e acompanhamento no do reconhecimento da área estudada.

Ao Gutenberg da Paixão Alfredo 1º cabo das tropas especiais das FAA, por ter sido o meu guia e companheiro em todas fazes em que as amostras foram colhidas.

A título póstumo ao major da Força Aérea do Lubango André Tondela e sua esposa Dona Santa, por ter sido a primeira casa onde fomos acolhidos aquando da minha aventura académica Lubango e pelo apoio incessante que me foi prestado por ele a sua esposa.

Ao senhor Carlos Maia do laboratório de Difracção de RX e a Dona Manuela Branco técnica emérita do laboratório de sedimentologia do Departamento de Ciências da Terra, por ambos terem sido imprescindíveis durante os trabalhos de laboratório efectuados.

Ao Mestre Igor Batista do laboratório de química do Departamento de Ciências da Terra, pela disponibilidade incondicional em ajudar.

## Resumo

A Península do Mussulo, é uma zona com extensa baía e praias, que são procuradas pelos banhistas todos os dias, principalmente aos fins-de-semana, para fins lúdicos. A sua importância económica, e a sua geografia, faz com que tanto o interior da restinga como a baía, sejam destino de muitas obras de construção civil com variadas finalidades. É também um possível destino final de muitas substâncias químicas associadas a actividades humanas na área de Luanda. No presente trabalho foi efectuada uma caracterização dos sedimentos da baía do Mussulo. Para o efeito foi feita uma caracterização granulométrica e determinação da mineralogia (amostra total e fracção argilosa) e dos teores de alguns elementos químicos.

O quartzo e o feldspato são os minerais mais comuns, apresentando maiores proporções na zona norte da baía. Na zona sul destaca-se a presença em maiores quantidades de halite e gesso. No que respeita à fracção argilosa, ela apresenta, gesso, argilas expansivas e caulinite como os minerais mais comuns. O gesso é particularmente comum na zona meridional da baía e a caulinite na zona setentrional. A distribuição espacial dos vários parâmetros analisados mostra que o zinco, ferro cobre e manganês apresentam teores mais elevados na região setentrional da baía e estão associados às fracções granulométricas mais finas. O cálcio e o magnésio têm predominância na região meridional, onde as fracções granulométricas mais grosseiras estão melhor representadas.

Algumas correlações entre os parametros sugerem a ocorrência de contaminação em zinco, ferro, cobre e manganês na zona setentrional da baía; na zona sul ocorre um ambiente mais condicionado por precipitação química/bioquímica sob condições naturais. A análise de componentes principais também sugere que algumas concentrações de zinco, ferro cobre e manganês podem estar relacionadas com contaminação humana.

Palavras-chaves: Baía do Mussulo, Sedimentos, Granulometria, Mineralogia, Geoquímica, Factores naturais e antrópicas.

## **Abstract**

The Peninsula Mussulo is an area with a wide bay and numerous beaches, which have recreational use every day, especially on weekends. Given its economic importance, and its geography, both the sandbank and the bay are the target of many civil construction works with varied purposes. It is also a possible final destination for many chemicals associated with human activities in the area of Luanda. In this work it is conducted a characterization of the sediments of the bay Mussulo, involving an analysis of the grain-size, determination of mineralogy (clay fraction and total sample), and the levels of some chemical elements.

Quartz and feldspar are the most common minerals, with higher proportions in the northern part of the bay. On the south side of the bay halite and gypsum occur in larger amounts. Regarding the clay fraction, the most common minerals are gypsum, swelling clays and kaolinite. Gypsum is particularly common in the southern part of the bay and kaolinite in the northern zone. The spatial distribution of the various analysed parameters reveals that zinc, copper, iron and manganese showed higher levels in the northern part of the bay and are associated with the finer grain-size fractions. Calcium and magnesium have predominance in the southern region, where the coarser grain-size fractions are better represented.

Some correlations between parameters suggest the occurrence of contamination in zinc, copper and manganese and iron in the northern part of the bay area; an environment whose sediment composition is more determined by natural chemical/biochemical precipitation occurs in the southern part of the bay. The principal component analysis also suggests that some concentrations of zinc, iron, copper and manganese can be related to human contamination.

**Keywords:** Bay Mussulo Sediments, Grain-size, Mineralogy, Geochemistry, Natural and anthropogenic factors.

## Índice Geral

Dedicatória

Agradecimentos

Resumo

Abstract

Índice geral

Índice de figuras

Índice de tabelas.

Anexos

### I. Introdução

1.1. Justificação do estudo.....	1
1.2. Relevância do estudo.....	2
1.3. Objectivos do estudo.....	3
1.4. Estrutura do trabalho.....	4

### II. Enquadramento.....5

2.1. Enquadramento geográfico e administrativo .....	5
2.2. Situação climática .....	6
2.3. Enquadramento geológico.....	7
2.3.1. Bacia Sedimentar do Kwanza.....	9
2.3.2. Geologia da zona suburbana de Luanda.....	10
2.4 - Enquadramento geomorfológico.....	13
2.5. Enquadramento pedológico.....	16
2.6. Evolução histórica e ocupação humana da região.....	17

<b>III – Metodologia</b> .....	21
3.1. Amostragem.....	21
3.2. Descrição dos métodos de análise utilizados.....	25
3.2.1. Granulometria.....	25
3.2.2 – Mineralogia.....	26
3.2.2.1 - Fracção argilosa.....	26
3.2.2.2 - Amostra total.....	27
3.3. Análise Química.....	27
<b>IV – Resultados</b> .....	29
4.1 – Granulometria.....	29
4.2 – Mineralogia.....	33
4.2.1 - Amostra total.....	33
4.2.2 - Fracção argilosa.....	36
4.2. Composição química.....	38
4.3. Relações entre parâmetros composicionais.....	46
5. Considerações finais.....	59
<b>Bibliografia</b> .....	62



## Índice de Figuras

Figura 1.1: Baía do Mussulo e lugares a ela ligada.....	2
Figura 2.1: Mapa de Angola com os limites geográficos de Luanda não actualizados.....	5
Figura 2.2: Mapa de Luanda com a península do Mussulo.....	8
Figura 2.3: Coluna estratigráfica da bacia do Cuanza.....	11
Figura 2.4: Carta geológica da bacia do Cuanza.....	12
Figura 2.5: Mapa da zona suburbana de Luanda.....	13
Figura. 2.6: Mapa morfológico da zona de Luanda à escala de 1:100000.....	15
Figura 2.7: Imagens satélite de alguns bairros de Luanda mostrando a sua evolução durante a última década .....	18
Figura 2.8 Uma chaminé do aterro sanitário de Luanda, próximo a um assentamento populacional (A) e resíduos ferrosos e outros depositados a céu aberto município do Cazenga (B).....	19
Figura. 2.11: Canais de drenagem das águas. (A) Na zona do museu da escravatura (B) No bairro Benfica.....	20
Figura 3.1: Pontos amostrados da Baía do Mussulo.....	22
Figura 3.2: Colheita de sedimentos para a análise granulométrica, mineralógica e química.....	23
Figura 3.3. Localização de alguns pontos de amostragem na Baía do Mussulo.....	24
Figura 3.4: Alguns equipamentos usados na determinação da granulometria, e a mineralogia dos sedimentos. (A) Granulómetro laser Coulter LS 230. (B) Difractómetro de RX.....	26
Figura 3.5 (A) Tratamento das amostras para análise química. (B) Um dos equipamentos usados para a análise química, o Espectrofotómetro de Absorção Atômica FS95 Furnace Autosampler.....	28
Figura 4.1. Curvas granulométricas cumulativas dos sedimentos amostrados.....	29

Figura 4.2. Organização das curvas granulométricas em função de aparentes afinidades.....	31
Figura 4.3: Classe modal dominante ao longo da baía do Mussulo.....	32
Figura 4.4: Distribuição espacial das principais fracções granulométricas.....	33
Figura 4.5: Proporções das principais espécies minerais identificadas nas amostras estudadas.....	34
Figura 4.6: Distribuição espacial das diferentes espécies minerais identificadas na amostra total.....	35
Figura 4.7. Proporções minerais na fracção argilosa das amostras estudadas.....	36
Figura. 4.8: Variações espaciais da mineralogia da fracção argilosa (< 2 µm).....	37
Figura 4.9: Distribuição espacial do arsénio.....	38
Figura 4.10: Imagem com a distribuição espacial do cálcio.....	40
Figura 4.11: Distribuição espacial do Chumbo.....	40
Figura 4.12: Distribuição espacial do Cobalto.....	41
Figura 4.13: Distribuição espacial do Cobre.....	41
Figura 4.14: Distribuição espacial do ferro.....	43
Figura 4.15: Distribuição espacial do magnésio.....	43
Figura 4.16: Distribuição espacial do manganês.....	44
Figura 4.17: Distribuição espacial do mercúrio.....	44
Figura 4.18: Distribuição espacial do níquel.....	45
Figura 4.19: Distribuição espacial do zinco.....	45
Figura. 4.20: Gráficos de correlação das concentrações dos elementos químicos.....	48
Fig. 4.20: Gráficos de correlação das concentrações dos elementos químicos (continuação) .....	49

Fig. 4.21: Gráficos de correlação das concentrações dos elementos químicos e as quantidades das diferentes fracções granulométricas e proporções minerais.....50

Figura. 4.21: Gráficos de correlação das concentrações dos elementos químicos e as quantidades das diferentes fracções granulométricas e proporções minerais (continuação) .....51

Figura 4.22: Gráficos de correlação entre as quantidades da fracção granulométrica e a mineralogia total.....52

Figura 4.23: Relações entre as concentrações de Mg e as quantidades das fracções granulométricas depois de feita uma discriminação de grupos associados a diferentes condições ambientais.....53

Figura 4.24: Projecção das variáveis nos dois primeiros componentes (explicam 56 % da variância). Qtz: quartzo; Filo: filossilicatos; Feld: feldspatos; Carb: total de carbonatos; Hal: halite; Gess: gesso; Py+H: pirite mais hematite; Arei: areia; Silt: silte; Argi: argila.....56

Figura 4.25: Projecção das variáveis no primeiro componente contra os componentes 3, 4, 5 e 6. Significado das variáveis indicadas na figura anterior.....58

Figura 5.1: Depósito de materiais no interior a Baía.do Mussulo (.A) Actividade humana, no caso obra de construção civil. (B) Erosão de uma falésia.....59

**Índice de tabelas**

Tabela 3.1: Designação dos pontos amostrados e as respectivas Coordenadas Geográficas.....25

Tabela 4.1: Correlações entre parâmetros analisados.....47

Tabela 4.2: Valores próprios e variância explicada pelos seis componentes definidos pela ACP.....54

Tabela 4.3: Coordenadas das variáveis seleccionadas nos sete componentes definidos pela ACP.....55

# CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

## 1.1 – Justificação do estudo.

Os estudos de Geoquímica Ambiental e Geoquímica Urbana ganharam nos nossos dias relevante importância dada a percepção de que as ameaças sobre o meio ambiente colocam em perigo todos os ecossistemas e o próprio ser humano.

A qualidade do meio ambiente está estritamente ligada à qualidade de vida e esta à saúde e ao bem-estar das populações concorrendo para um elevado índice de desenvolvimento humano. Desta feita, a qualidade do ambiente tornou-se prioridade para a maioria dos estados, compreendendo que daí depende a melhoria da qualidade de vida dos seus cidadãos. Porém, as necessidades do dia-a-dia vão pressionando as pessoas no sentido de exercerem vários tipos de actividades com o fim de melhorarem as suas condições sociais. Estes tipos de actividades incluindo a actividade industrial, têm sido responsáveis, em grande parte, pela contaminação do meio, sobretudo nas zonas mais povoadas.

A caracterização dos efeitos da exposição crónica a pequenas quantidades de alguns metais é importante (Robison Jr. & Ayote, 2006). Como se sabe, a exposição a níveis elevados de muito deles, com particular destaque para o cádmio e o mercúrio (metilmercurio), entre outros, pode ser prejudicial para a saúde humana (Siegel, 2001; Leite & Amorim, 2006; Lima & Merçon, 2011). Nos anos cinquenta no Japão, por exemplo, houve um crónico envenenamento por cádmio associado a uma deficiência dietética que causou a epidemia “ita-itai”, que se manifestou por danos nos rins e dores nos ossos, bem como um envenenamento por mercúrio a partir de peixes de uma baía contaminada, que provocou uma doença conhecida por “doença de minimata” Batista (2005).

## 1.2 – Relevância do estudo

A Península do Mussulo, é uma zona com extensa baía e praias, que são procuradas pelos banhistas todos os dias, principalmente aos fins-de-semana, para fins lúdicos. Acresce que o Mussulo sempre foi um ninho de pescadores e a natureza do produto do seu trabalho está, naturalmente, dependente da qualidade do meio ambiente.

A restinga é parte da cidade de Luanda, com a maior população (dados oficiais apontam para a existência de cerca de cinco a seis milhões de habitantes) e a mais industrializada de Angola. Outro aspecto importante é o facto de a baía ser presentemente palco de várias obras de construção civil de grande porte, entre as palmeirinhas e a zona do museu da escravatura. Por outro lado, a parte que vai do Benfica até ao embarcadouro do Mussulo apresenta ocupação humana antiga e é utilizada frequentemente pelos pescadores para a travessia à “Ilha do Mussulo” e para a prática de desportos motorizados.



**Fig.1.1:** Baía do Mussulo e lugares a ela ligada (fotos do autor)

Luanda não difere das várias cidades capitais do denominado terceiro mundo, com défice de saneamento básico, recolha deficiente de resíduos sólidos urbanos e outros perigosos como os resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (Armando et all., 2011). Estes factos são agravados por um êxodo

permanente das populações do interior que ao longo dos anos foram formando assentamentos que depois cresceram sem um adequado ordenamento territorial (Nzatuzola, 2011).

Os estudos de sedimentos costeiros são fundamentais para a avaliação das condições ambientais, designadamente no que respeita à possível contaminação (Sequeira, 2013) O conhecimento dos metais pesados em ambientes costeiros pode servir de termómetro ou ferramenta para controlo de níveis de contaminação provocados ou não pela actividade antrópica (Siegel, 2001). É também fundamental compreender se os elementos químicos estão associados a fases minerais de origem natural ou se resultam de introdução pelo homem.

Os metais pesados são os que possuem densidades cinco vezes superior à da água (Sousa & Barbosa, 2000). A sua presença em sedimentos não se deve somente aos conteúdos iniciais das rochas e minerais. Algumas práticas antropogénicas podem também ter um papel decisivo nas concentrações destes elementos (Siegel, 2001).

Variadíssimos átomos ou partículas movem-se para novos lugares através do processo de migração geoquímica (que pode definir-se como o movimento de átomos de elementos químicos na crosta terrestre resultando na sua dispersão, com diminuição de conteúdos, ou concentração, com aumento de conteúdo). Em regiões de clima tropical criam-se condições propícias para que se observe uma meteorização acelerada, que é na verdade um dos primeiros passos para migração de elementos e compostos.

A caracterização dos sedimentos da baía do Mussulo incide sobre a determinação das concentrações de um conjunto de metais pesados a par duma avaliação de aspectos texturais e de composição mineralógica. Com a avaliação dos diferentes parâmetros pretende-se perceber melhor as relações existentes entre os metais pesados e as possíveis fases de suporte. Com esta análise integrada é possível estabelecer se as concentrações observadas devem estar associadas a processos naturais ou antropogénicos.

### **1.3 - Objectivos do estudo**

Tendo em conta o acima exposto estabeleceu-se, como objectivo geral, uma avaliação da composição dos sedimentos de grão fino da baía do Mussulo.

Definiram-se, como objectivos específicos:

1. Proceder a uma caracterização textural e composicional (geoquímica e mineralógica) dos sedimentos;
2. Estabelecer a relação existente entre a composição química e as características texturais e mineralógicas dos sedimentos na baía;
3. Definir as fontes dos elementos identificados, diferenciando, na medida do possível, os naturais dos antrópicos;
4. Elaborar uma estratégia de mitigação de eventuais concentrações elevadas de alguns elementos para os ecossistemas e para a saúde humana.

## **1.4 – Estrutura do trabalho**

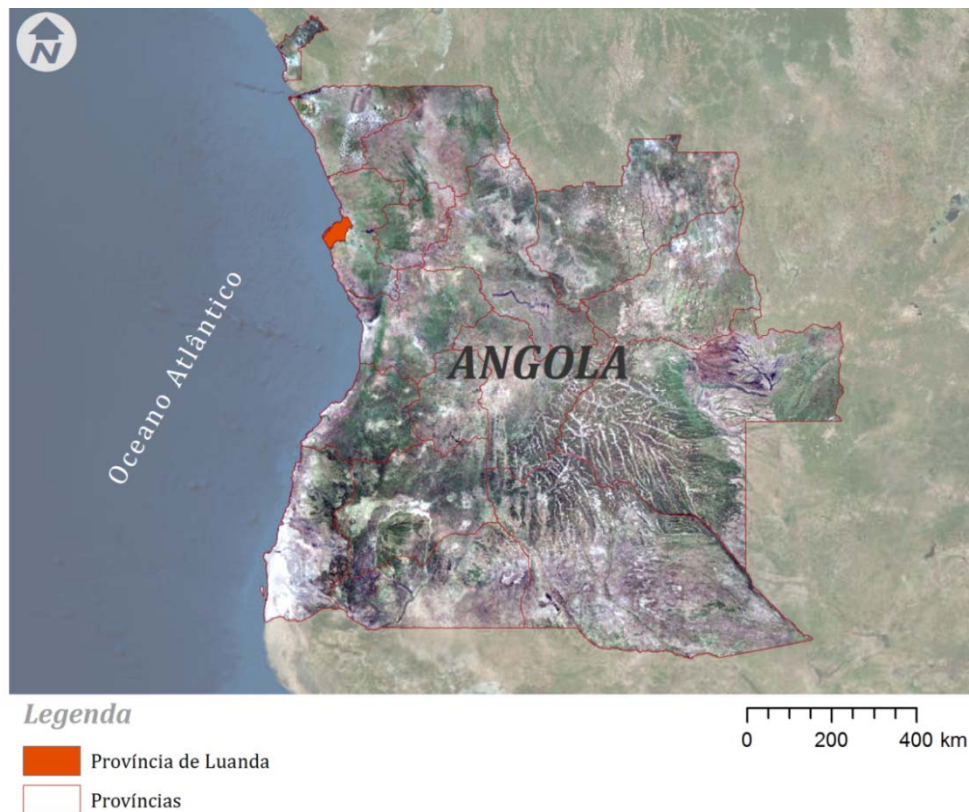
O trabalho será apresentado em cinco capítulos. No primeiro capítulo, da introdução, faz-se uma abordagem geral sobre o tema. No segundo capítulo é feito o enquadramento do área de estudo, dando particular atenção às características geológicas, geomorfológicas da região. No terceiro capítulo são descritas as metodologias utilizadas para obter os resultados que suportam o trabalho. No quarto capítulo são apresentados os resultados das análises efectuadas e no quinto são feitas as considerações finais.



## 2 - ENQUADRAMENTO

### 2.1. Enquadramento geográfico e administrativo

Os limites geográficos e administrativos de Luanda sofreram alargamento territorial com a entrada em vigor da Lei nº 29/11 de 26 de Abril, que estabelece a nova divisão político-administrativa (DPA) das províncias do Bengo e Luanda. Assim Luanda passa a ter os seguintes municípios: Luanda, Cacuaco, Belas, Viana, Cazenga, Icolo e Bengo, Quiçama. Luanda é limitado a norte pela província do Bengo, a leste com a província do Cuanza Norte, a sul com a província do Cuanza sul e a ocidente com o Oceano Atlântico (Fig. 2.1).



**Fig. 2.1:** Mapa de Angola com os limites geográficos de Luanda não actualizados.

A península do Mussulo, frequentemente conhecida por “Ilha do Mussulo”, é parte do litoral de Luanda. Ela faz parte do município de Belas, criado no âmbito da Lei 17/11 de 21 de Abril, cujos limites geográficos estão fixados no seu artigo 2º (Fig.2.1).



**Figura 2.2:** Mapa de Luanda com a península do Mussulo

## 2.2 – Situação climática

Amaral (1968) define a ambiência climática de Luanda como sendo de baixas amplitudes térmicas (entre 5º e 6º C em Outubro e entre 6º e 7º C em Fevereiro-Março) e pela escassez de precipitação total, à volta de 400 mm, irregularmente distribuída ao longo de todo ano. A temperatura média do ar é de 24º-25º C, com valores máximos pouco acima dos 30º C nos meses de

Janeiro a Abril, e valores mínimos, que raramente descem abaixo dos 14°C, nos meses de Julho-Agosto. Também, os valores de pressão atmosférica se apresentam com amplitudes muito pequenas (cerca de 6 mb) e os ventos dominantes mantêm uma constância muito regular entre as direcções oeste e sudeste com uma velocidade média de 10 a 15 Km/h.

O clima na “zona suburbana” de Luanda, onde se localiza a Restinga do Mussulo, é tropical quente e seco, com uma estação chuvosa de cinco a seis meses de escassos quantitativos de precipitação (compreendidos entre 350 à 400 mm), mas com uma distribuição muito irregular e oscilações acentuadas de ano para ano (Dinis, 2006). A estação seca, ou de cacimbo, é bastante prolongada, correspondendo ao período fresco do ano, sendo Julho e Agosto os meses mais frios. A região caracteriza-se por um grau de insolação muito baixo e uma humidade relativa bastante elevada, com média anual que excede os 80%. A temperatura média anual está compreendida entre os 24° e os 25° C, com um máximo em Março (26° C), coincidente com a máxima altura pluviométrica, e um mínimo em Julho-Agosto (20° C). A zona está na transição de clima árido (E) para semiárido (D), megatérmico, na classificação racional de Thornthwaite, e é do tipo BSh' (clima seco, de estepe, muito quente) na classificação climática de Köpen.

## 2.3 - Enquadramento geológico

A península do Mussulo, enquadra-se na “Orla Sedimentar de Angola” (Batista, 1991) que se estende por cerca de 1 450 km ao longo da costa (Fig. 2.2), sendo:

- ✓ 90 Km em território de Cabinda;
- ✓ 1 660 Km desde a foz do rio Zaire até à baía dos Tigres;

Esta faixa sedimentar assenta em formações cristalofílicas pré-câmbricas. (Pereira et al., 2010).

Com base nas características do registo sedimentar e nas relações geométricas com as unidades do soco, pode considerar-se que a faixa sedimentar de Angola apresenta três Bacias (Pinho e Carvalho, 2010):

- ✓ A Bacia do Baixo Congo;
- ✓ A Bacia do Cuanza;
- ✓ A Bacia do Namibe.

A bacia sedimentar do Baixo Congo desenvolve-se para os dois lados do rio Congo. O seu limite setentrional encontra-se na ponta de Myumba (República Democrática do Congo) e seu limite meridional ao norte da ponta da Musserra (N'zeto, província do Zaire) (Pippo, 1995).

A Bacia sedimentar de Moçamedes (ou Namibe) estende-se da Lucira (a norte da cidade do Namibe até à Baía dos Tigres. Apresenta uma largura máxima em *onshore*, no vale do Curoca e no vale do Bero, da ordem dos 30 km (Baptista, 1991)

A Bacia sedimentar do Cuanza situa-se entre as duas acima referidas, sendo no seu actual bordo *onshore* que se desenvolve a restinga do Mussulo. Apresenta-se abaixo uma breve descrição do enchimento sedimentar da Bacia do Cuanza com vista a se poder situar o meio em que se desenvolve a área de estudo.

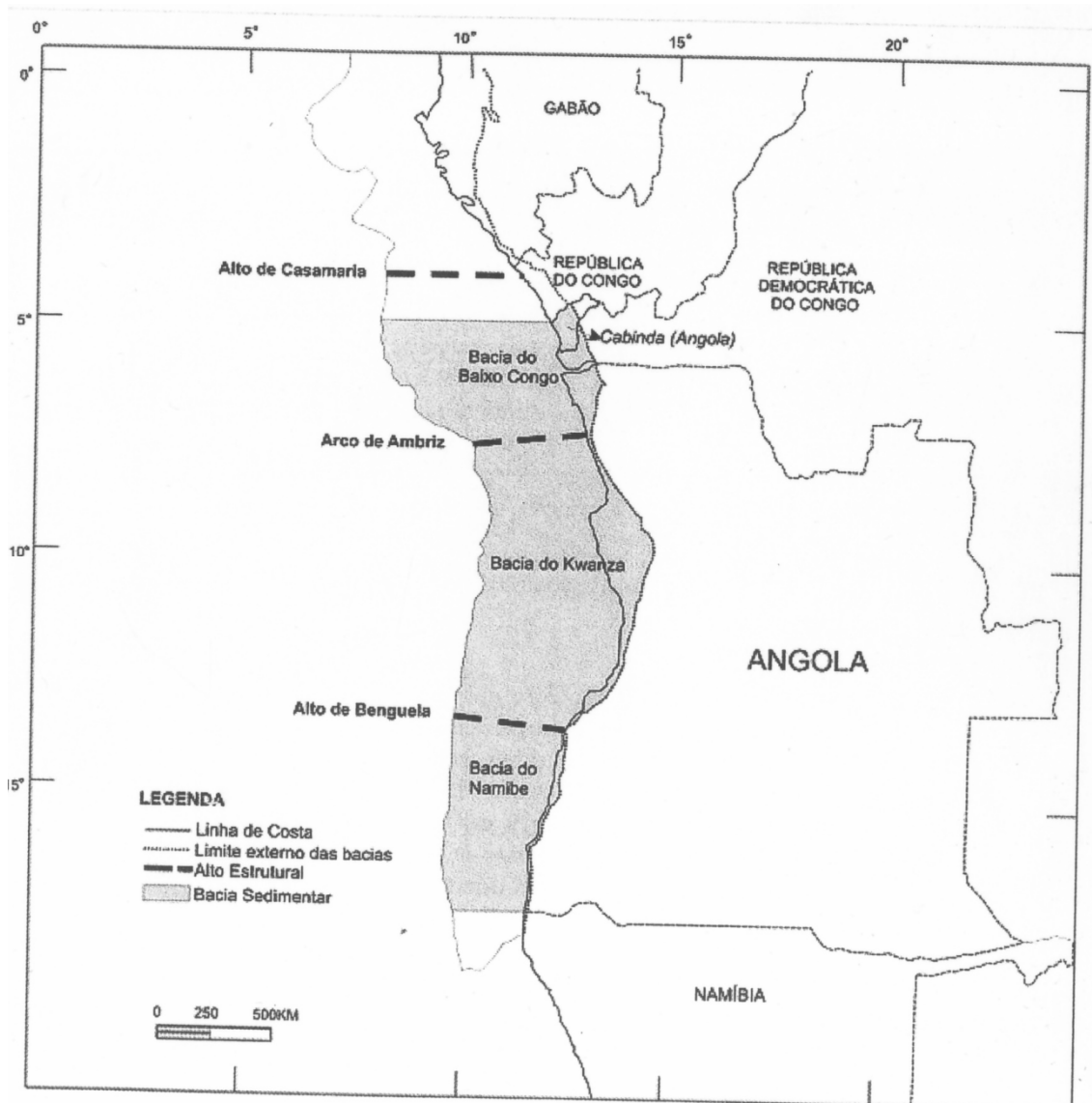


Figura 2.2: Mapa com as bacias sedimentares de Angola (Pinho e Carvalho, 2010)

### 2.3.1 - Bacia sedimentar do Cuanza

A Bacia sedimentar do Cuanza situa-se entre os 8° e 13° de latitude Sul. Apresenta três troços separados por duas cristas transversais do Pré-câmbrico: a de Ambrizete a norte e a de Lunda a sul (Schlumberger, 1991). Também pode ser dividida em duas porções: uma mais setentrional, menos condicionada pela tectónica salífera, e outra mais meridional, onde os diapiros tiveram um papel fundamental (Neto, 1970).

Do ponto de vista morfológico, a Bacia Sedimentar do Cuanza, apresenta as características comuns à maior parte do sedimentar marinho angolano, especialmente caracterizado pela existência de extensas zonas aplanadas, recobertas por areias quaternárias (Neto, 1970 & Marques, 1977). Integra unidades com idades compreendidas entre o Cretácico e o Neogénico, com uma espessura máxima que se aproxima aos 4000 metros (Burolet, 1984; Brognon & Veriere, 1991).

O enchimento sedimentar da Bacia do Cuanza, com base na natureza lítica, já foi dividido em três porções maiores (Neto, 1970):

- Porção inferior (ante-Aptiano), dominada por arenitos e conglomerados com intercalações de lutitos. Trata-se de um conjunto detrítico formado em ambiente continental que se observa sobretudo no bordo interior da Bacia;
- Porção intermédia (Aptiano), que se inicia por um espesso depósito de sal a que se seguem calcarenitos e calcários oolíticos e dolomíticos (Formações de Quianga, Binga e Tuenza). No topo desta porção intermédia surgem formações predominantemente calcárias (Catumbela e Quissonde). No conjunto, estas unidades podem atingir 2000 metros de espessura.
- Porção superior (Cenomaniano à Eocénico), caracterizada por materiais maioritariamente calcários ou margosos, por vezes com maior componente detrítica arenosa a argilosa. Regista sedimentação predominantemente marinha, condicionada por oscilações do nível do mar mais ou menos pronunciadas, estando a formação de Rio Dande associada a importante período regressivo em que se mantém a sedimentação marinha (Guiraud et al., 2010).

Em termos paleogeográficos, a sucessão registaria deposição predominantemente lagunar que seria progressivamente substituída por marinha (Buta Neto et al., 2006; Quesne et al., 2009; Guiraud et al., 2010)

Após importante discordância associada a hiato (s) de grande parte do Oligocénico observa-se um conjunto com argilas siltosas, calcários, coníferos e dolomitos cuja espessura é muito variável (200-800 m.), seguida das unidades de Cacuaco e Luanda, com maior componente calcária (Neto,

1970). Estas unidades bem como parte das referidas atrás, estão cobertas, em discordância angular, por sedimentos arenosos tendencialmente friáveis, cuja espessura pode alcançar os 50 metros, conhecidas por “areias musseques”, bem definidas em Dinis (2006).

### **2.3.2. Geologia da zona suburbana de Luanda**

A região do Mussulo é parte da zona suburbana de Luanda, integrante da bordadura sedimentar do litoral e constituindo o extremo ocidental da Bacia Sedimentar do Cuanza (Abecasis, 1958). Aqui estão apenas representados os elementos superiores da escala estratigráfica, do Terciário e Quaternário, sobretudo o último. A maior parte da área engloba-se no Plistocénico, possante depósito que recobriu uma peneplanície do terciário final, constituído essencialmente por um manto de areias assente nas formações do Miocénico e cuja espessura em alguns locais da plataforma atinge meia centena de metros (Morais et al., 1995) As areias são predominantemente de cor avermelhada (os conhecidos Musseques) e assentam em material grosseiro, cascalhento, de calhau rolado, o qual aflora nas superfícies com maior declive, principalmente nas pendentes para os vales ou depressões mais profundas Dinis (2006).

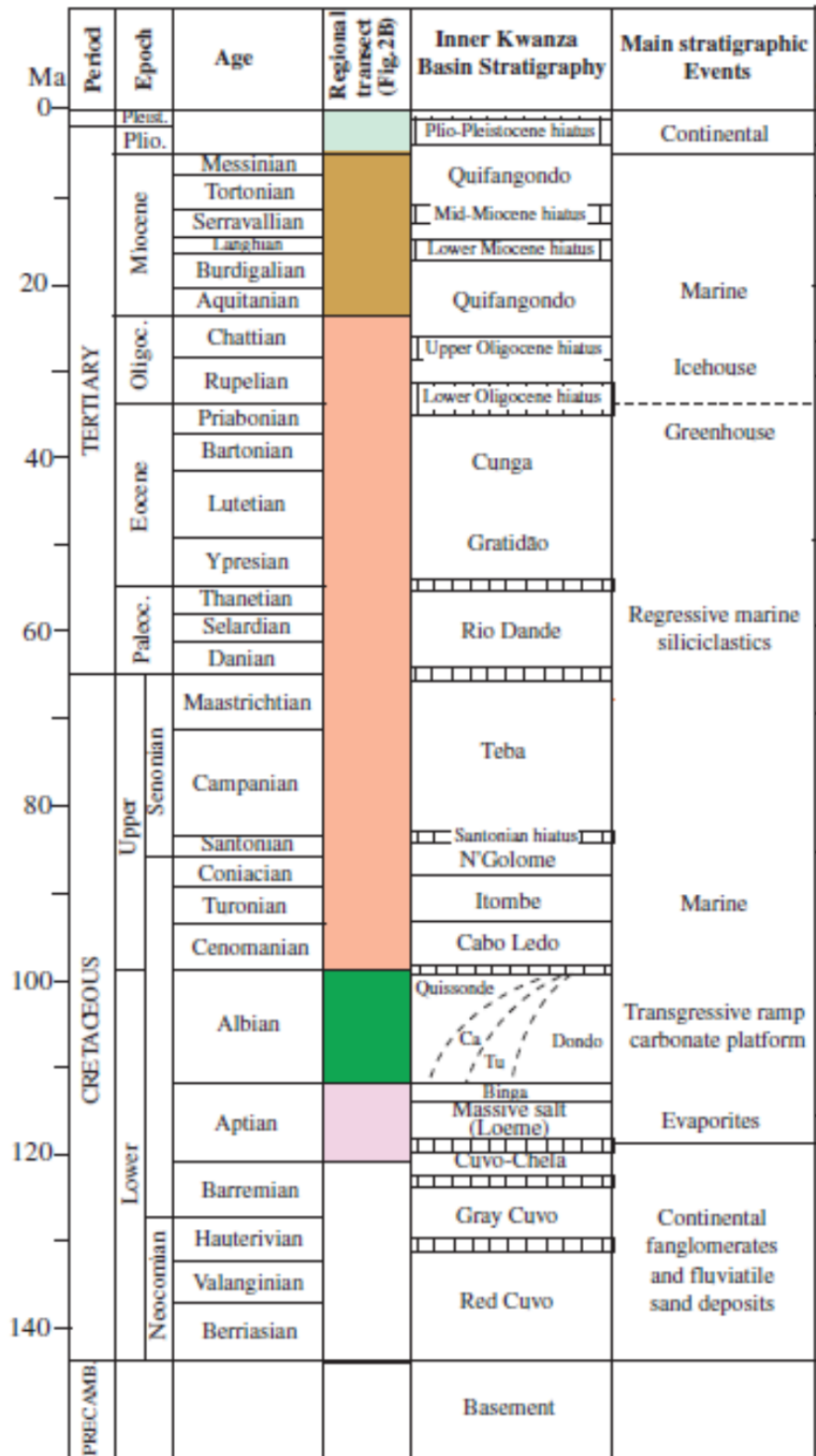
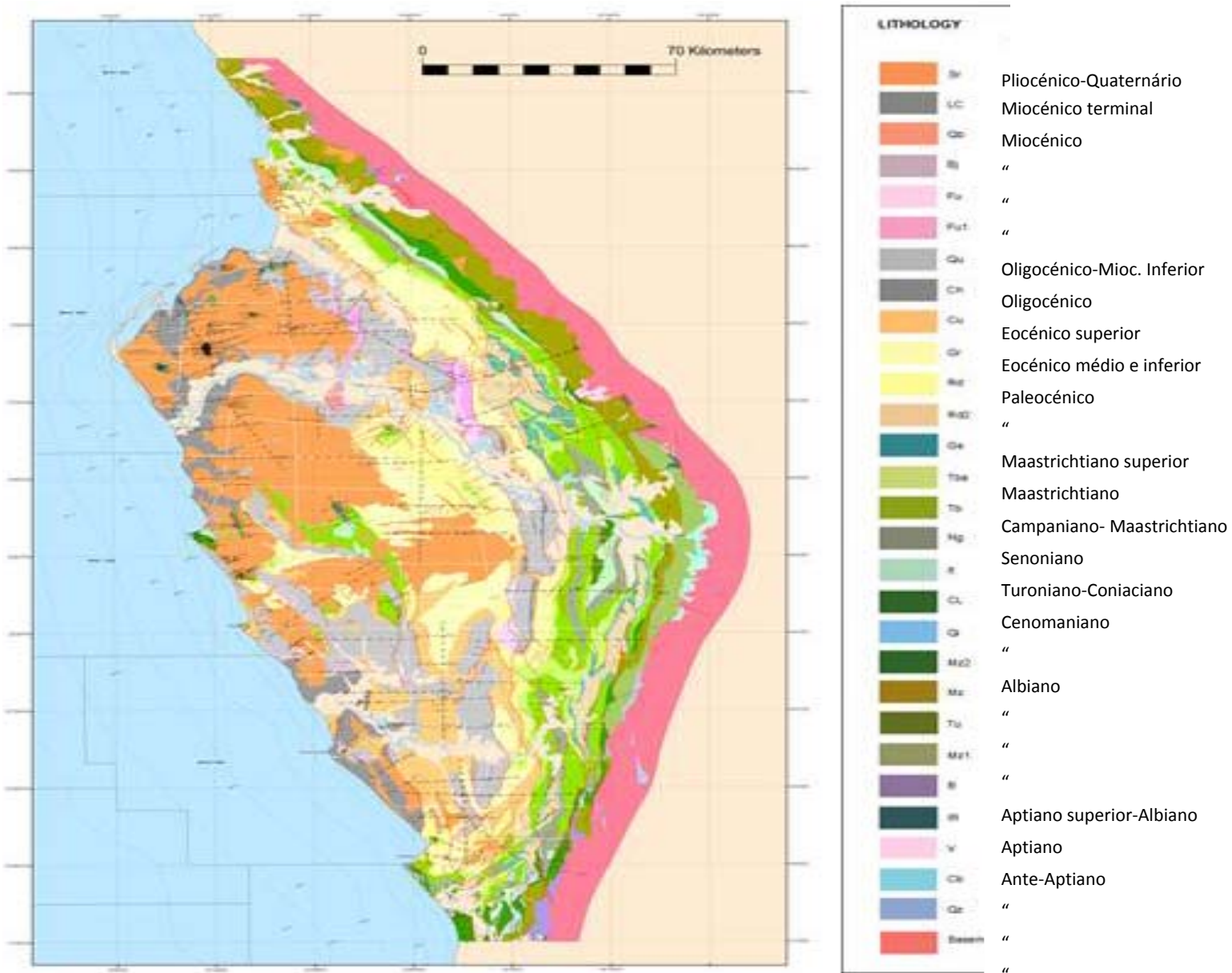
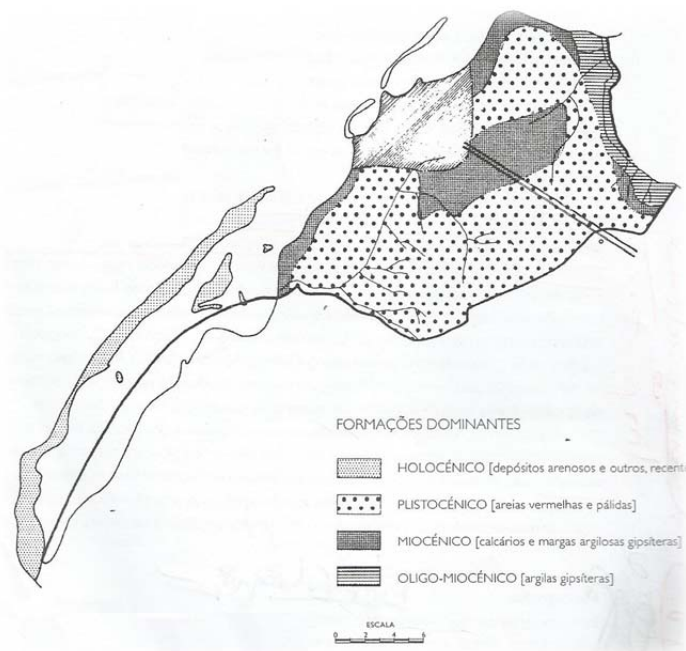


Fig. 2.3: Coluna estratigráfica da bacia do Cuanza (Guiraud et al., 2010).



**Fig.2.4:** Carta geológica da bacia do Cuanza (cortesia do departamento de produção da Sonangol)





**Fig. 2.5:** Mapa da zona suburbana de Luanda (Dinis (2006)).

As unidades do Miocénico são constituídas, essencialmente, por margas argilosas e calcários margosos. Nas regiões norte e leste de Luanda ocorrem formações do Oligo-miocénico constituídas por argilas gipsíferas e margas com intercalações calcárias. A oeste, a plataforma arenosa termina em falésia muito abrupta. Em alguns locais desenvolve-se uma estreita faixa, quase sempre muito ravinada, que corresponde a afloramentos de estratos do Miocénico, constituídos por margas argilosas gipsíferas e grés grosseiro de cimento calcário (Morais et al., 1995).

As formações do Holocénico estão representadas por depósitos recentes de natureza arenosa, que se distribuem em fita alongada e paralelamente à costa marítima. Estas deposições têm a sua origem nos acarreios que o Cuanza lança no oceano e que, por influência das correntes marítimas, são arrastados para o norte, acumulando-se ao longo da zona costeira. Assim se formam as conhecidas restingas do litoral de Luanda (Dinis, 2006).

## 2.4 - Enquadramento geomorfológico

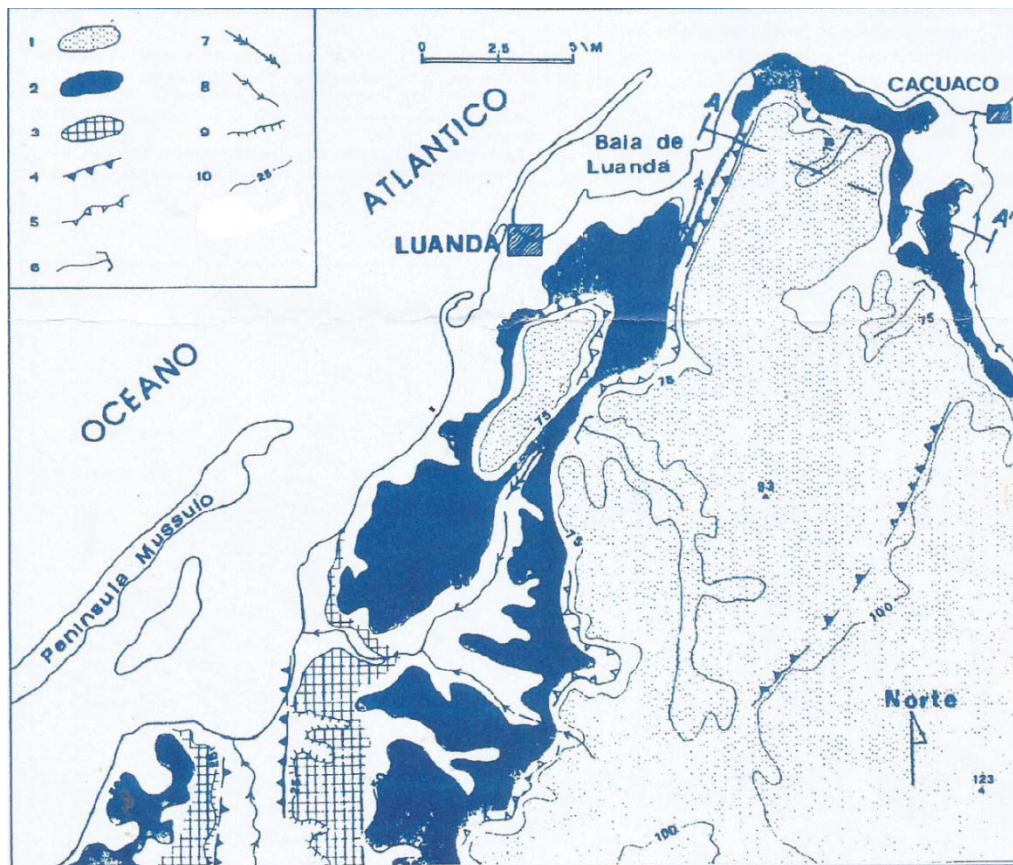
Os principais cursos de água na área ocupada pela Bacia do Cuanza são consequentes, com tributários subseqüentes, que promovem o desenvolvimento de faixas costeiras onde se intercalam unidades com

contrastes de resistência à erosão (Neto, 1970). Ao contrário das regiões do sul e sudoeste de Angola, as zonas de cabeceira, na sua maioria, não alcançam as áreas de altitude muito elevada que se enquadram na superfície V de Jessen (Feio, 1946) ou na Cadeia Marginal de Montanhas de Marques (1966, 1977). No essencial, elas estendem-se pelas superfícies III de Jessen (Feio, 1946) ou pela Zona de Transição e Orla Meridional da Bacia do Congo (Marques, 1977), e só alguns troços fluviais apresentam porções interiores no Planalto Antigo (superfície IV de Jessen, *In.* Feio, 1946, 1966).

Em estudos realizados sobre a evolução “geomorfológica” plio-quadernária do sector costeiro entre a Barra do Dande e a Barra do Cuanza, foram reconhecidas superfícies de terraço, sendo as mais altas as mais frequentes e extensas (Hélder & Paola, 1995). A mais alta, e mais antiga, encontra-se a cotas decrescentes para norte (entre 80 e 110 metros da barra do Cuanza até ao Cabo das Palmeirinhas e entre 100 e 70 metros do Mussulo a Luanda). A variação das cotas é devida a deslocamentos tectónicos e talvez a uma curvatura estrutural de grande raio, como reflexo da tectónica salífera que afectou o substrato meso-cenozóico

Em algumas localidades, sobretudo do Cabo da Palmeirinhas e Luanda, são evidenciadas algumas formas de erosão linear inactivas. A parte alta dos depósitos arenosos (últimos 6-7 metros) apresenta uma intensa rubefacção derivada de fácies de alteração pedogenética sob um clima quente e húmido, estando em desequilíbrio com as condições climáticas actualmente vigentes (semiáridos) (Hélder & Paola, 1995). Na base dos depósitos arenosos, com uma espessura de 10-15 metros, encontram-se restos de uma indústria lítica (artefactos) da idade da pedra, particularmente da cultura Olduvaiense (Clark, 1966, *in.* Helder & Paola, 1995), mostrando que a génese do terraço não pode ser mais recente que o Plistocénico inferior.

O segundo conjunto de terraços (e superfícies associadas) encontra-se a cotas variáveis de 65-50 metros. As escarpas que ligam estes terraços aos mais altos mostram, algumas vezes, um andamento rectilíneo que está relacionado com movimentos de falha. Noutros locais são mais onduladas e identificadas como paleo arribas. O terceiro nível de terraços está bem representado apenas na área do Benfica (em frente à Ilha do Mussulo), onde o topo ronda os 20 metros de cota. Encontram-se ainda esporádicas faixas de terraço mais baixo (entre 10 e 2 metros) que são suportados por sedimentos de praia ou laguna, por vezes cobertos por espessos depósitos coluviais (Carvalho, 1968; Hélder & Paola, 1995).



**Fig. 2.6:** Mapa morfológico da zona de Luanda à escala de 1:100000, adaptado de Hélder & Paola (1995). 1) Terraço de primeira ordem; 2) terraço de segunda ordem; 3) terraços de terceira ordem; 4) escarpas com controlo estrutural (paleo-arribas estrutural); 5) paleo arribas morfológicas; 6) antigos traços fluviais suspensos; 7) incisões sobre falhas; 8) principais traços fluviais actuais; 9) orla de terraços fluviais; 10) curvas de nível e cotas relacionadas.

A Restinga do Mussulo, bem como as restantes restingas que caracterizam alguns troços do litoral de Angola, está associada às correntes de deriva litoral, no sentido S-N, induzidas por ondas que se aproximam de forma oblíqua da costa. Esta restinga possui uma área de cerca de 122 km<sup>2</sup> e cerca de 34 km de comprimento com uma orientação SSW-NNE. Ela sofre a influência de tempestades austrais que provocam vagas (localmente chamadas de “calemas”) de sentido SW ou SSW (Sales, 1991).

A restinga protege um ambiente restrito, lagunar, com áreas lodosas e mangais. Esta área é doravante apresentada aqui como a baía do Mussulo. Durante a baixa-mar podem ser observados, ao longo de toda a extensão da Baía do Mussulo, acumulações associadas a leques de galgamentos que se desenvolvem durante as calemas. Enquanto a Ilha de Luanda por exemplo tem mudado de configuração, a flecha de areias do Mussulo não parece ter sofrido grandes câmbios no decurso do tempo Amaral (1968).

Os desabamentos em quase toda orla costeira da cidade de Luanda e arredores, em áreas com desníveis de algumas dezenas de metros nas proximidades da linha de costa em que afloram unidades pouco cimentadas, fazem com que a erosão das falésias seja bastante rápida (Batista, 2005). Esta erosão acelerada tem vindo a provocar notáveis danos pelos fluxos de areia que, em tempos chuvosos, invadem áreas da cidade a cotas menos elevadas. Um exemplo deste fenómeno observa-se na estrada da Boavista que liga o porto de Luanda a Cacuaco e a toda a zona norte de Luanda. Aqui, sempre que chove com intensidade a estrada torna-se intransitável devido a desabamentos na falésia próximo à rotunda da Boavista.

Espera-se que a composição química e mineralógica dos sedimentos detríticos seja, sobretudo, o reflexo da natureza dos materiais debitados pelo rio Cuanza e daqueles que derivam da área envolvente da cidade de Luanda. Naturalmente, se a contribuição desta segunda alimentação for mais importante é de prever uma maior contaminação humana.

## **2.5 - Enquadramento pedológico**

Os solos mais representativos da região em análise englobam-se em dois agrupamentos fundamentais, os “Musseques” e “Catetes” Dinis (2006).

Os Musseques, termo regional que significa terra arenosa, são os solos mais representativos da zona suburbana da capital angolana e a sua distribuição relaciona-se com a vasta plataforma do Plistocénico conhecida por “Platô de Luanda”. São solos minerais muito espessos e, associados a um relevo geral suavemente ondulado, a sua coloração varia de acordo a situação topográfica. Nos locais mais dessecados tomam cores geralmente vivas, desde o vermelho ao laranja, como geralmente acontece numa larga faixa ao longo da escarpa periférica da plataforma. Nas situações topográficas mais aplanadas são em regra alaranjados ou amarelados e nas orlas envolventes das pequenas depressões interiores tomam cores pálidas.

Os Catetes (solos argilosos, escuros, comuns em regiões tropicais) têm grande representação na bacia sedimentar do Cuanza. a sua ocorrência relaciona-se com as formações sedimentares do Terciário e dentro destas, mais directamente, com unidades do Oligo-miocénico e Miocénico superior. Na zona suburbana de Luanda a sua representação liga-se fundamentalmente a ambos os períodos geológicos, estando, de um modo geral, em correspondência com margas de intercalações calcárias, margas argilosas gipsíferas e grés calcários conquíferos. São solos minerais pardos

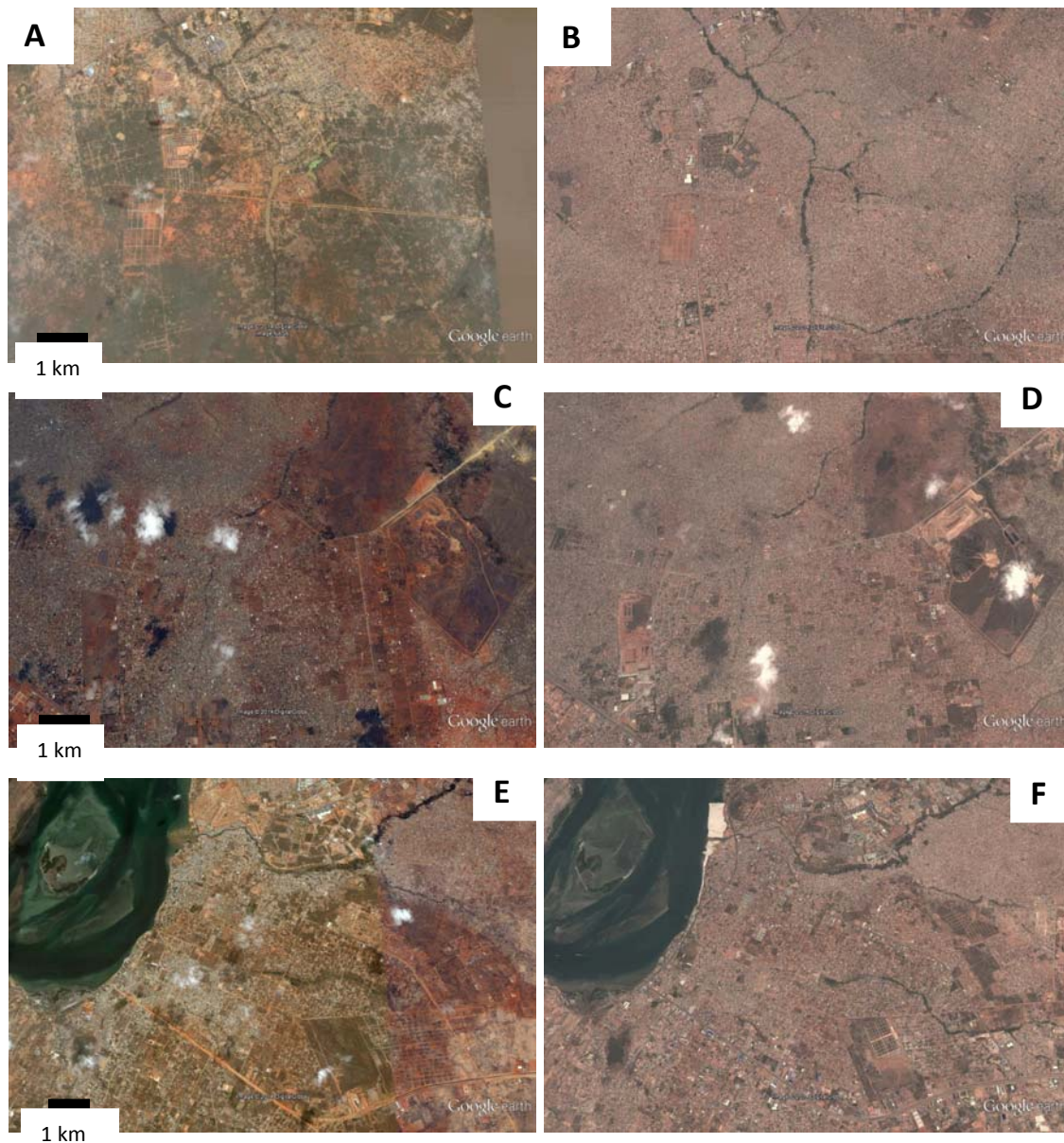
ou cinzentos, negros quando húmidos, argilosos, com fracções mineral fina, constituída por argilas expansíveis, principalmente do grupo das montmorilonites.

## **2.6 – Evolução histórica e ocupação humana da região**

Luanda segundo dados históricos, foi fundada no século XVI, por volta de 1575, altura em que os colonizadores portugueses, comandados por Paulo Dias de Novais, desembarcaram na sua costa e estabeleceram-se na Península do Cabo, hoje “Ilha de Luanda”. Um ano depois, em busca de melhores comodidades e habitabilidade, trasladaram-se para o continente, criando desta forma a vila de “São Paulo de Loanda”, que mais tarde veio a transformar-se em cidade. A nova cidade passou a designar-se “São Paulo de Assunção de Loanda”. Mais tarde, em 1641, os portugueses sentiram a concorrência dos holandeses que os expulsaram da região em 1461. Porém, sete anos depois, os portugueses retomaram-na ([www.infopedia.pt](http://www.infopedia.pt)).

Luanda foi ao longo do tempo sofrendo disputas acérrimas, a mais recente disputa tem a ver com a proclamação da independência em 1975. Depois de catorze anos de luta pela independência, iniciada em 1961, em Janeiro de 1975 foram assinados os acordos de Alvor que permitiam a Angola tornar-se independente

Porém, os movimentos que lutaram pela independência cerraram depois uma forte disputa em torno de Luanda que só terminou em 2002. Esta guerra civil, cujas consequências se alastraram por todo país, provocou um êxodo massivo das populações do interior para as cidades do litoral. Luanda não possuía condições mínimas para albergar toda a população que aos pouco se foi avolumando, formando em torno do casco urbano assentamentos populacionais periurbanos que não obedeceram a qualquer tipo de ordenamento territorial. (Fig. 2.7)



**Fig. 2.7:** Imagens satélite de alguns bairros de Luanda mostrando a sua evolução durante a última década. (A e B) Zona da Camana em 2001 e 2012, respectivamente. (C e D) Zona de Mulenvos em 2009 e 2012, respectivamente. (E e F) Zonas de Calombolo e Quifica, sobranceiras à restinga do Mussulo, em 2009 e 2013, respectivamente.

Desta forma, Luanda, aquando da sua fundação em 1575, era apenas uma pequena feitoria colonial e concebida para um pequeno número de famílias. Mas em 1800 contava já com 6500 habitantes (Amaral, 1968). No final dos anos 90 do século XX a sua população era estimada como sendo de três milhões de habitantes. Actualmente Luanda conta com praticamente 30% da população total do país Nzatuzola (2011), estimada em 5 milhões 278 mil e 775 habitantes, segundo projecções demográficas do Instituto Nacional de Estatística para 2013 (INE, 2013).

Do ponto de vista urbanístico, Luanda pode ser considerada como uma cidade mista, pois independente de ser fundamentalmente residencial é ao mesmo tempo industrial, albergando o maior parque industrial do país. Pode-se descrever Luanda, em poucas palavras, como tendo no centro a parte principal, formada pelo casco urbano, e à sua volta os bairros periféricos, alguns sem luz eléctrica, água canalizada ou ruas asfaltadas. A própria restinga do Mussulo também é vítima dos problemas que Luanda apresenta e que lá se vão arrastando com a presença de novos ocupantes.

De forma resumida, Luanda, apesar do seu pujante crescimento económico, não difere muito das outras cidades capitais do chamado terceiro mundo da África subsariana. Nela reconhecem-se as seguintes características:

- ✓ Saneamento básico quase inexistente;
- ✓ Sistema deficiente de recolha, transporte e tratamento de resíduos sólidos urbanos (nos bairros são vistos lixeiras por toda a parte, Fig. 2.8);
- ✓ Ausência de regulamentação em relação aos resíduos perigosos.



**Fig. 2.8:** Uma chaminé do aterro sanitário de Luanda, próximo a um assentamento populacional (A) e resíduos ferrosos e outros depositados a céu aberto município do Cazenga (B) (fotos do autor).

Já nos anos 60, Amaral (1968) referia que "a ausência de organização urbanística, a precariedade e a insalubridade do povoamento, o amontoamento de populações miseráveis, são infelizmente características comuns de muitos países populosos em cidades de países subdesenvolvidos". Esta realidade manteve-se até à presente data. No que respeita aos resíduos urbanos, e segundo o Programa Ambiental das Nações Unidas (PNUMA 1999), do total de lixo produzido nas cidades africanas só 20% recebe tratamento adequado e 80% são descartados em espaços abertos (Fig. 2.8).

De acordo com a Elisal, empresa de saneamento básico de Luanda, na cidade são recolhidos aproximadamente 5 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, não se sabendo ao certo o volume produzido por dia. Parte dos resíduos que possuem metais pesados são descartados a céu aberto e quando as chuvas caem são arrastados para os rios e o mar (Armando et al., 2011). Em relação às águas residuais, de um modo geral, deviam ser tratadas antes de serem lançadas, o que no caso de Luanda não acontece (Fig. 2.10). Este facto pode promover elevadas concentrações de várias espécies químicas em ambientes costeiros.



**Fig. 2.11:** Canais de drenagem das águas. (A) Na zona do museu da escravatura (B) No bairro Benfica. (fotos do autor).



## **CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA**

Neste capítulo é feita uma abordagem síntese das metodologias utilizadas ao longo do trabalho com vista a se alcançarem os objectivos preconizados.

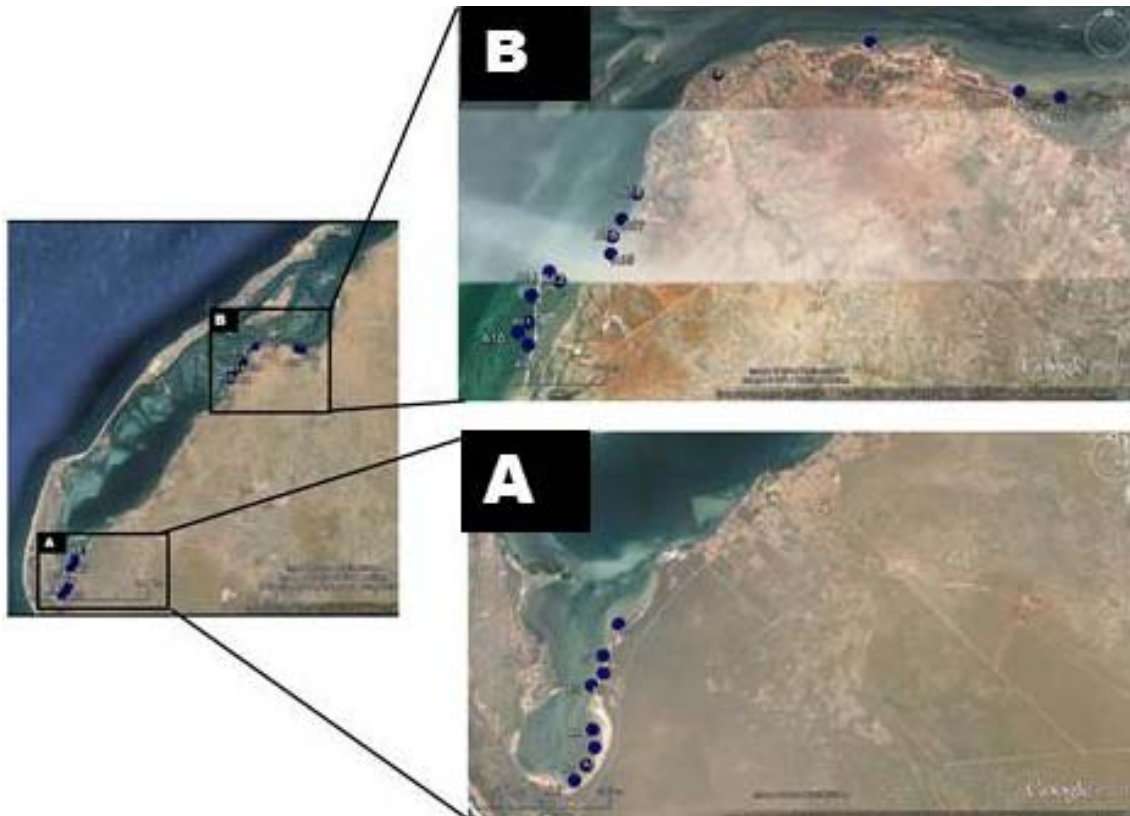
### **3.1 – Amostragem**

Foram tomadas 22 amostras que são sedimentos, ao longo da baía lado oposto da restinga (Fig. 3.1). A amostragem foi efectuada numa extensão de aproximadamente 19 km de um comprimento total aproximado de 25 km, o que representa cerca de 76 por cento da extensão da baía, desde o Cabo das Palmeirinhas até a zona da Corimba pelas medições efectuadas através do google earth.

As amostras foram colhidas de forma aleatória, as vinte e duas do lado oposto da península no mês de Outubro de 2013. Para o efeito usaram-se os seguintes matérias:

- ✓ Uma pá inox envolvida num saco de plástico para se evitar a contaminação das amostras;
- ✓ Um par de luvas;
- ✓ Sacos pequenos para colocação das amostras.

Após cada colheita em cada ponto, a pá era convenientemente lavada.



**Fig. 3.1:** Pontos amostrados da Baía do Mussulo

Tendo sido colhidas as amostras como se pode ver na Figura 3.2, foram postas a secar ao sol com as bocas dos sacos abertas e cobertas por cima para se evitar possíveis contaminações pelas poeiras transportadas pelo ar. Depois de secas foram submetidas diferentes tipos de análises designadamente; granulometria, mineralogia e análise química, nos laboratórios do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra. Na tabela 3.1 são apresentados a designação dos locais amostrados e as respectivas coordenadas geográficas.



**Fig. 3.2:** Colheita de sedimentos para a análise granulométrica, mineralógica e química.



**Fig. 3.3:** Localização de alguns pontos de amostragem na baía do Mussulo.

**Tabela 3.1:** Designação dos pontos amostrados e as respectivas Coordenadas Geográficas

Designação	Coordenadas	Designação	Coordenadas
A1	S09° 06' 12.4" E013° 00' 54.9"	A12	S09° 58' 36.3" E013° 05' 36.4"
A2	S09° 06' 04.5" E013° 01' 01.5"	A13	S09° 58' 32.2" E013° 05' 36.5"
A3	S09° 06' 12.4" E013° 00' 54.9"	A14	S08° 58' 29.6" E013° 05' 40.5"
A4	S09° 05' 45.9" E013° 01' 03.7"	A15	S08° 58' 24.7" E013° 05' 57.6"
A5	S09° 05' 23.0" E013° 01' 02.4"	A16	S08° 58' 19.7" E013° 05' 57.6"
A6	S09° 05' 16.5" E013° 01' 08.6"	A17	S08° 58' 14.7" E013° 05' 59.9"
A7	S09° 05' 07.2" E013° 01' 08.6"	A18	S08° 58' 07.1" E013° 06' 03.0"
A8	S09° 04' 50.3" E013° 01' 15.9"	A19	S08° 57' 29.4" E013° 06' 25.9"
A9	S08° 58' 45.0" E013° 05' 36.9"	A20	S08° 57' 29.7" E013° 06' 26.1"
A10	S08° 58' 44.0" E013° 05' 36.4"	A21	S08° 57' 35.0" E013° 07' 57.9"
A11	S08° 58' 43.6" E013° 05' 36.2"	A22	S08° 57' 36.9" E013° 08' 10.0"

## 3.2 – Descrição dos Métodos de Análise utilizados

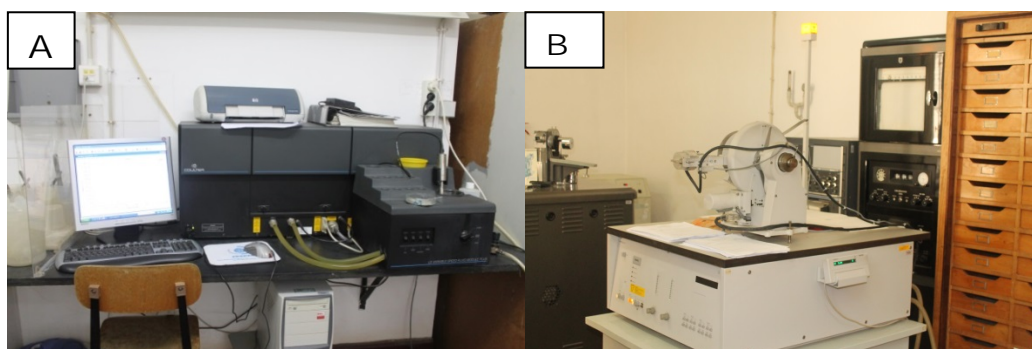
### 3.2.1 – Granulometria

Uma parte da amostra foi submetida a análise granulométrica por difracção Laser. Após remoção da fracção superior a 2 mm, uma porção de sedimento foi depositada num granulómetro laser Coulter LS 230 que tem a capacidade de medir a dimensão de partículas com 0,4 a 2000 µm (Fig. 3.5). Os resultados baseiam-se numa escala de “crivos” com incrementos  $1/2\phi$  ( $\phi = -\log 2$  diâmetro, com diâmetro em mm). Foram considerados os “crivos” de 0,5 µm, 0,71 µm, 1 µm, 1,4 µm, 2 µm, 2,8 µm, 4 µm, 7,8 µm, 11 µm, 15,6 µm, 22 µm, 31 µm, 38 µm, 63 µm, 90 µm, 125 µm, 250 µm, 355 µm, 500 µm, 710 µm, 1000 µm, 1400 µm e 2000 µm. Os resultados foram introduzidos em folhas de cálculo excel

para determinação da média e a classe modal, através do método dos momentos Krumbein e Pettijohn, (1938); Friedman, (1979).

## 2.2.2 – Mineralogia

A composição mineralógica foi efectuada através do difractómetro de RX Philips PW 3710 a partir da interpretação dos difractogramas fornecidos pelo software APD 3.6J-Automatic Powder Diffraction da Philips. As amostras passaram no RX com um avanço de  $1,2^{\circ}$ /minuto. Foram efectuadas análises para a “amostra total” e para a “fracção argilosa”. Com a composição da amostra total pretende-se estimar as proporções minerais no sedimento colhido no terreno e com a composição da fracção argilosa as proporções na fracções mais finas, que geralmente são mais importantes para a determinação das condições ambientais.



**Fig. 3.4:** Alguns equipamentos usados na determinação da granulometria, e a mineralogia dos sedimentos. (A) Granulómetro laser Coulter LS 230. (B) Difractómetro de RX.

### 2.2.2.1 - Fracção Argilosa

A composição mineralógica da fracção argilosa foi determinada nas fracções inferiores a  $0,0002\text{mm}$ . Para separação das fracções mais grosseiras, as amostras foram peneiradas em crivos com malhas de  $2\text{mm}$  (via seca) e  $0,063\text{mm}$  (via húmida). Para separação da fracção inferior a  $2\ \mu\text{m}$  criaram-se suspensões a partir da fracção inferior a  $63\ \mu\text{m}$ . Sempre que necessário juntaram-se 2-3 gotas de amónia diluída a 10%. As amostras mais difíceis de suspender foram lavadas com água desionizada. Após obtenção de boas

suspensões, a fracção inferior a 2 µm foi separada por centrifugação segundo a lei de Stokes, sendo montadas lâminas sedimentadas desta fracção sem qualquer tratamento e passadas por DRX no intervalo de 2 a 30°.

#### 2.2.2.2 - Amostra Total

Para a fracção mineralógica da amostra total, foi quarteada e separada uma amostra que foi posteriormente partida num cadinho de Ferro com ajuda de um martelo, esmagada e seguidamente moída no almofariz. Depois de moída, a amostra foi montada num porta amostra de alumínio e colocada no difractómetro de RX para a obtenção (identificação) dos resultados. A identificação foi feita recorrendo ao ficheiro STM (American Society For Testing And Materials).

#### 2.2.3 – Análise Química

Para análise química, a amostra foi primeiramente seca a 50°C e crivada a 2 mm e a 0,180 mm. Esta última fracção foi enquartada para se obter a quantidade necessária à análise química. Pesaram-se cerca de 0,5 g de amostra à qual se adicionou 3 ml de Ácido Nítrico a 65% e 9 ml de Ácido clorídrico a 37%. A digestão foi efectuada em microondas (Microwave PRO da Anton Paar) a uma temperatura de 160° e uma pressão de 15 bar, durante 1 hora. O soluto resultante deste ataque foi transferido para balões volumétricos de 100ml e aferidos com água destilada, sendo posteriormente filtrada num filtro pré-lavado e armazenada em frascos de polietileno. Para a obtenção dos resultados foram utilizadas diferentes técnicas função do elemento a analisar:

Para o cálcio, cobalto ferro, magnésio, níquel e zinco, foi utilizada a Espectrofotometria de Absorção Atómica (AAS) por chama. Para o Arsénio e o Chumbo a Espectrofotometria de Absorção Atómica com Forno de Grafite (GFAAS) da sigla em inglês (Fig. 3.5B) e para o Mercúrio foi utilizada técnica de Absorção Atómica por Geração de Hidretos (HGS).



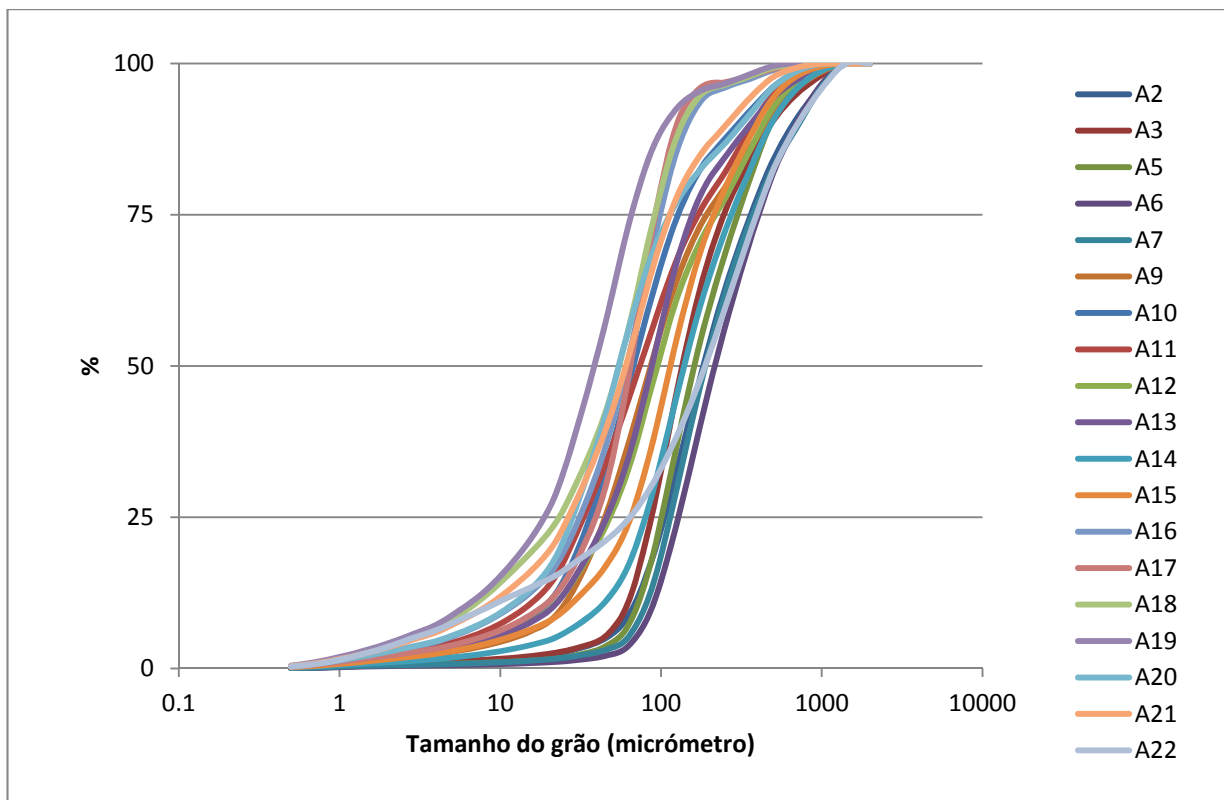
**Fig. 3.5** (A) Tratamento das amostras para análise química. (B) Um dos equipamentos usados para a análise química, o Espectrofotômetro de Absorção Atômica FS95 Furnace Autosampler.



## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS OBTIDOS

### 4.1 – Granulometria

Os sedimentos amostrados apresentam granulometria relativamente homogênea, com claro domínio de partículas de dimensões compreendidas entre 10  $\mu\text{m}$  e 500  $\mu\text{m}$ . A Figura 4.1, com as curvas de distribuição cumuladas das várias amostras, revela uma gama contínua de distribuições entre a amostra A6 (mais grosseira) e a amostra A19 (mais fina). A amostra A22 distingue-se por a sua curva cumuladas cruzar as outras, indicando uma distribuição mais aberta.



**Figura 4.1.** Curvas granulométricas cumulativas dos sedimentos amostrados.

As distribuições granulométricas, quando vistas em gráficos de frequências relativas, podem ser organizadas, na sua maioria, em quatro grupos (Fig. 4.2).

- No primeiro grupo estão as amostras A2, A3, A5, A6, A14 e A15. A maior parte dos sedimentos deste grupo posiciona-se na posição mais interior, isto é, mais a sul, da baía do Mussulo. Tratam-se de amostras relativamente grosseiras, que se destacam pela presença de quantidades elevadas de areia (75,9-96,3%) e secundárias de silte (3,1-20,9%) e a argila (0,9-4,10%). Todas estas amostras são unimodais e a moda situa-se sempre na classe granulométrica de 177-250  $\mu\text{m}$ . De entre estas, a amostra A7 é a que apresenta maior quantidade de areia, enquanto a amostra A2 apresenta a maior quantidade de argila e a amostra A15 maior quantidade de silte.

- No segundo grupo, encontram-se as amostras A9, A10, A11, A12, A13 e A16. São todas provenientes da porção ocidental da zona mais a norte da área estudada. Neste grupo de amostras a fracção de areia também é dominante, mas as suas percentagens são ligeiramente inferiores às observadas no primeiro grupo (52,7-64,9%). Este grupo caracteriza-se por quantidades relativamente elevadas de silte (29,6-43,1%) e reduzidas de argila (4,1-4,59%). Quando comparadas com as amostras do primeiro grupo, estas apresentam distribuições mais abertas e tendência bimodal. A moda dominante oscila entre 63-88  $\mu\text{m}$  e 88-125  $\mu\text{m}$ . Observa-se uma moda secundária, mais grosseira, na classe granulométrica de 125-177  $\mu\text{m}$ . A amostra A10 apresenta as maiores quantidades de areias, as maiores quantidades de argila observam-se na amostra A2 e o silte é mais comum na amostra A13.

- O terceiro grupo é constituído pelas amostras A1, A8, A19, A20, A21. A maioria destes sedimentos foi colhido na zona mais norte, mais próxima da cidade de Luanda. Todas as amostras se distinguem por um pronunciado carácter bimodal. A moda de menor calibre, sempre associada a maiores valores de frequência, pode situar-se na fracção granulométrica de 63-88  $\mu\text{m}$  ou de 88 e 125  $\mu\text{m}$ ; a segunda moda posiciona-se na classe granulométrica de 177-250  $\mu\text{m}$ . No que respeita às proporções das várias fracções granulométricas, verifica-se que a dominante tanto pode ser a de areia (26,6-85%) como a de silte (13,2-63,8%). Também aqui as quantidades de argila são secundárias (1,7-9,5%). A amostra A1 apresenta maior quantidade de areia, enquanto a amostra A19 apresenta maior quantidade de argila e de silte.

- No quarto grupo aparecem duas amostras (A16 e A17), ambas da porção ocidental da zona mais a norte da baía do Mussulo. As distribuições granulométricas destas amostras são particularmente bem calibradas. Integram quantidades de areia (48,5-51,6%) apenas ligeiramente superiores às de silte (44,2-45,7%). Novamente, a argila aparece em quantidades menores (4,1-5,6%). A amostra A17 apresenta as maiores quantidades de argila e de silte com 46%, enquanto a amostra A16 aparece com maior quantidade de areia. Observa-se uma moda claramente dominante nestas duas amostras na fracção 88-125  $\mu\text{m}$  e uma moda secundária aos 500-710  $\mu\text{m}$ .

As amostras A8 e A22 apresentam curvas granulométricas muito diferentes das restantes, não se enquadrando em qualquer grupo. A amostra A8 é constituída quase exclusivamente por areia (96%), observando-se apenas 2,7% de silte e 0,5 % de argila. A sua moda está na classe granulométrica 355-500  $\mu\text{m}$ . A amostra A22 tem uma distribuição mais aberta, sendo composta por 75,2% de areia, 16,7% de silte e 7,9% de argila. A moda situa-se igualmente na fracção 355-500  $\mu\text{m}$  (Fig.4.3).

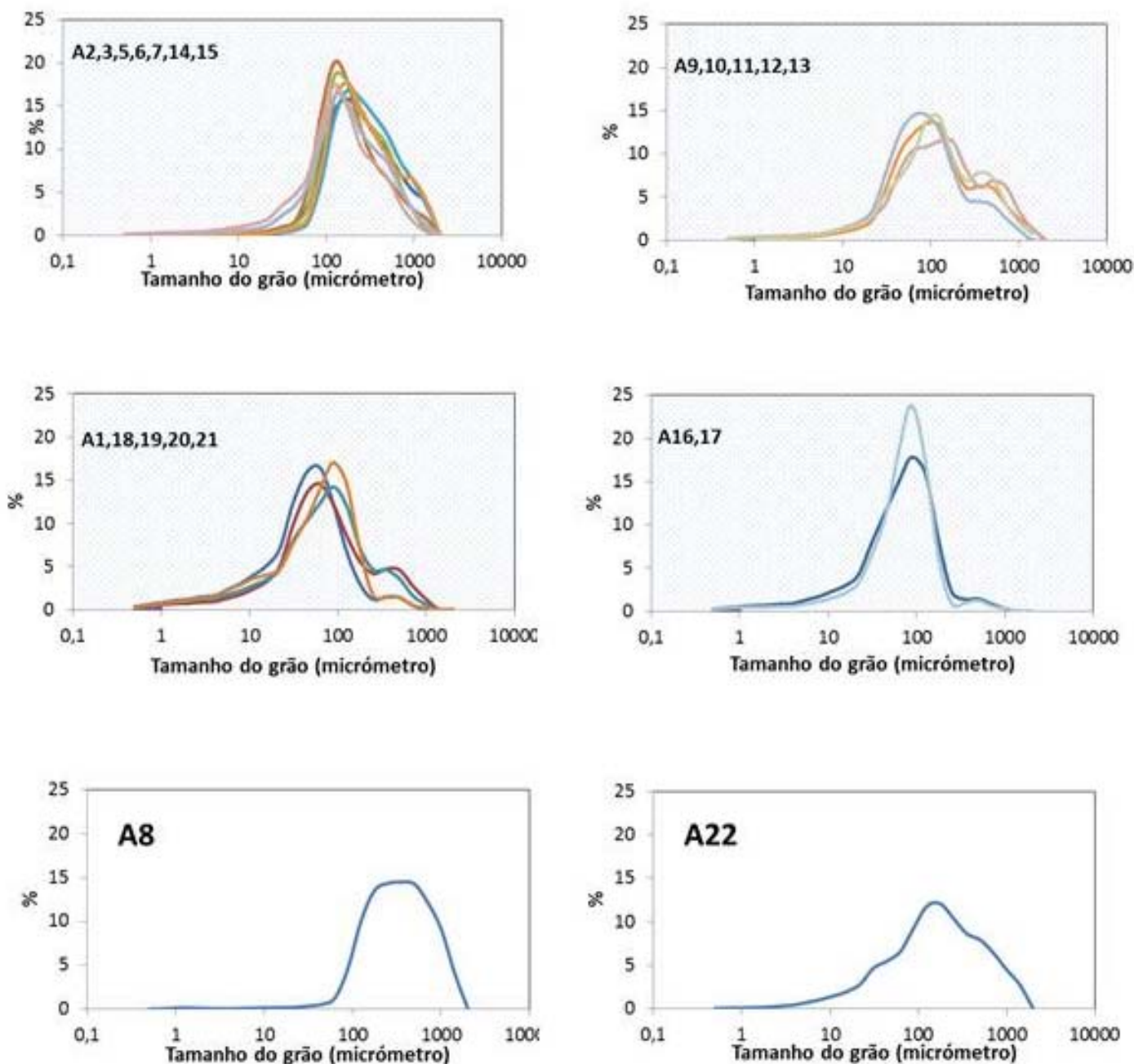


Figura 4.2. Organização das curvas granulométricas em função de aparentes afinidades.

Em termos globais, e em síntese, os sedimentos do terceiro grupo, e em particular as amostras A18 e A19, são as que apresentam maiores quantidades de argila e silte e menores quantidades de areia (Fig. 4.4). Estas amostras foram colhidas na região entre o museu da escravatura e o bairro Benfica, portanto mais ao norte da baía. As amostras do primeiro grupo, bem como a A8 são as que apresentam maiores quantidades de areia e menores quantidades de argila e silte. Estas amostras foram colhidas na região do cabo das Palmeirinhas, com excepção das amostras A14 e A15, que foram colhidas na porção ocidental da zona norte.

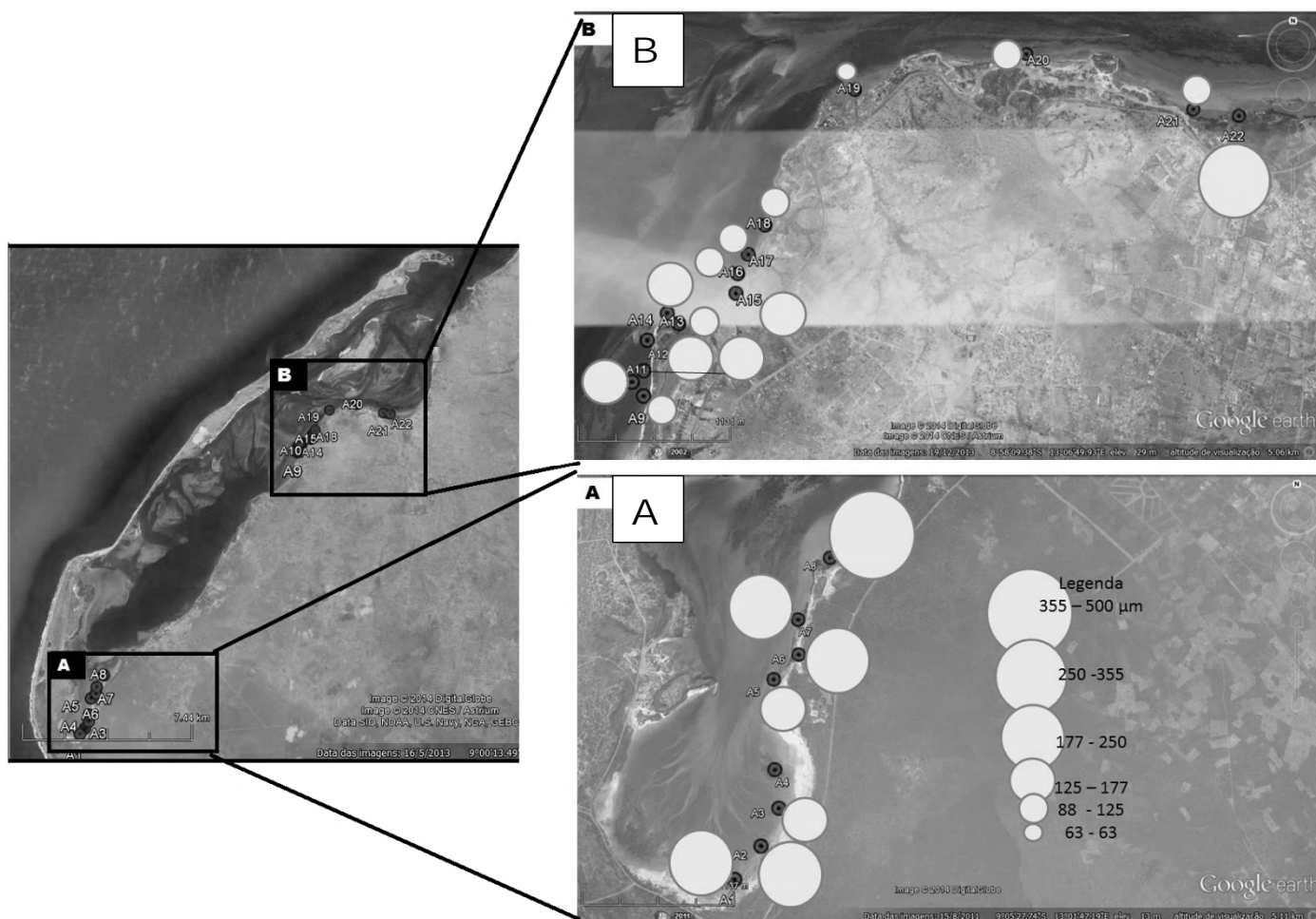
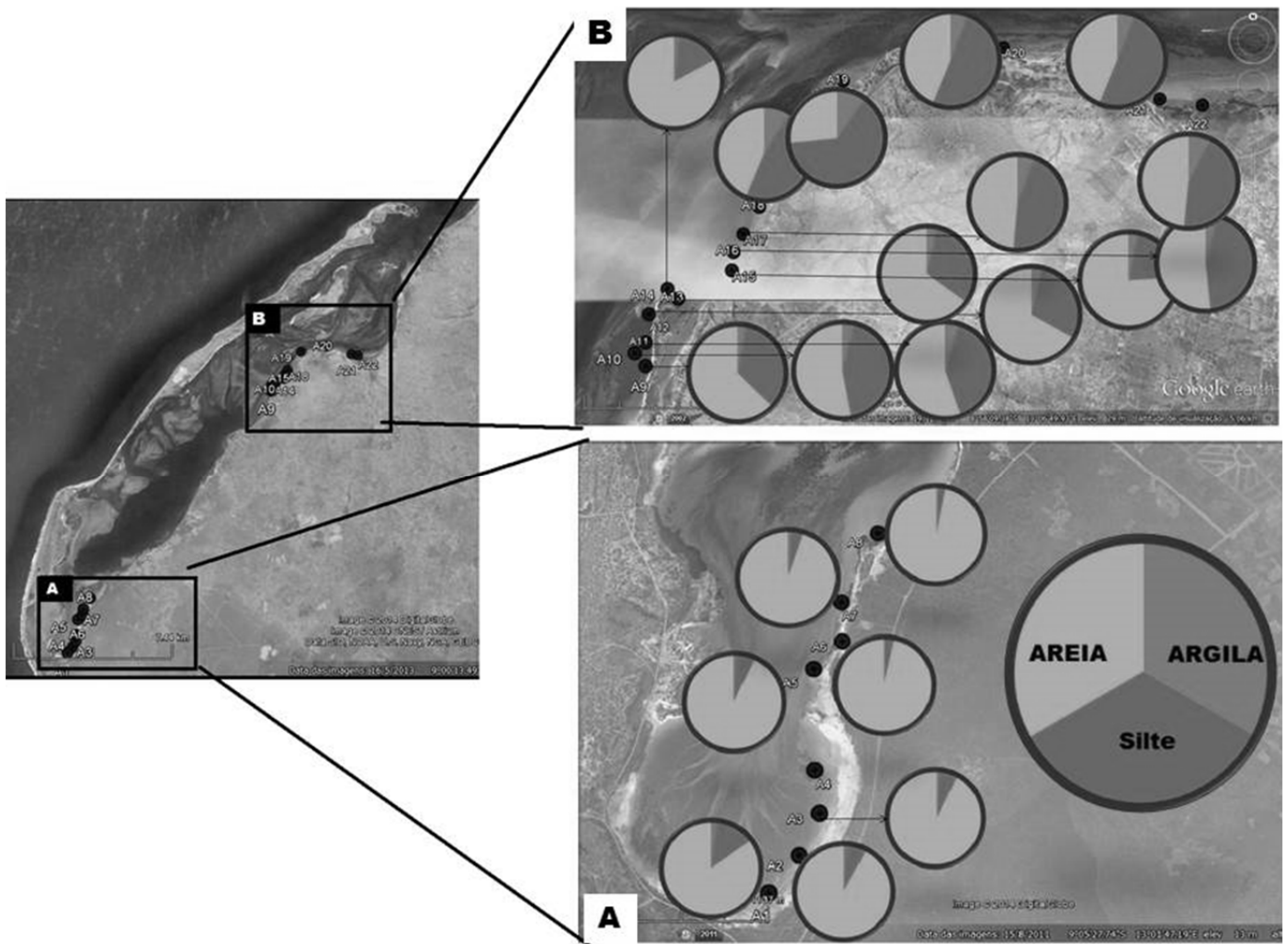


Figura 4.3: Classe modal dominante ao longo da baía do Mussulo.

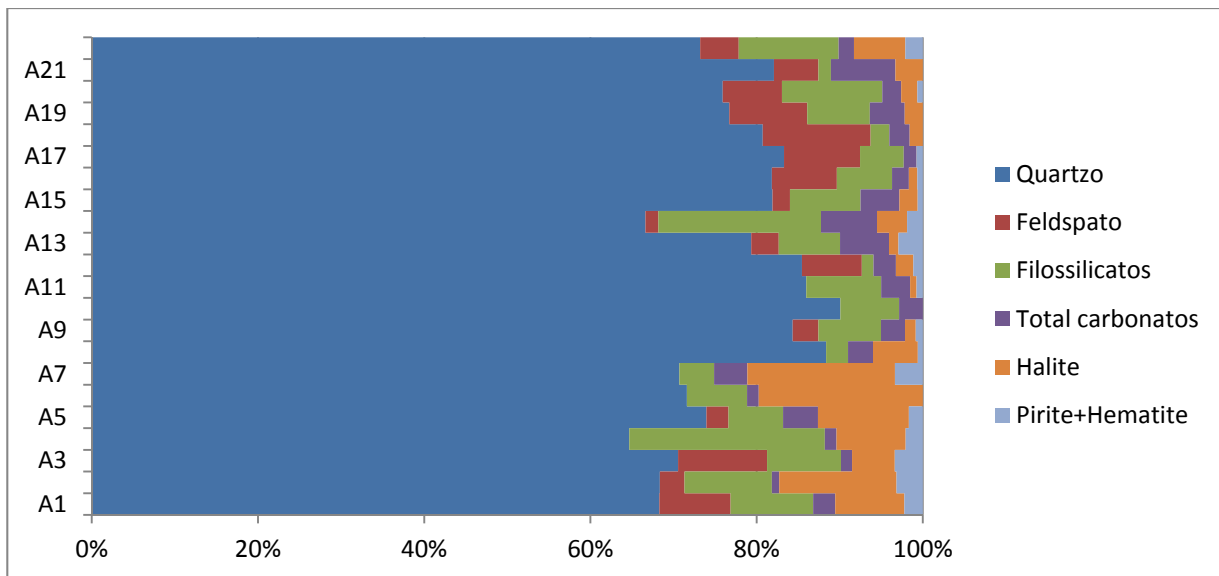


**Figura 4.4:** Distribuição espacial das principais frações granulométricas.

## 4.2 - Mineralogia

### 4.2.1 - Amostra total

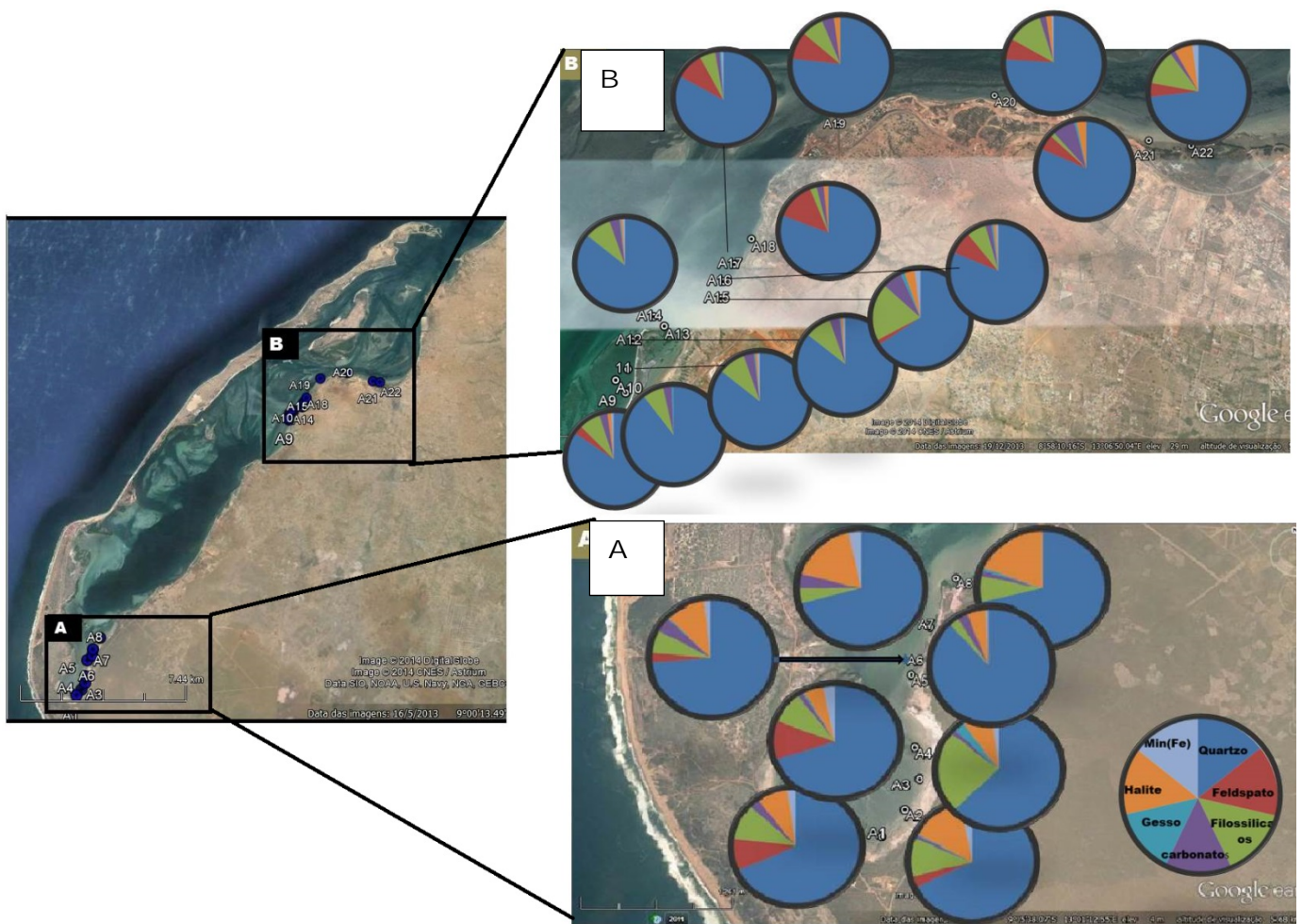
A análise efectuada para a amostra total mostra que o quartzo (64-90%) é o mineral melhor representado em todas as amostras. Na ordem de expressividade, depois do quartzo, seguem-se os filossilicatos (1-23%), a halite (1-20%), os feldspatos (2-11%), os carbonatos (1-8%) e os minerais de ferro (a pirite+hematite) (1-3%) (Fig. 4.5).



**Figura. 4.5:** Proporções das principais espécies minerais identificadas nas amostras estudadas.

De forma específica, por mineral, podemos destacar os seguintes aspectos.

- Quartzo: as quantidades de quartzo são maiores na amostra A10 e menores na amostra A4. É sobretudo na zona mais a norte da baía do Mussulo que as quantidades de quartzo se apresentam maiores.
- Feldspato: os feldspatos apresentam o seu menor valor na amostra A15 e o seu maior valor na amostra A3. Não estão presentes nas amostras A4, A6, A7, A8, A10 e A11. As quantidades deste mineral são geralmente maiores na zona mais a norte, apesar das amostras A1 e A3, do zector meridional, também apresentarem valores muito expressivos.
- Filossilicatos: estão em menor quantidade na amostra A12 e em maior quantidade na amostra A4. A sua distribuição nos pontos amostrados é muito uniforme, observando-se apenas um valor muito superior ao da generalidade dos sedimentos na amostra A4.
- Carbonatos: os carbonatos (calcite mais dolomite) aparecem em menores quantidades na amostra A2 e em maiores quantidades na amostra A21. Apresentam-se geralmente em maiores proporções na região setentrional da baía. As amostras A5 e A7 apresentam quantidades ligeiramente mais elevadas deste mineral que as restantes da zona sul da baía.
- Gesso: está representado em 13 amostras (A2, A3, A4, A5, A6, A10, A11, A12, A13, A14, A16, A17 e A18), mas quase sempre com valores abaixo de 1%. As amostras A4 e A14 são as que apresentam maiores quantidades de gesso, com 3 e 1%, respectivamente. As amostras A1, A7, A9, A14, A18, A19, A20 e A22, não apresentam vestígios de gesso. Este mineral é tendencialmente mais comum na zona sul da baía; a norte não está presente ou surge em quantidades residuais (Fig. 4.6).



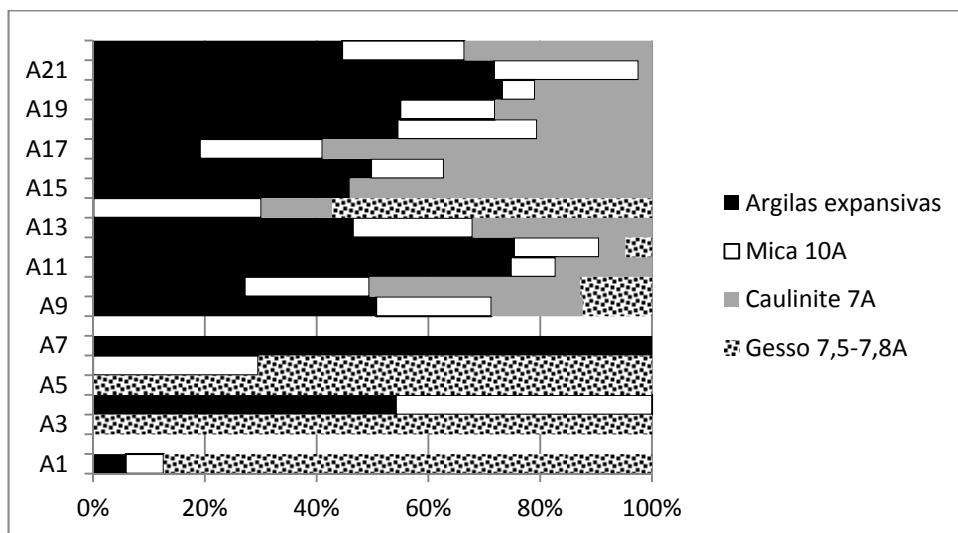
**Figura. 4.6:** Distribuição espacial das diferentes espécies minerais identificadas na amostra total.

- Halite: aparece melhor representada na amostra A6 e em menor quantidade na amostra A11 com. As amostras A10 e A17 ou não possuem halite ou apresentam apenas quantidades residuais. Está melhor representado na zona sul, nas amostras A1 a A8, ao passo que, na zona norte aparece, em proporções bastante baixas.
- Minerais de ferros: os minerais de ferro identificados são a pirite e a hematite. Apesar destes minerais se associarem a condições ambientais muito distintas (hematite em ambiente oxidante e pirite em ambiente redutor), eles são apresentados em conjunto por geralmente ocorrerem em quantidades residuais. Estes minerais só não estão representados nas amostras A6, A10, A18 e A19. As maiores quantidades de hematite foram observadas na amostra A14 (2 %) e as maiores de pirite foram observadas na amostra A3 (3 %). É importante referir que tanto para a pirite como a hematite, as maiores frequências observaram-se em pontos localizados em pequenos grupos de amostragens: no caso da hematite, em torno das amostras A13 e A14, na zona mais

ocidental do sector norte da baía; no caso da pirite, nas amostras A1, a A7, portanto dispostaa mais a sul

#### 4.2.2 - Fracção argilosa

Quanto à fracção argilosa, o conjunto de amostras analisadas apresenta quantidades muito variáveis de gesso (até 100%), argilas expansivas (até 75%) e caulinite (até 54%), podendo qualquer um destes minerais ser dominante. A mica-ilite aparece geralmente em quantidades secundárias (0-45 %). As amostras A2 e A8 não foram analisadas por apresentarem quantidades residuais de fracção argilosa, não tendo sido possível preparar lâminas sedimentadas. Abaixo é apresentado um mapa com a distribuição espacial da fracção mineralógica argilosa na zona amostrada (Fig. 4.7).



**Figura. 4.7.** Proporções minerais na fracção argilosa das amostras estudadas.

De forma específica, por mineral, podemos fazer as seguintes considerações:

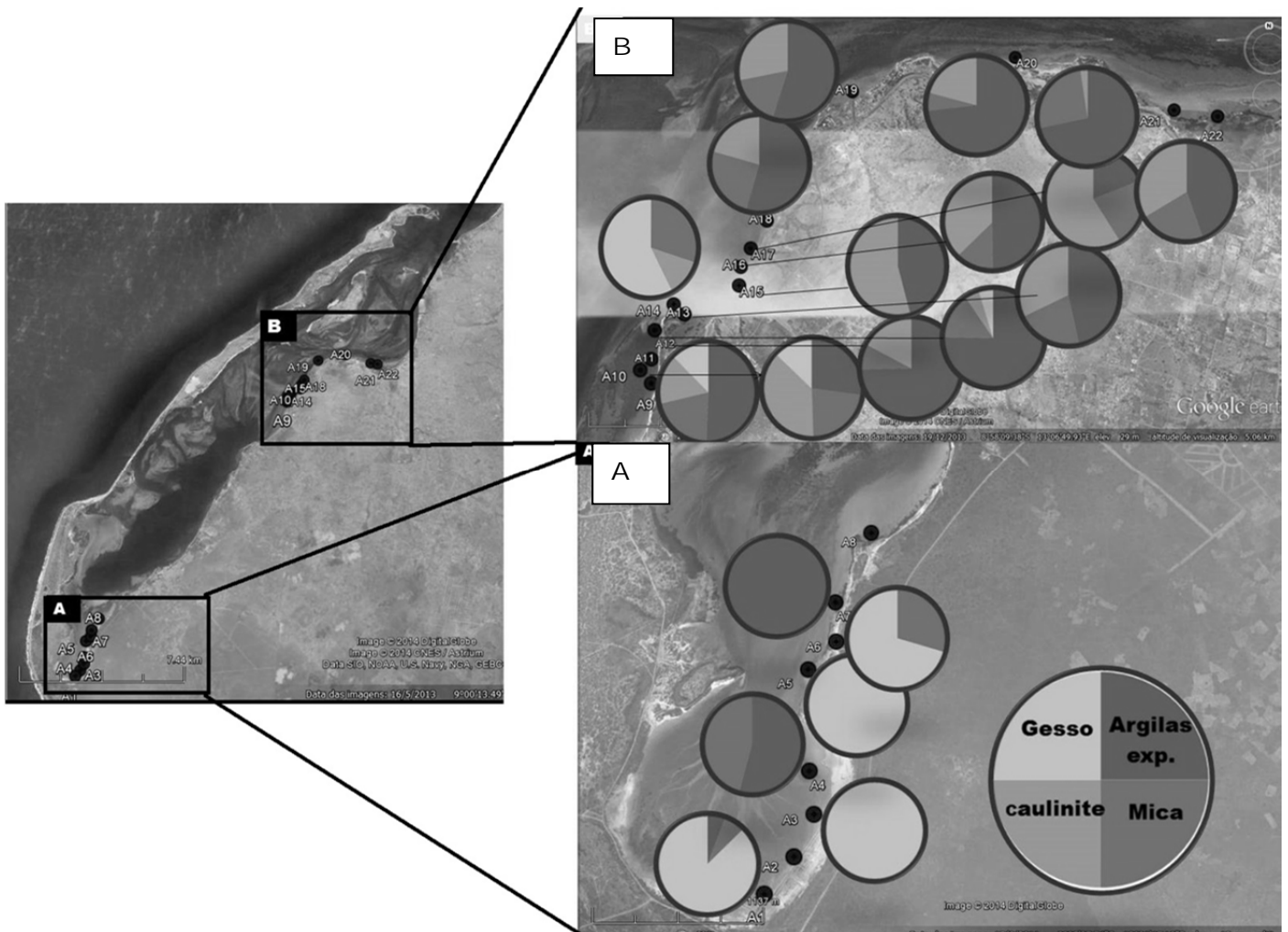
- Gesso: O gesso aparece em oito amostras, designadamente, A1, A3, A5, A6, A9, A10, A12 e A14. As amostras A3 e A5 são as únicas que apresentam na sua constituição 100% de gesso, facto que as diferencia das outras. As suas quantidades são maiores na zona mais a sul da baía e, com a excepção das amostra A9, A10 e A14, do sector ocidental da zona norte, não se observa na zona mais setentrional.

- Argilas expansivas: aparecem em maiores quantidades na amostra A11 e com menor expressão na amostra A12. As amostras A3, A5 e A6 são as únicas que não apresentam



argilas expansivas. São predominantes na zona mais a norte da baía. Na zona sul, as quantidades de argilas expansivas são geralmente reduzidas, ainda que as amostras A5 e A7 se destaquem por apresentarem mais de 50% ou revelarem apenas por este grupo de minerais.

- Caulinite: este mineral não está representado nas amostras A1, A3, A4, A5, A6. As suas quantidades são máximas na amostra A15. A caulinite apresenta-se com maior expressão na zona mais a norte da Baía (Fig. 4.8).



**Figura. 4.8:** Variações espaciais da mineralogia da fracção argilosa ( $< 2 \mu\text{m}$ )

- Mica-ilite: embora geralmente sem ser um mineral dominante ele está quase sempre presente, só não aparecendo nas amostras A1, A3 e A5. As maiores quantidades são observadas na amostra A4, da região sul, ainda que seja geralmente mais comum na região norte da baía.

## 4.2 - Composição química

Verifica-se uma certa tendência para muitos elementos químicos serem mais ou menos comuns em diferentes zonas. Estas tendências podem ser verificadas nos mapas de distribuição que se baseiam numa escala de cores. Fez-se a organização das cores, em função de percentis seleccionados: vermelha para teor do elemento acima do percentil 75; laranja para teor do elemento entre os percentis 50 e 75; amarela para teor do elemento entre os percentis 50 e 75; verde para teor do elemento abaixo do percentil 25.

O arsénio está representado em todas as amostras, com quantidades variáveis entre 0,09 e 31,49 ppm. Ao analisar a sua distribuição, verifica-se que ocorre em quantidades muito variáveis em todo a área estudada, com pontos de elevada concentração em diferentes posições nas proximidades de outros com baixas concentrações (Fig. 4.9).

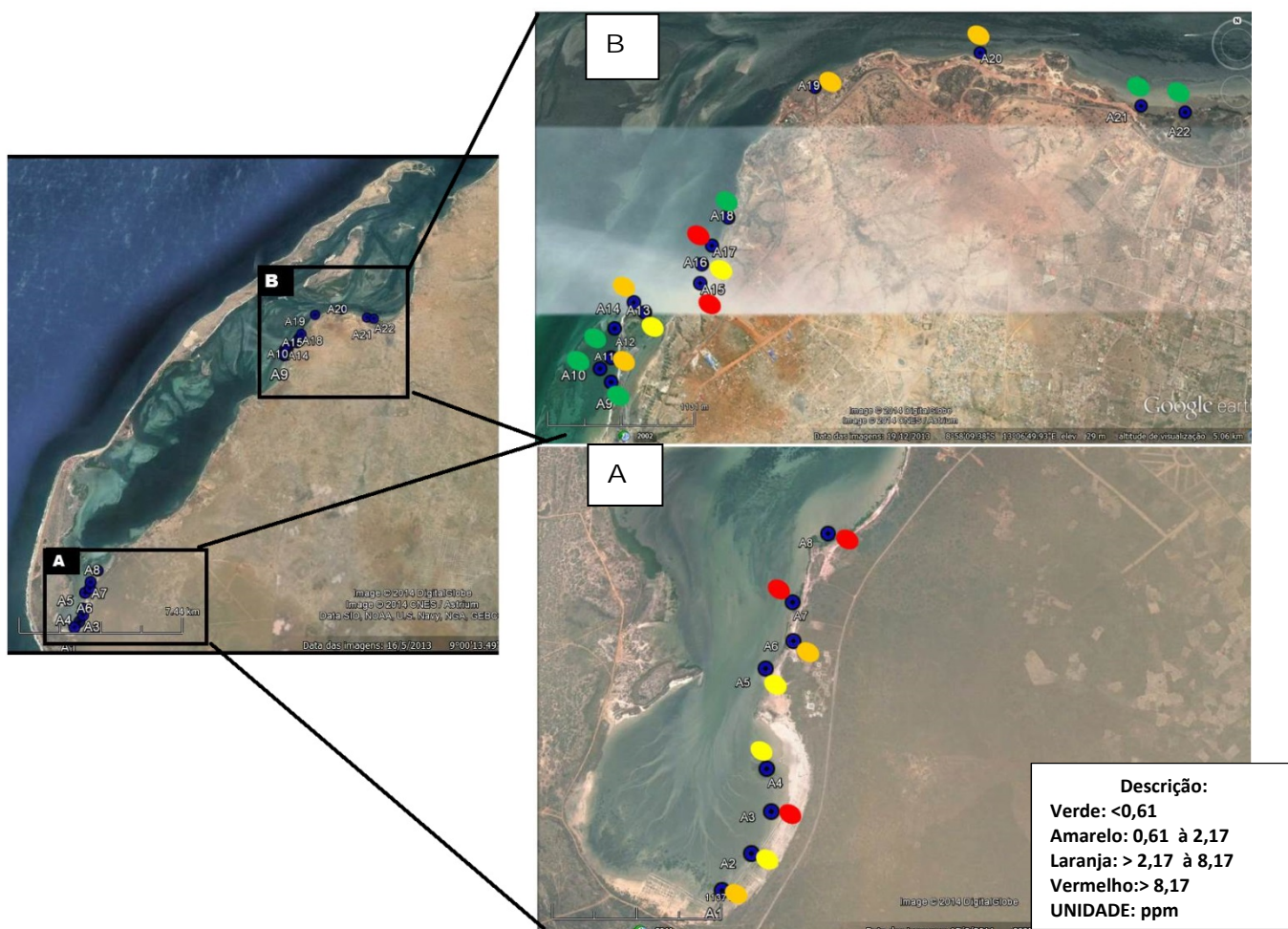


Figura. 4.9: Distribuição espacial do arsénio.

Os teores de cálcio variam entre 344 (A22) ppm e 19 824 ppm (A4). As maiores quantidades de cálcio foram encontradas nos pontos A1, A3, A4, A5 e A6, todos na zona sul da baía próximo ao Cabo das Palmeirinhas (Fig.1.1). Quantidades moderadas também se registam nos pontos mais ocidentais do sector norte (A9, A13, A15, A16, A17 e A18). De maneiras que aqui, à semelhança do que acontece com o arsénio, o cálcio não apresenta qualquer tendência de distribuição espacial clara (Fig. 4.10).

No que respeita ao chumbo, das amostra A1 a A14 amostras, mais a sul e do sector mais afastado de Luanda da região norte, ele aparece representado apenas em quatro (A2, A6, A8, A12, com valores de 1,88, 2,78, 18,05 e 1,30 ppm, respectivamente). Volta a estar representado a partir da amostra A15 até A22 de forma regular (0,51 ppm a 30.12 ppm). Os valores máximos são encontrados nas amostras A19 e A20. Assim, encontram-se maiores quantidades de chumbo na zona mais a norte da baia e claramente mais baixos na parte meridional (Fig. 4.11).

Os teores de cobalto variam entre 0,8 ppm (A19) e 26 ppm (A18). As suas quantidades são maiores nos pontos A12, A13, A14, A15, A16, A17 A18, A21 e A22, todos na zona mais a norte da baía, como se pode verificar na Figura.4.10. Mas também verificam alguns pontos com concentrações significativas na zona mais a sul e alguns pontos com baixos teores na zoa mais a norte. Assim, o cobalto apresenta tendência para apresentar concentrações mais elevadas em determinados locais nos seio das zonas norte e sul da baía. Ainda assim, a porção ocidental da zona mais a norte é aquela onde parecem estar as maiores concentrações. (Fig.4.12)

O cobre aparece representado em todas as amostras. O seu valor maior encontra-se na amostra A21 (15,4 ppm) e o menor na amostra A4 (6 ppm). Apesar de também estar presente na zona sul da baia, as suas maiores concentrações verificam-se na parte mais a norte, nas proximidades da cidade de Luanda (Fig. 4.13).

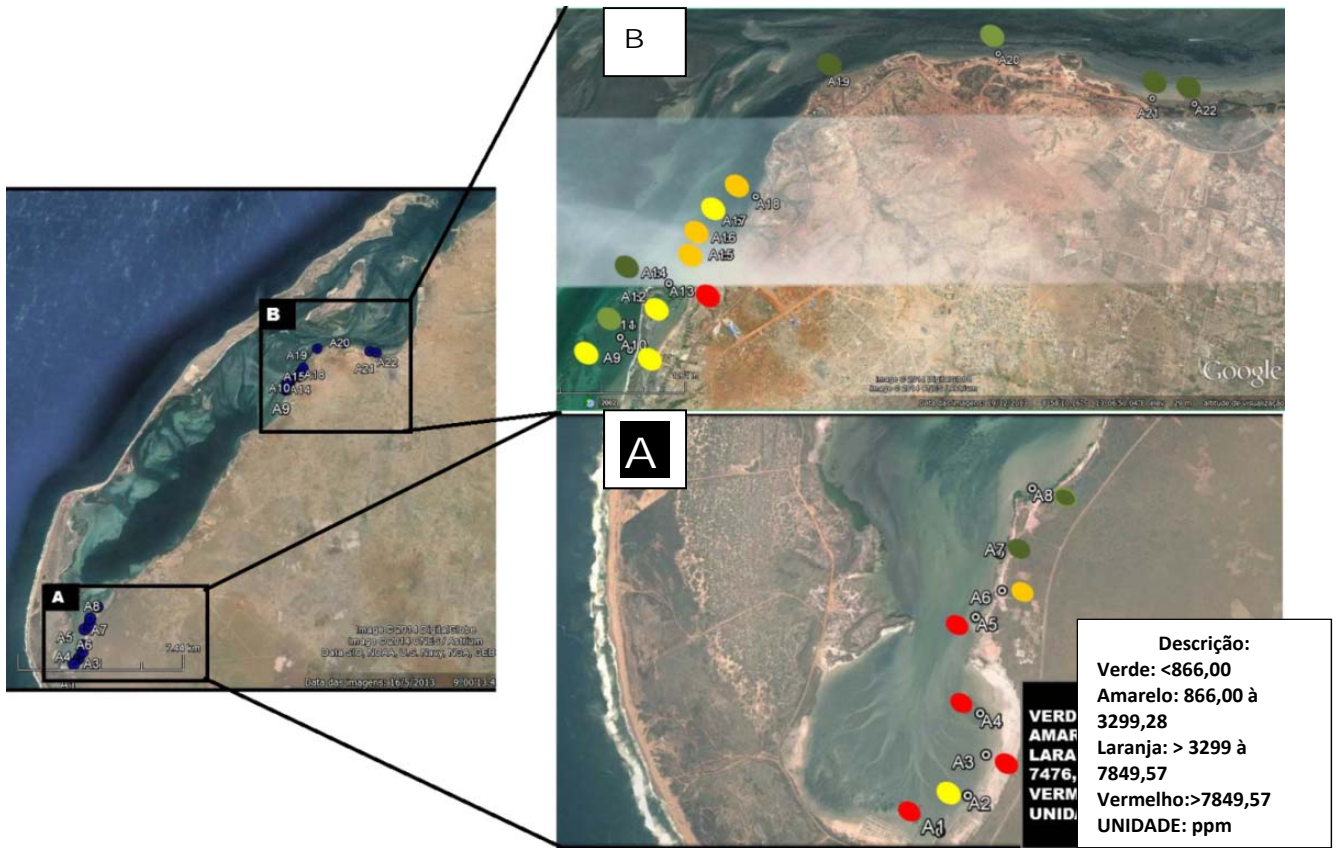


Figura 4.10: imagem com a distribuição espacial do cálcio.

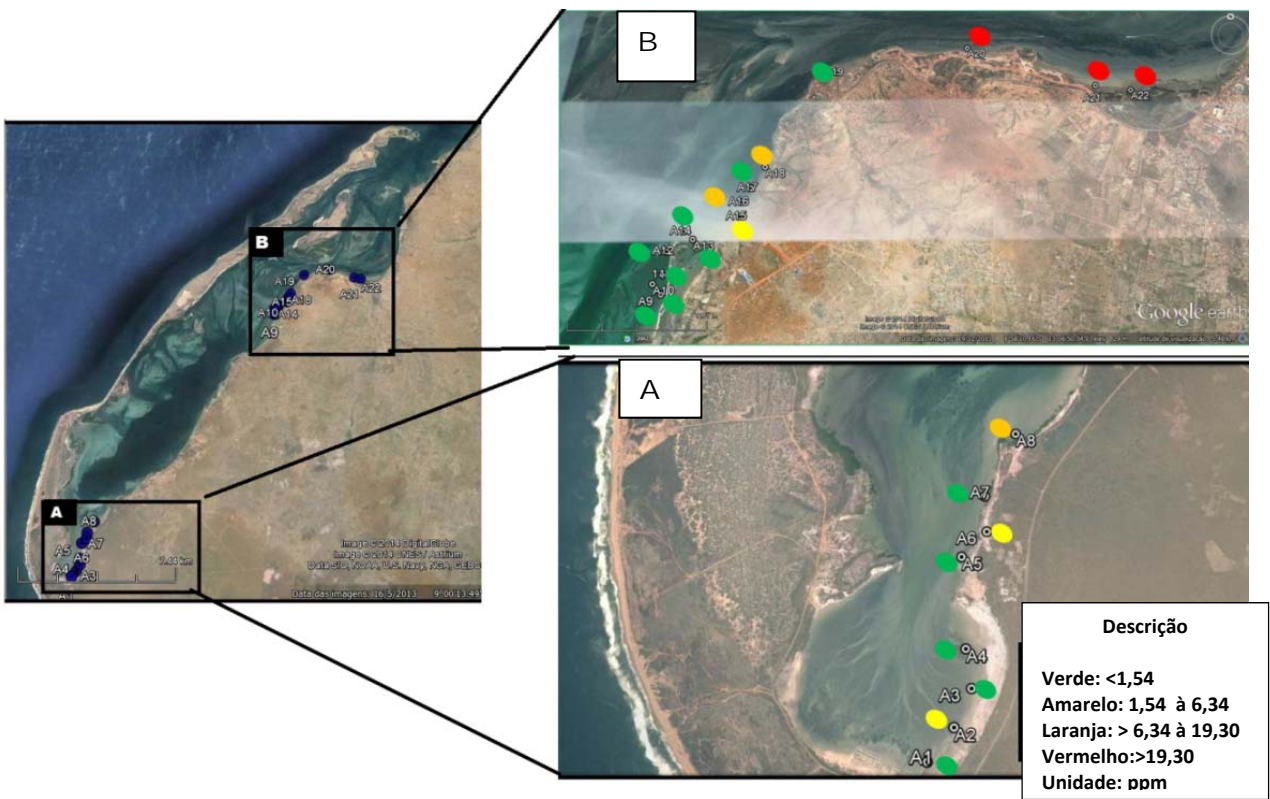


Figura 4.11: Distribuição espacial do chumbo.

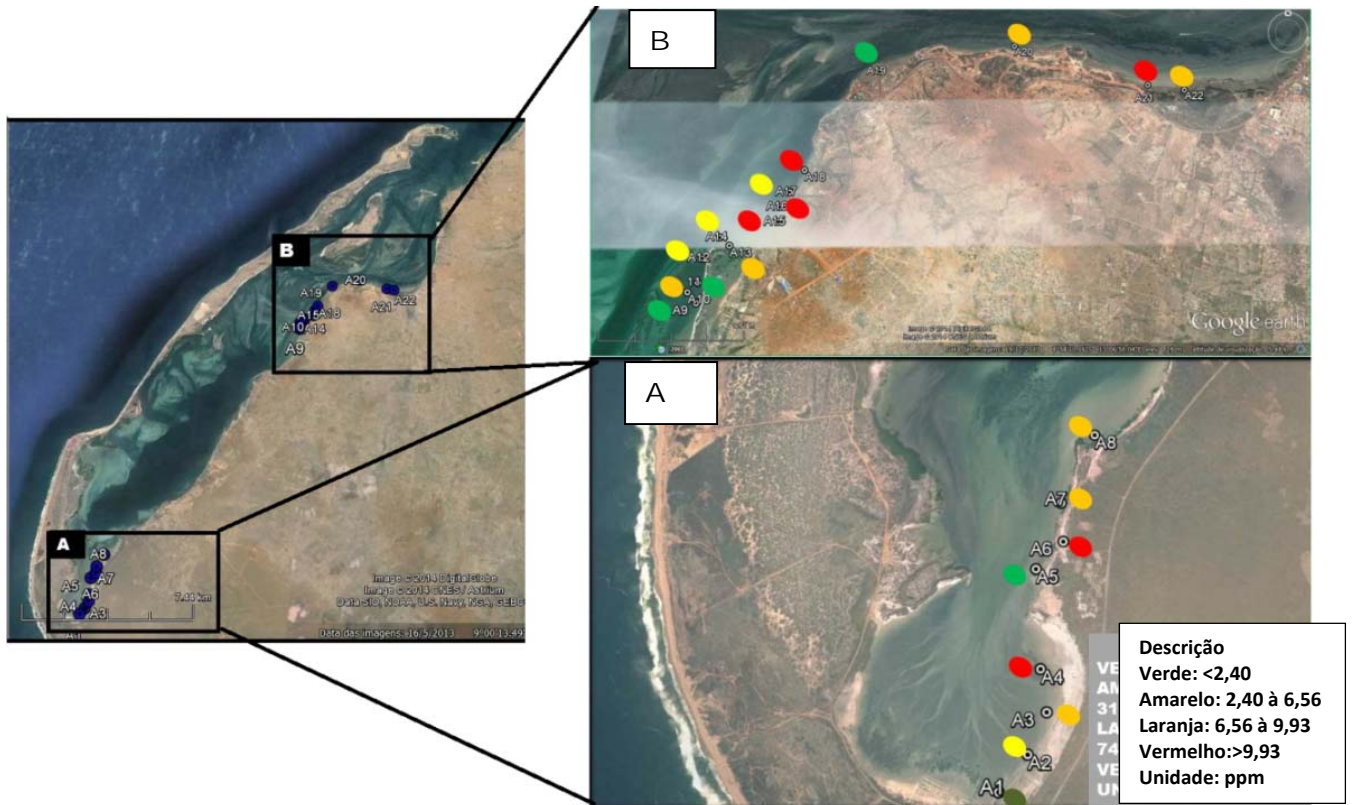


Figura 4.12: Distribuição espacial do cobalto.

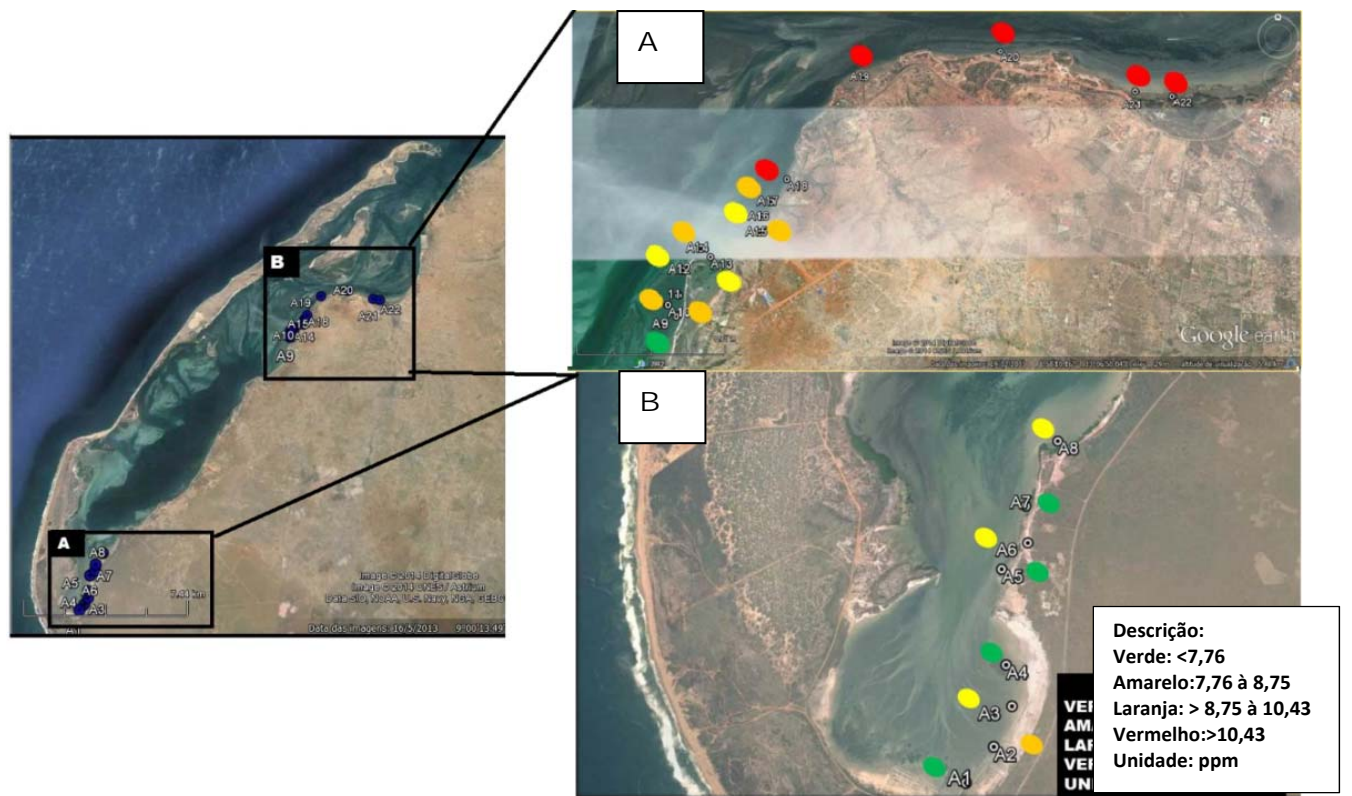


Figura 4.13: Distribuição espacial do cobre.

No que respeita ao ferro, a concentração varia entre 11982 ppm (A22) e 1422 ppm (A5). Claramente, a sua concentração é maior na zona norte da baía, sendo sempre superior a 2932 ppm. Verifica-se também que as concentrações tendem a ser maiores no sector mais próximo da cidade de Luanda. Em contrapartida, o ferro surge na zona sul em concentrações muito baixas, sempre inferiores 3137 ppm (Fig.4.14).

A concentração de magnésio varia entre 1216 ppm (A9) e 18935 (A1). Os seus valores mais elevados registam-se na região sul da baía (A1, A2, A3, A4 e A6). O valores mais baixos são característicos do sector ocidental da zona norte (1216-2512 ppm), observando-se concentrações intermédia no sector oriental da zona mais a norte. Portanto, o magnésio apresenta uma tendência para maiores concentrações na zona sul e menores concentrações na zona de transição para o espaço da cidade de Luanda (Fig.4.15).

A concentração de manganês varia entre 56 ppm (A8) e 164,3 ppm (A21). O manganês observa-se em toda a área estudada, mas as concentrações maiores são encontradas na zona norte da baía mais próxima da cidade de Luanda (Fig.4.16). A sua distribuição de concentrações é muito semelhante à observada para a concentração de ferro.

O mercúrio não foi detectado nas amostras A7 a 19. Ele surge em quantidade muito baixas nas amostras A1, A2, A3, A4, A5, A6, com 196, 157, 112, 96, 70  $\mu\text{g}/\text{kg}$  respectivamente. Ocorre também nas amostras A20, A21 e A22, com valores de 96, 1018 e 89  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , respectivamente. Portanto está representado no sector sul e nas posições mais próximas da cidade de Luanda, sendo o valor máximo na amostra A21 (Fig.4.17).

A concentração de níquel é sempre inferior a 12,53 ppm. Este elemento não está representado em todas as amostras, aparecendo apenas em A2, A3, A6, A11, A15, A18, A21 e A22 A22. A quantidade maior de níquel encontra-se na amostra A21. O níquel tem uma clara tendência para aparecer em maiores quantidades na zona norte (Fig.4.18).

As concentrações de zinco variam de 9,59 ppm (A7) a 56,48 ppm (A22). Os teores deste elemento são particularmente baixos na região sul da baía, estando sempre abaixo de 18,34 ppm. Na faixa oriental da região norte, as concentrações de zinco são sempre superiores a 29.47 ppm. No sector ocidental da zona mais a norte as concentrações variam entre 18,42 ppm e 26,51 ppm. Existe, assim, uma tendência bastante clara do zinco para o zinco apresentar maiores concentrações nos sectores mais próximos da cidade de Luanda e menores na nas posições meridionais da baía (Fig.4.19).

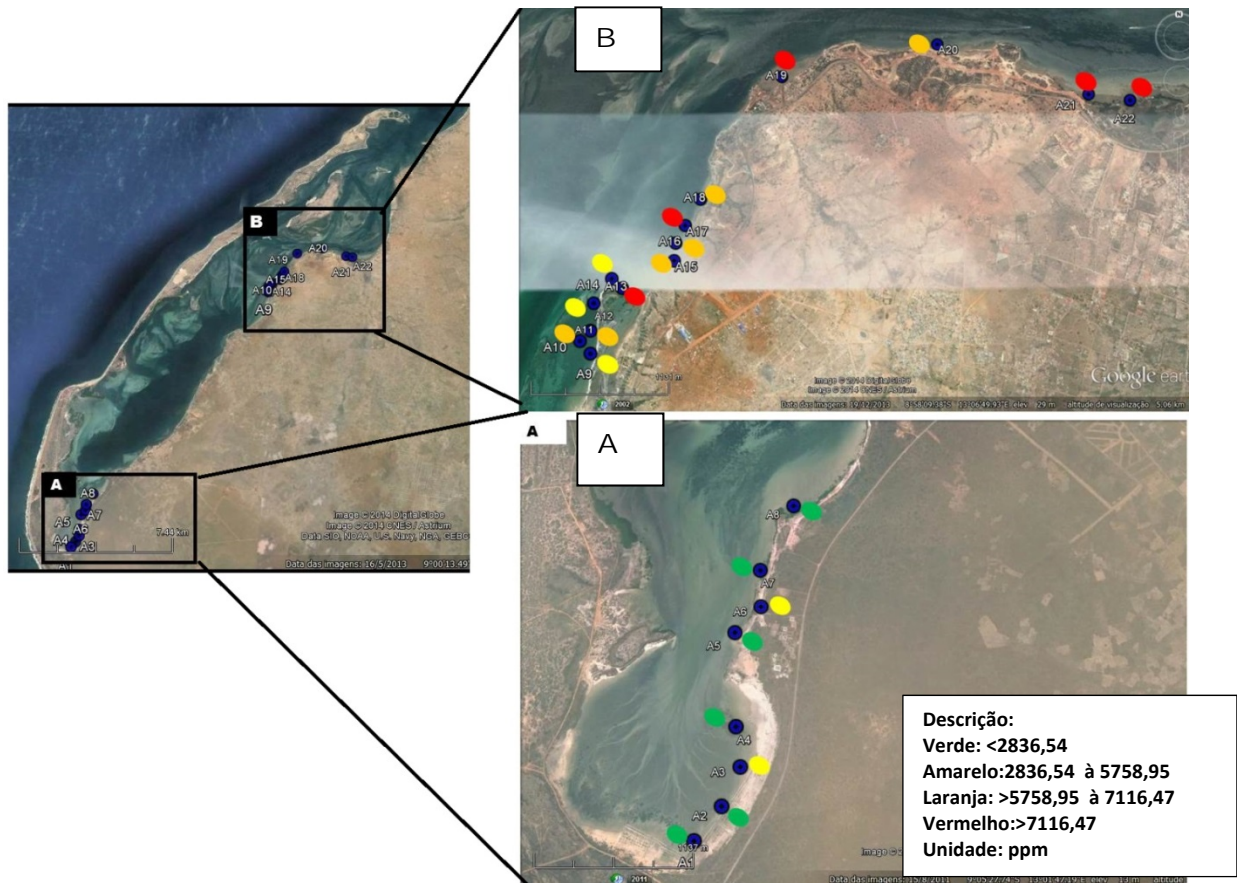


Figura 4.14: Distribuição espacial do ferro.

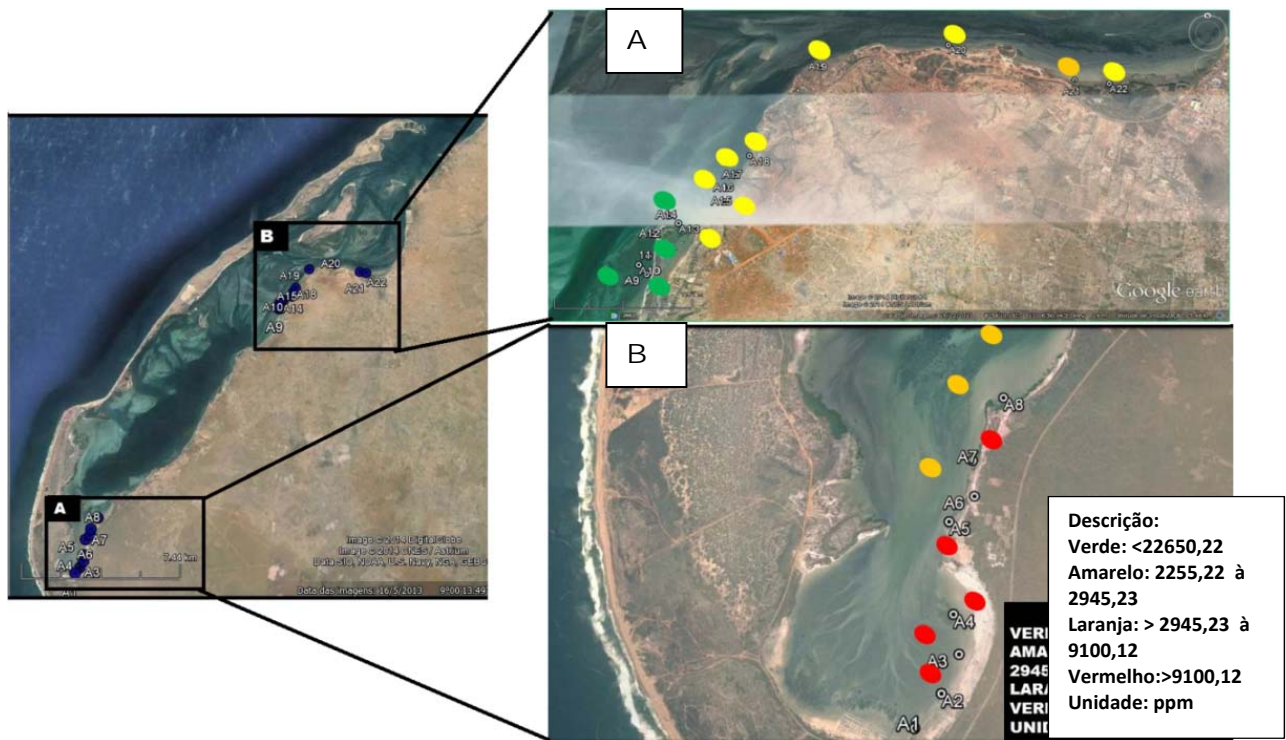


Figura 4.15: Distribuição espacial do magnésio.

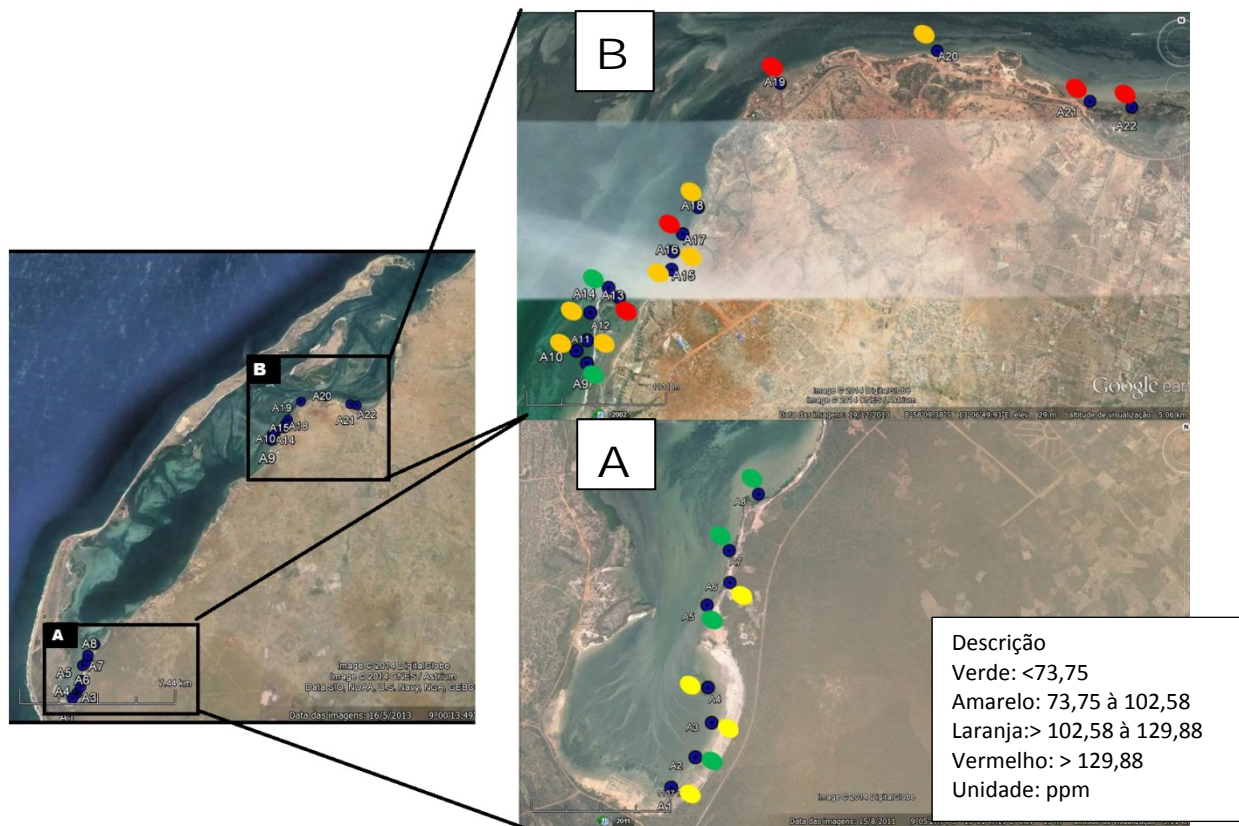


Figura.4.16: Distribuição espacial do manganês.

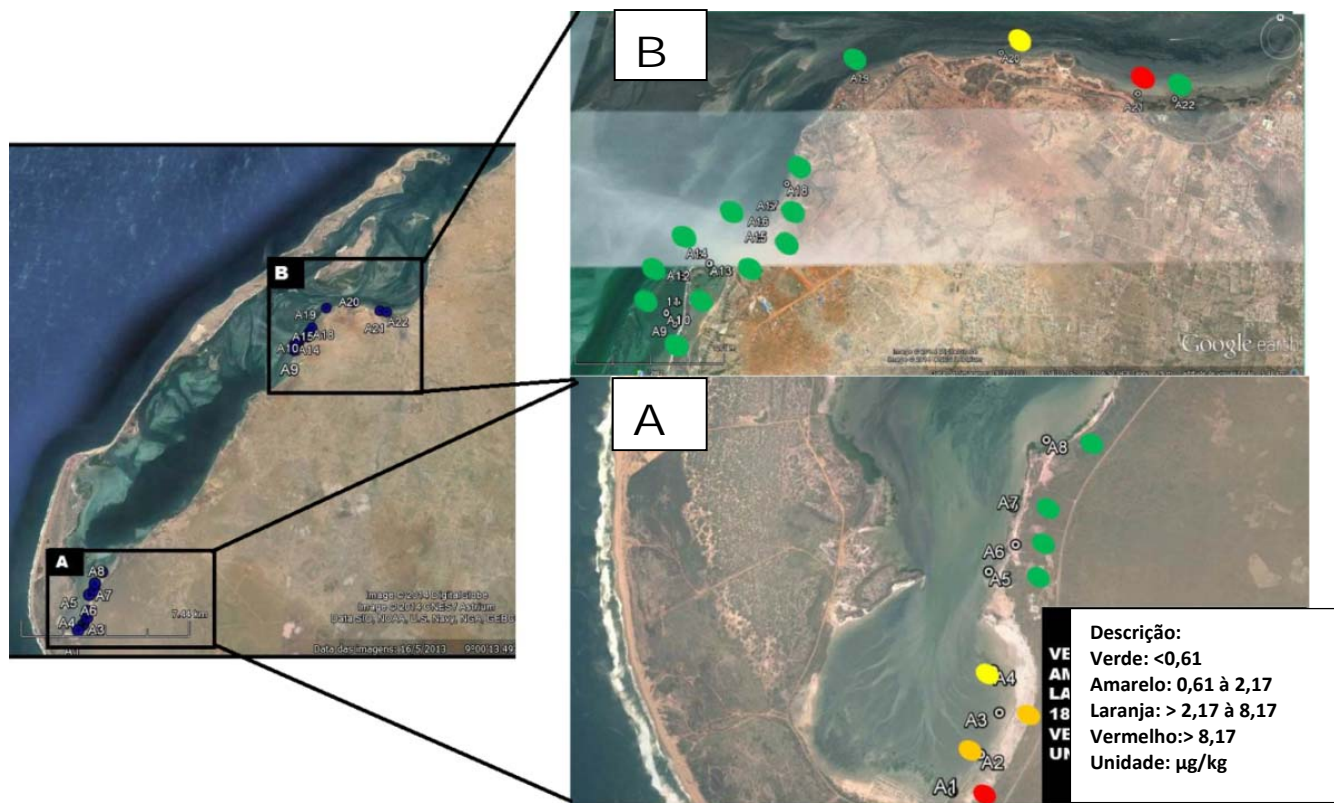


Figura 4.17: Distribuição espacial do mercúrio.



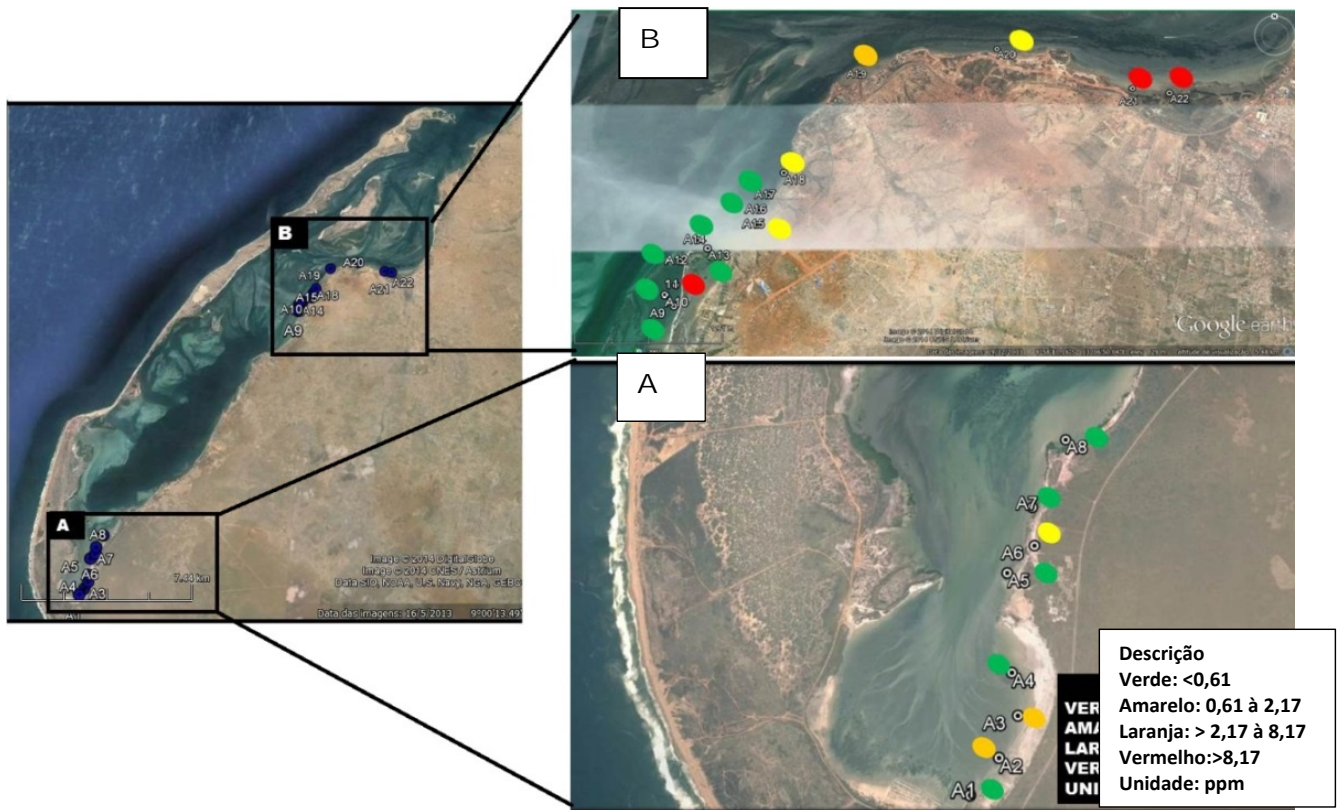


Figura 4.18: Distribuição espacial do níquel.

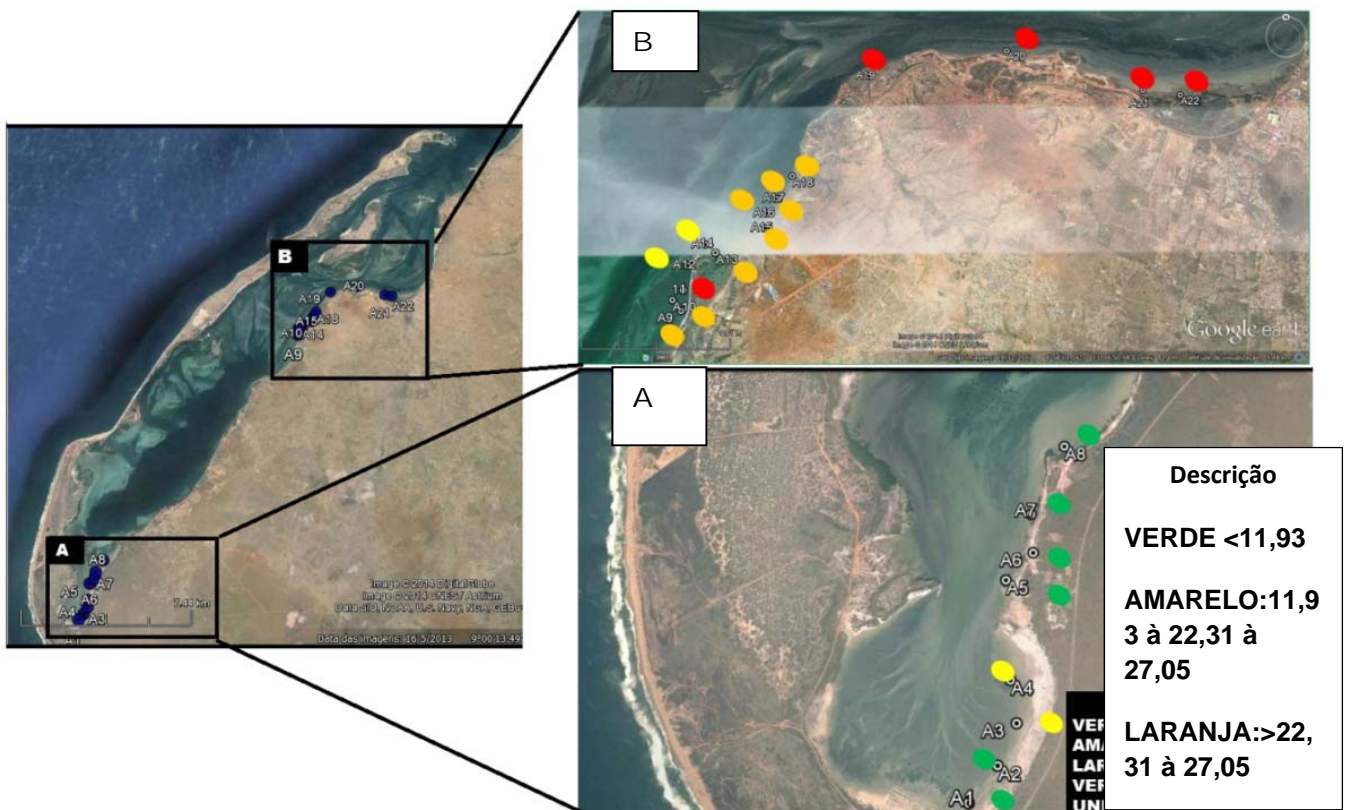


Figura 4.19: Distribuição espacial do zinco.

Em síntese, a análise da composição química das amostras revela que os teores de cálcio e magnésio são tendencialmente mais elevados na zona sul enquanto que os teores de cobre, chumbo, ferro, manganês e zinco, são mais elevados na região norte, em particular nas proximidades da cidade de Luanda. Não se notam tendências claras para o arsénio, cobalto e mercúrio. Referência ainda para os valores particularmente baixos de magnésio no sector mais ocidental da zona norte aqui estudada.

### **4.3 – Relações entre parâmetros composicionais**

Com vista a tentar perceber melhor a forma como os vários parâmetros composicionais (isto é, a granulometria, a mineralogia e a química) se relacionam avaliaram-se as correlações de Pearson entre todos eles. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 4.1. Os valores de correlação significativa para as probabilidades de 95 % e 99 % estão assinaladas, respectivamente, com fundo cinza e a negrito.

No que respeita aos elementos químicos, verificaram-se as seguintes correlações significativas:

- O cálcio correlaciona-se de forma negativa com o cobre, ferro, magnésio zinco e manganês. No que respeita às fracções granulométricas, o cálcio correlaciona-se de forma positiva com as percentagens de areia para probabilidades de 99% e de forma negativa com as quantidades de argila e silte.
- O cobalto não se correlaciona com nenhum dos restantes elementos químicos analisados nem com qualquer dos parâmetros granulométricos ou mineralógicos.
- O cobre correlaciona-se de forma positiva com o ferro, manganês e zinco, para probabilidades de 99 %, e com mercúrio para probabilidades de 95%; correlaciona-se de forma negativa com o magnésio. No que respeita aos restantes parâmetros, verifica-se que o cobre se correlaciona positivamente com as percentagens de argila e silte e de forma negativa com a percentagem de areia.
- O ferro correlaciona-se positivamente com o manganês e zinco, para probabilidades de 99 %, e negativamente com o magnésio. Observam-se correlações positivas com as percentagens de argila e silte e negativa com a percentagem de areia (Fig. 4.20).

**Tabela 4.1:** Correlações entre parâmetros analisados.

	Ca	Co	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn	Hg	As	Argila	Silte	Areia	Quartzo	Feldsp.	Filoss.	Total carb	Gesso	Halite	Pirite + Hem.
Ca	1																		
Co	0,03	1,00																	
Cu	<b>-0,53</b>	0,22	1,00																
Fe	-0,52	0,19	<b>0,90</b>	1,00															
Mg	<b>0,61</b>	-0,16	-0,48	-0,51	1,00														
Mn	-0,43	0,27	<b>0,86</b>	<b>0,97</b>	-0,53	1,00													
Zn	<b>-0,55</b>	0,15	<b>0,89</b>	<b>0,92</b>	<b>-0,56</b>	<b>0,88</b>	1,00												
Hg	-0,03	0,07	0,51	0,36	0,11	0,33	0,31	1,00											
As	0,02	-0,02	-0,24	-0,34	0,15	-0,34	-0,36	-0,18	1,00										
Argila	<b>-0,57</b>	0,26	<b>0,86</b>	<b>0,91</b>	<b>-0,57</b>	<b>0,87</b>	<b>0,84</b>	0,26	-0,36	1,00									
Silte	<b>-0,57</b>	0,18	<b>0,58</b>	<b>0,70</b>	<b>-0,64</b>	<b>0,72</b>	<b>0,57</b>	0,12	-0,34	<b>0,82</b>	1,00								
Areia	<b>0,58</b>	-0,20	<b>-0,63</b>	<b>-0,74</b>	<b>0,64</b>	<b>-0,76</b>	<b>-0,61</b>	-0,14	0,35	<b>-0,86</b>	<b>-1,00</b>	1,00							
Quartzo	-0,37	0,09	0,19	0,26	<b>-0,59</b>	0,25	0,22	-0,02	0,19	0,29	0,50	-0,48	1,00						
Feldspato	-0,10	0,37	0,28	0,37	0,01	0,43	0,28	0,10	-0,17	0,53	0,47	-0,49	-0,09	1,00					
Filossilicatos	-0,05	-0,25	0,00	-0,08	0,05	-0,08	0,07	-0,25	-0,25	-0,14	-0,16	0,16	<b>-0,58</b>	-0,17	1,00				
Total carbonatos	-0,10	-0,06	0,27	0,24	-0,36	0,22	0,16	0,48	-0,11	0,15	0,13	-0,14	0,04	-0,25	0,03	1,00			
Gesso	-0,04	-0,02	-0,07	-0,06	-0,08	0,01	-0,10	0,18	-0,45	-0,20	-0,04	0,07	-0,10	-0,18	0,19	0,28	1,00		
Halite	0,50	-0,12	-0,41	-0,51	<b>0,69</b>	<b>-0,55</b>	-0,49	0,00	0,11	<b>-0,56</b>	<b>-0,74</b>	<b>0,73</b>	<b>-0,63</b>	-0,37	0,02	-0,21	-0,04	1,00	
Pirite+ Hematite	0,40	-0,23	-0,42	-0,38	0,45	-0,34	-0,29	-0,13	0,07	-0,49	<b>-0,59</b>	<b>0,59</b>	<b>-0,62</b>	-0,06	0,32	-0,08	-0,01	0,40	1,00

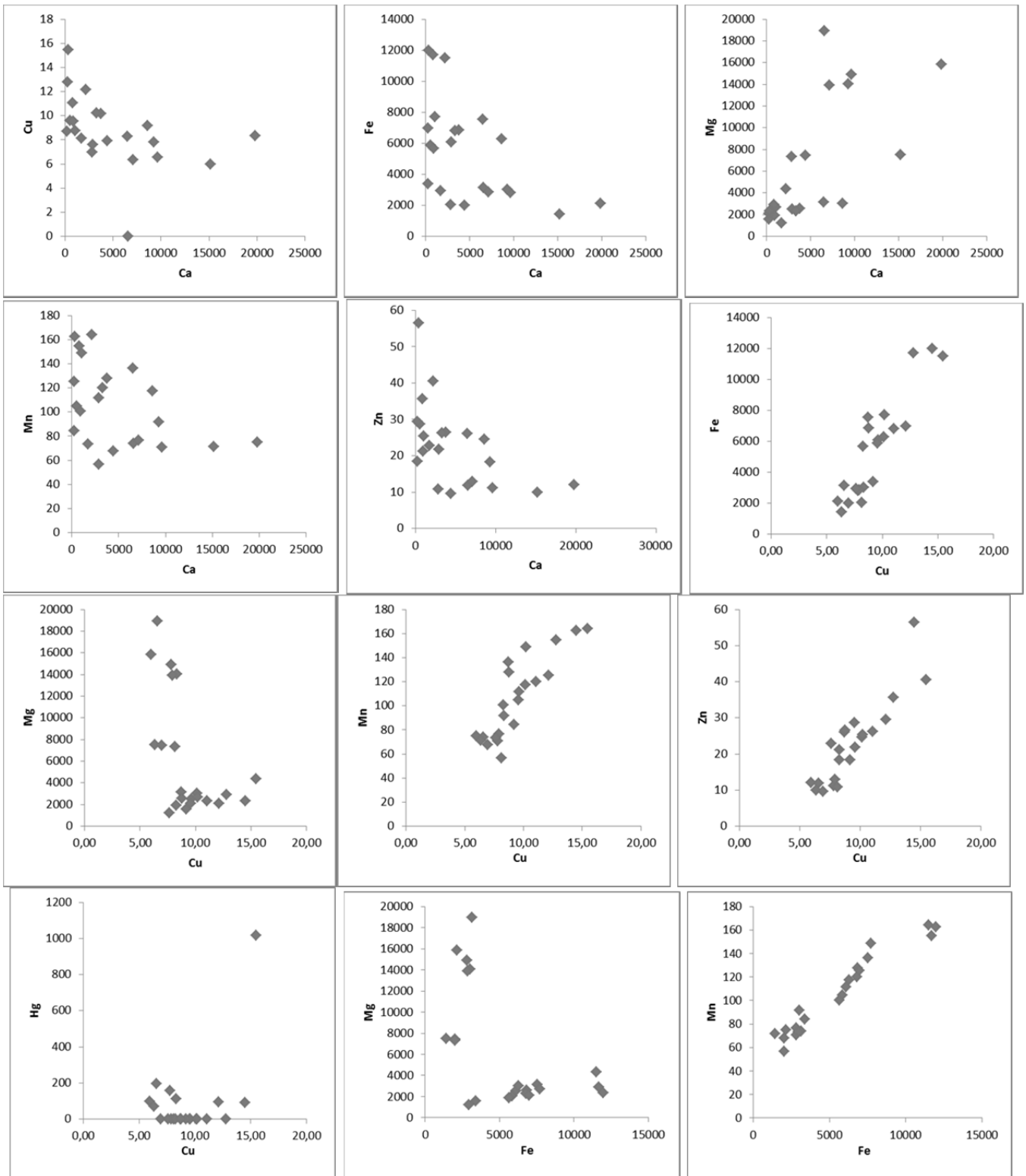
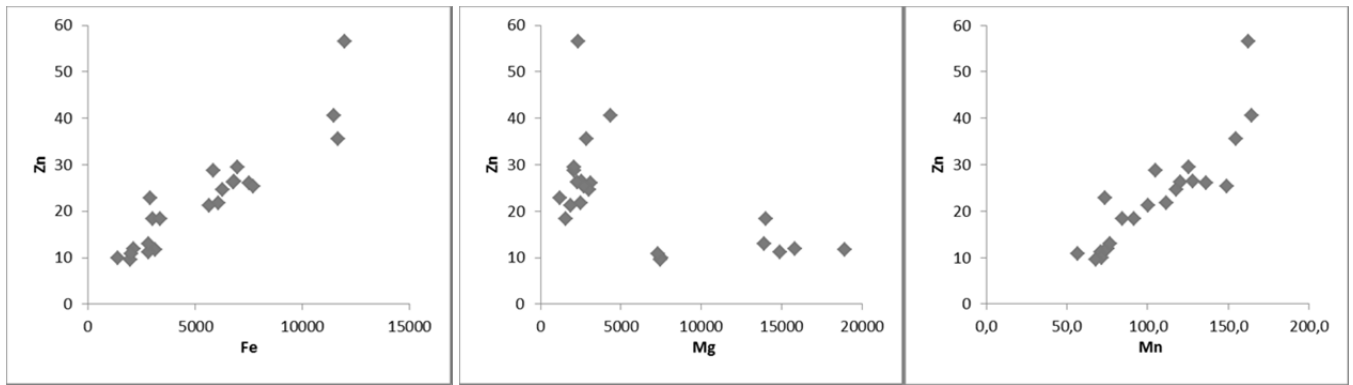


Figura. 4.20: Gráficos de correlação das concentrações dos elementos químicos.



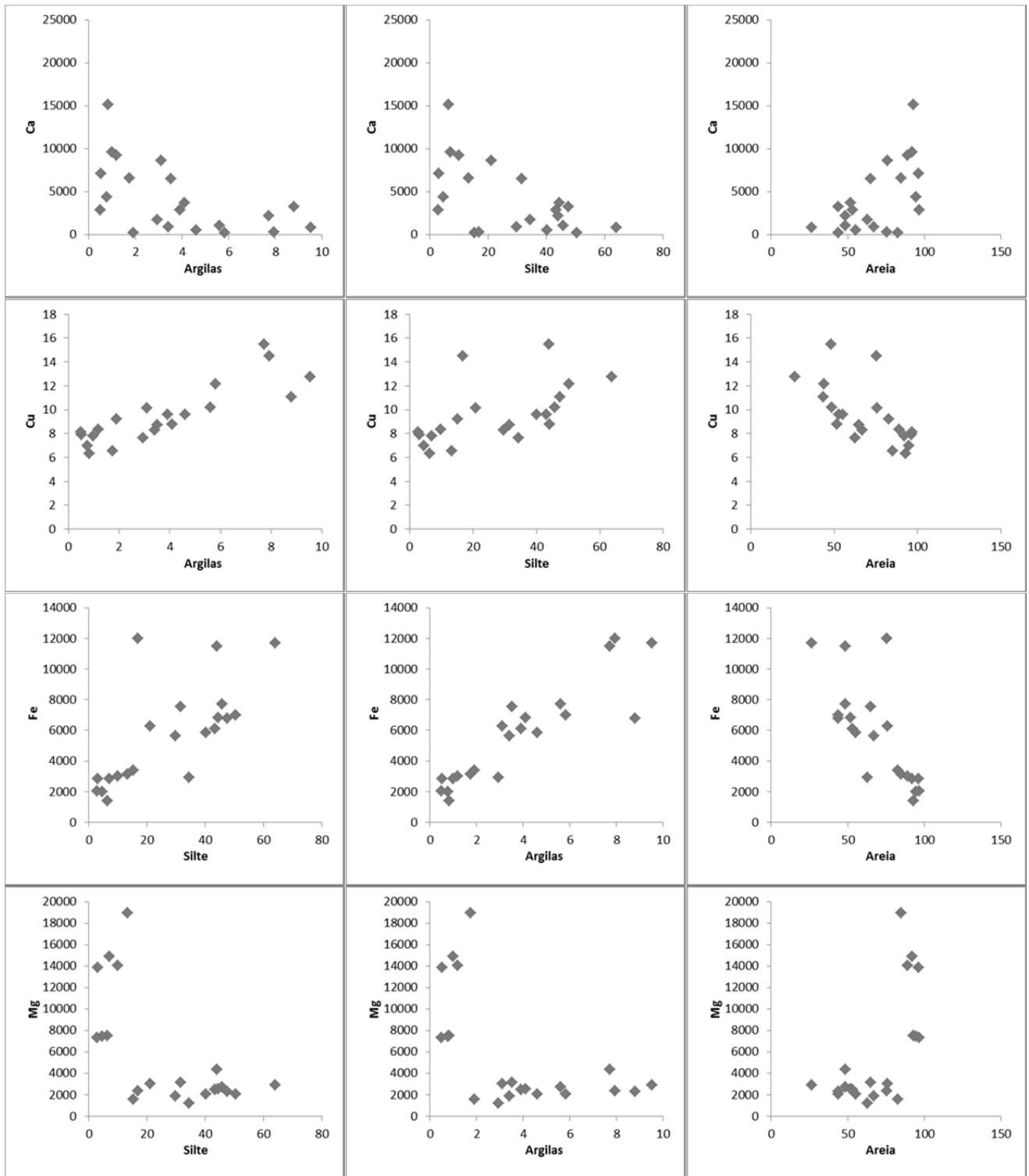
**Figura 4.20:** Gráficos de correlação das concentrações dos elementos químicos (continuação).

- O manganês apresenta correlação bastante positiva com o zinco para probabilidades de 99%. Há também correlação positiva do manganês com as percentagens de argila e o silte para probabilidades de 99% e negativa com a areia. Com os parâmetros mineralógicos, há correlação positiva do manganês com as percentagens de feldspato para probabilidades de 95% e negativa com a halite.

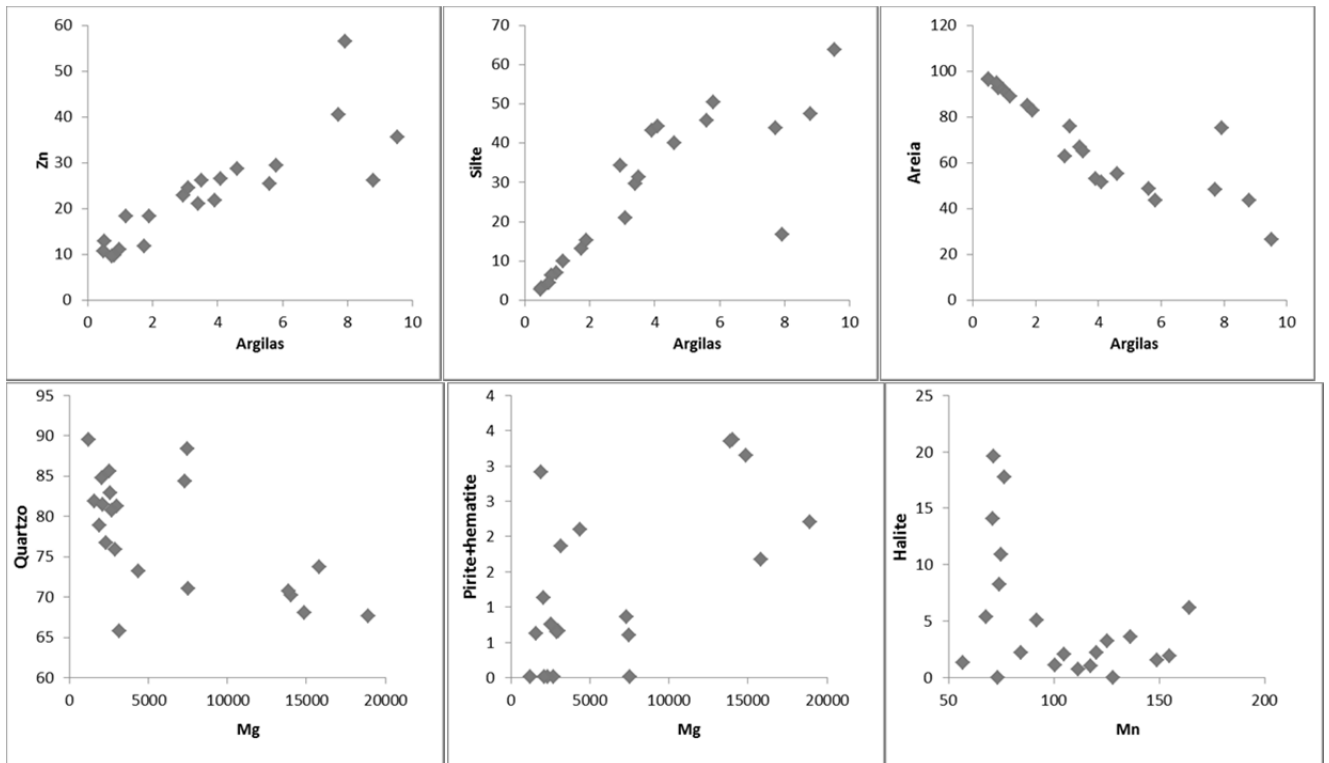
- O zinco como já foi acima referido com outros elementos químicos com o cobre ferro e manganês para probabilidades de 99% e negativas com cálcio e magnésio, em relação aos parâmetros granulométricos apresenta correlação positiva com as percentagens de argila e silte para probabilidades de 99% e negativa com a percentagem de areia (Fig. 4.21).

No que concerne aos parâmetros granulométricos, observa-se uma forte correlação positiva do silte com a argila para probabilidades de 99% e uma correlação negativa da areia com a argila e silte. Como foi referido acima, registam-se correlações positivas das fracções granulométricas mais finas com o cobre, o ferro, o zinco (este apenas para a percentagem de argila) para probabilidades de 99% e de forma negativa com o cálcio e o magnésio. Em oposição, a areia correlaciona-se de forma negativa com o cobre, ferro, manganês e zinco e de forma positiva com o cálcio o magnésio. para probabilidades de 99% (Fig. 4.21)..

No que respeita à composição mineralógica da fracção total, o quartzo apresenta correlação negativa com as percentagens de areia e positiva com as de silte (apena para a probabilidades de 95%). Observa-se uma forte correlação negativa entre o quartzo e os filossilicatos. Os carbonatos, a par dos filossilicatos, não apresentam qualquer correlação, para uma probabilidade de 99 %, com os elementos químicos analisados nem com qualquer fracção granulométrica. A halite correlaciona-se de forma negativa com as quantidades de argila e silte e de forma positiva com as de areia (Fig. 4.22).

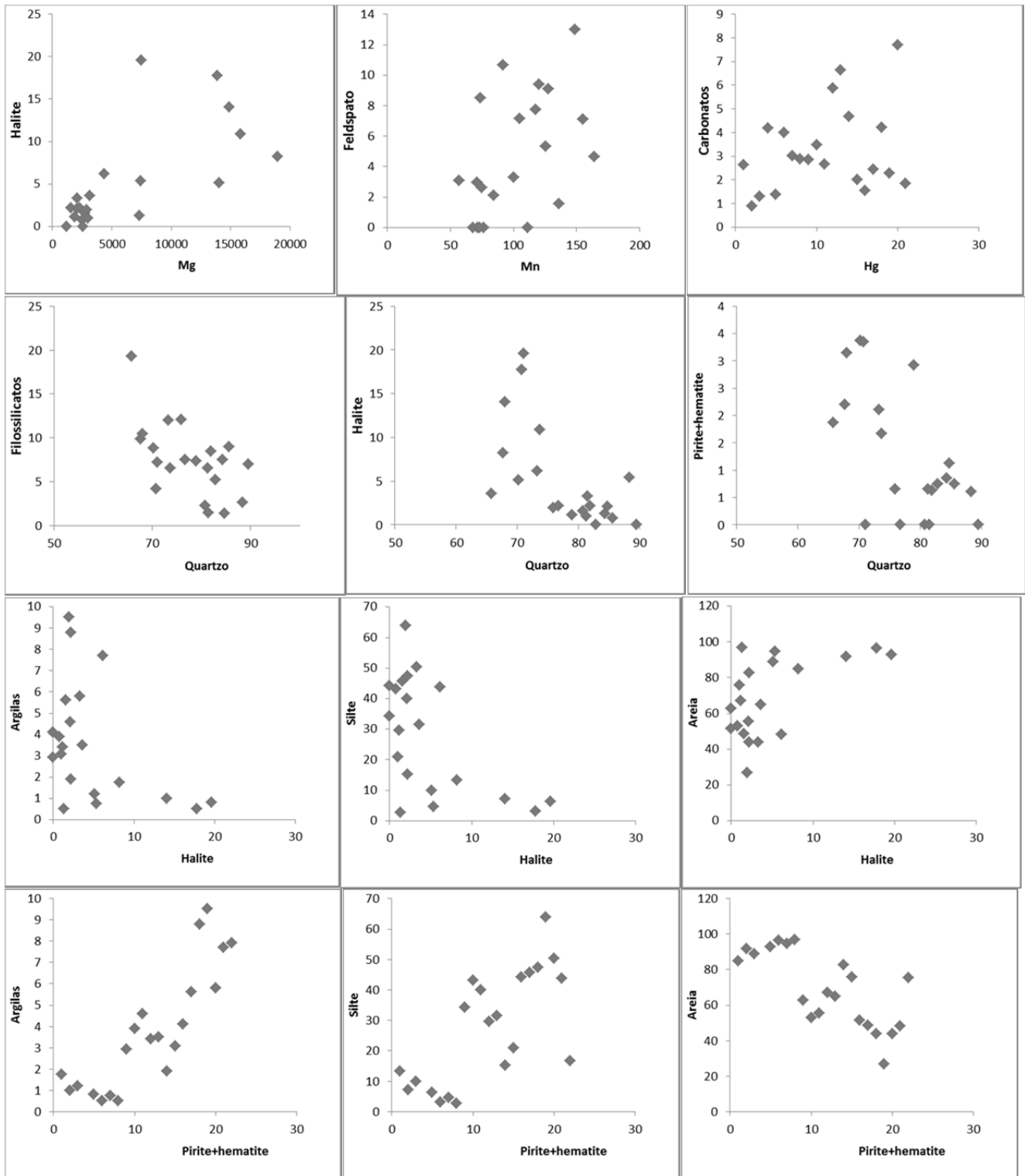


**Figura 4.21:** Gráficos de correlação das concentrações dos elementos químicos e as quantidades das diferentes frações granulométricas e proporções minerais



**Figura 4.21:** Gráficos de correlação das concentrações dos elementos químicos e as quantidades das diferentes fracções granulométricas e proporções minerais (continuação).

Era de esperar que os minerais de ferro identificados se correlacionassem com o ferro, mas isso não acontece. Desta forma, admite-se que a presença do ferro pode estar associado a outros factores, como a associação, em quantidades menores, com outros minerais ou a matéria amorfa. A não correlação do ferro com os clássicos minerais de ferro pode ser vista como um indicador de contaminação. A não correlação dos carbonatos com o cálcio também se pode atribuir ao facto deste elemento estar associado a outros minerais, como o gesso, ou a matéria não cristalina.

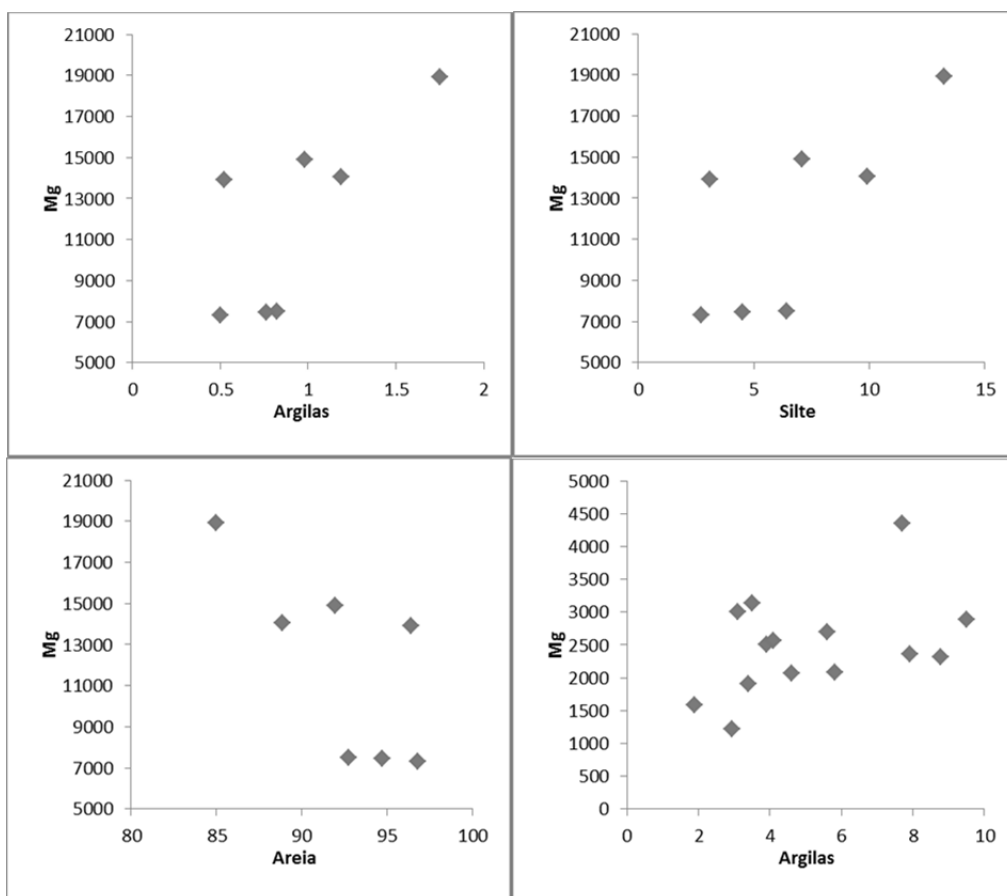


**Figura 4.22:** Gráficos de correlação entre as quantidades das fracção granulométrica e a mineralogia total.

A análise dos gráficos com a projecção das concentrações de magnésio contra outras variáveis com que este elemento se correlaciona merece algumas considerações adicionais. É evidente que os pontos se distribuem em dois grupos, um primeiro com concentrações de magnésio inferiores a 5000 ppm (14 amostras, A9 a A22) e um segundo com concentração superiores a 7000 ppm (8 amostras, A1 a A8). Estes dois



grupos são particularmente evidentes quando as concentrações de magnésio são projectadas contra os parâmetros granulométricos (percentagens de areia, silte e argila). Consideramos assim que estes grupos devem suportar uma discriminação de condições ambientais muito distintas. As amostras mais interiores (isto é, A1 a A8), estão associados a um ambiente com sedimentos de grão mais grosseiro e que apresentam maiores quantidades de Mg, ao que passo que as amostras mais afastadas da curvatura interior da baía estão associados a um ambiente com sedimentos de grão mais fino e com menores quantidades de Mg. A definição de dois grupos também é aparente em alguns gráficos de relação do Mg e dos parâmetros granulométricos com outras características composicionais, ainda que não tão óbvia.



**Figura 4.23:** Relações entre as concentrações de Mg e as quantidades das fracções granulométricas depois de feita uma discriminação de grupos associados a diferentes condições ambientais.

Dada a discriminação destes dois ambientes muito distintos, é provável que uma análise da relação entre variáveis pudesse fornecer resultados diferentes se estes fossem analisados em separado. De facto, verifica-se que as concentrações de magnésio parecem ser maiores em sedimentos de granulometria mais fina em ambos os grupos, ou seja, com maiores quantidades de argila (Fig.4.23). Estas tendências podem ser explicadas por uma maior precipitação química de minerais com magnésio ou pela presença de minerais que integram este elemento em sedimentos associados a

condições hidrodinâmicas mais calmas. O facto de algumas áreas de alimentação na zona envolvente de Luanda estarem enriquecidas em montmorilonite (ver capítulo 2) também pode contribuir para justificar a concentração de magnésio em alguns sedimentos com maior componente argilosa.

### 4.3 - Factores determinantes da variabilidade observada

Através do software Andad, utilizando para o efeito o coeficiente de correlação de Pearson, aplicou-se a análise de Componentes Principais (ACP) a um conjunto seleccionado de parâmetros analíticos para tentar perceber os principais factores responsáveis pelos aspectos composicionais obtidos. Constam deste conjunto as concentrações de todos os elementos químicos, a percentagens das fracções granulométricas principais (argila, silte e areia), os minerais encontrados em maiores quantidades na amostra total (quartzo, feldspato, total de filossilicatos, total de carbonatos halite, gesso e minerais de ferro). As proporções de pirite e hematite são apresentadas em conjunto sob a designação de minerais de ferro por não se ter reparado em qualquer tendência espacial de distribuição destes constituintes e por algumas amostras não apresentarem um dos dois minerais. Não se considerou a mineralogia da fracção argilosa por esta fracção representar uma proporção bastante baixa da generalidade dos sedimentos, sendo que algumas amostras apresentam quantidades tão diminutas que nem sequer foi possível produzir lâminas sedimentadas ou estas revelaram apenas gesso.

**Tabela 4.2:** Valores próprios e variância explicada pelos seis componentes definidos pela ACP.

	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada explicada (%)
1	8.130436	42.79177	42.79177
2	2.309373	12.1546	54.94637
3	1.874318	9.864831	64.8112
4	1.580731	8.319637	73.13083
5	1.283908	6.75741	79.88824
6	0.837033	4.405435	84.29367

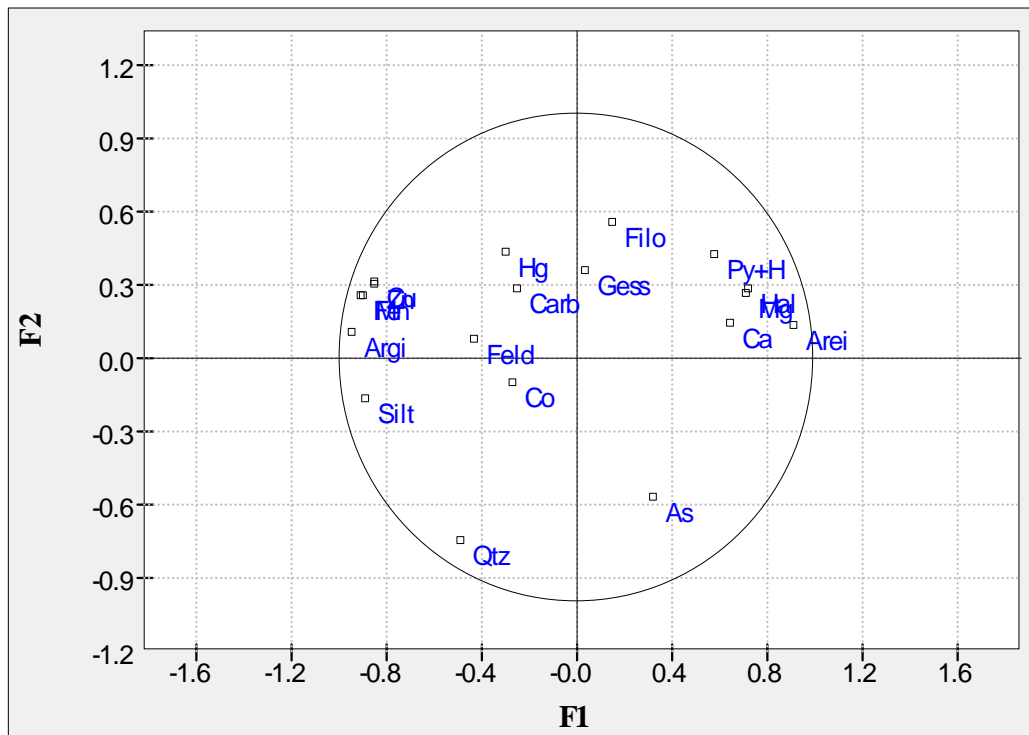
A ACP forneceu 6 componentes capazes de explicar apenas perto de 85 % da variância observada. Só o primeiro destes componentes justifica uma variância

significativa (42,8 %). A variância explicada pelos componentes 2 a 7 oscila entre 12,1 % e 4,4 % (Tabela 4.2). As coordenadas das diferentes variáveis seleccionadas nos vários componentes são apresentadas na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3:** Coordenadas das variáveis seleccionadas nos sete componentes definidos pela ACP

	1	2	3	4	5	6
Ca	0.6483	0.1406	-0.2569	-0.2614	0.2492	0.0092
Co	-0.2631	-0.1006	-0.4121	-0.2344	0.3912	0.7106
Cu	-0.8457	0.3065	-0.0603	-0.1776	-0.284	0.0926
Fe	-0.908	0.2572	-0.1002	-0.0677	-0.1762	0.0019
Mg	0.7151	0.2613	-0.428	-0.1915	0.0251	-0.2861
Mn	-0.8971	0.252	-0.1241	-0.048	-0.0592	0.0743
Zn	-0.8431	0.3014	-0.0591	0.0505	-0.2928	0.099
Hg	-0.291	0.4293	0.049	-0.751	-0.0126	-0.2114
As	0.3281	-0.5693	-0.1084	-0.2022	-0.5219	0.1945
Argila	-0.9406	0.1041	-0.2177	0.0261	-0.0748	-0.0461
Silte	-0.8884	-0.1644	-0.0143	0.1537	0.2103	-0.1947
Areia	0.9146	0.1319	0.042	-0.1399	-0.1765	0.1788
Quartzo	-0.4847	-0.7503	0.2625	-0.1762	0.0296	-0.0642
Feldspato	-0.4267	0.0743	-0.7013	0.1205	0.3054	-0.1132
Filossilicatos	0.1569	0.5494	0.2254	0.6487	-0.1466	0.1692
Carbonatos	-0.2442	0.2781	0.6057	-0.4197	-0.0523	0.1319
Gesso	0.0341	0.3605	0.5685	-0.0266	0.5892	0.0587
Halite	0.7281	0.2805	-0.185	-0.2364	-0.1279	-0.0106
Pirite+Hematite	0.582	0.4205	-0.1531	0.179	-0.1777	0.0729

O primeiro componente obtido pela ACP é accionado positivamente pelas variáveis areia, Ca, Mg, halite e minerais de ferro, com valores particularmente elevados (isto é, maiores que 0,75) na areia. Este componente é accionado negativamente pela argila, silte, Cu, Fe, Mn e Zn, todas estas variáveis com valores elevados. Atendendo à distribuição destas variáveis, geralmente com frequências mais elevadas na região de Luanda e mais baixas nas posições mais meridionais da baía do Mussulo e às correlações entre alguns elementos metálicos (Cu, Fe, Mn e Zn) e destes com as fracções granulométricas mais finas, admite-se que o fator pode estar relacionado com a intensidade da contaminação antrópica em ambientes enriquecidos em sedimentos de grão fino. As coordenadas positivas observadas para a halite são compatíveis com esta possibilidade, uma vez que as concentrações deste mineral são mais elevadas em posições mais meridionais, portanto mais afastadas dos prováveis pontos de descarga de efluentes da cidade de Luanda, como se referiu acima (Fig. 4.24).



**Figura 4.24:** Projecção das variáveis nos dois primeiros componentes (explicam 56 % da variância). Qtz: quartzo; Filo: filossilicatos; Feld: feldspatos; Carb: total de carbonatos; Hal: halite; Gess: gesso; Py+H: pirite mais hematite; Arei: areia; Silt: silte; Argi: argila.

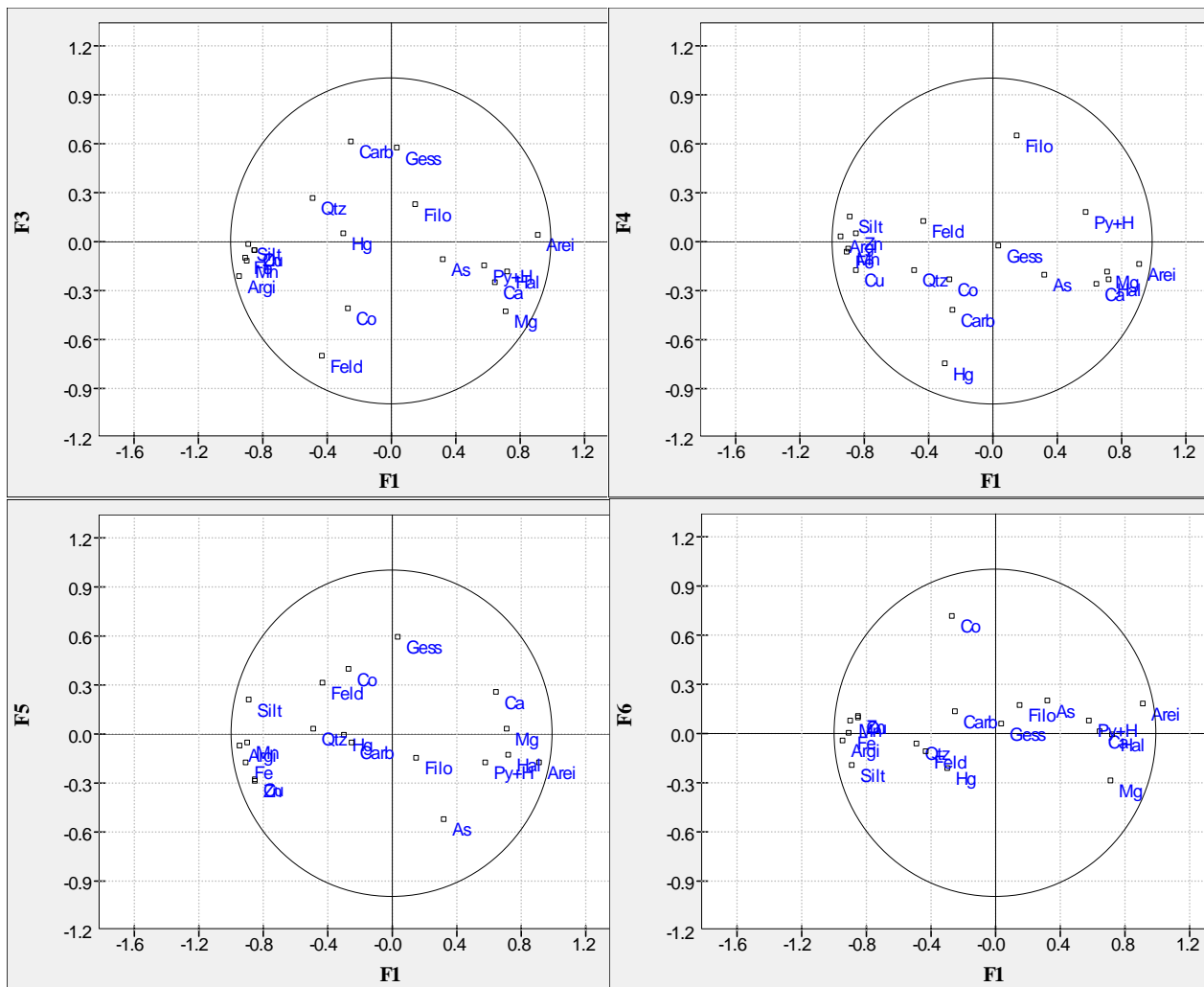
O facto de os sedimentos com maiores quantidades de silte e argila serem aqueles que apresentam maiores concentrações de metais sugere uma associação das partículas de menor calibre a estes elementos metálicos. Os elementos metálicos podem estar ligados à matéria particulada de grão fino de diferentes formas, incluindo ligações superficiais (adsorção) ou integrados na estrutura de diferentes minerais encontrados em maiores proporções nas fracções granulométricas mais finas. Não tendo sido feitas análises químicas após extracção sequencial, não se pode confirmar qualquer uma destas possibilidades.

O segundo componente obtido pela ACP é accionado positivamente pelos filossilicatos e negativamente pelo quartzo e arsénio, verificando-se que os valores das coordenadas do quartzo são particularmente elevados. Como o quartzo e os filossilicatos são respectivamente, o principal constituinte mineral e aquele que, na maior parte das amostras, surge em segundo lugar, consideramos que este componente reflete diferenças na composição mineralógica, em particular no que diz respeito à proporção relativa de quartzo. Se os sedimentos fossem exclusivamente detríticos, esperava-se maiores quantidades de quartzo em amostras mais ricas em areia e de filossilicatos em amostras mais ricas em argila. A não associação das fracções granulométricas a este componente indica que outros processos, para além da alimentação detrítica (por exemplo, precipitação química) condicionam a mineralogia dos sedimentos estudados. O facto da fracção de silte tanto poder estar enriquecida

em quartzo como em filossilicatos também pode justificar o não envolvimento das fracções granulométricas neste componente. Não temos uma explicação provável para o envolvimento do arsénio a par do quartzo no segundo componente.

O terceiro componente apresenta coordenadas positivas de carbonatos e gesso e negativas de feldspato. Como os carbonatos e o feldspato estão entre os segundos minerais mais comuns, pode admitir-se que este componente estará parcialmente relacionado com as proporções relativas de constituintes associados a precipitação química-bioquímica e detrítica. Contudo, o não envolvimento da halite neste componente, que surge mais elevado em locais onde se espera maior precipitação química, sugere que parte do gesso e carbonatos é alimentada de unidades da área envolvente e que não resulta simplesmente de precipitação local. Esta possibilidade é compatível com a natureza das unidades aflorantes na região de Luanda, uma vez que são várias aquelas que devem apresentar estes minerais entre os seus principais constituintes (ver capítulo 2). Assim, o terceiro componente deve reflectir a importância relativa, como fontes detríticas, de diferentes unidades da área envolvente.

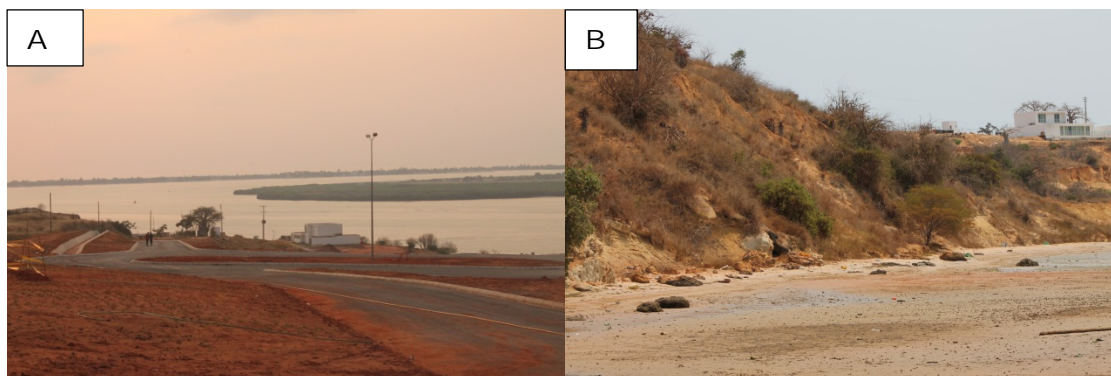
O quarto componente é suportado positivamente pelos filossilicatos e negativamente, com valores bastante elevados, pelo mercúrio. O quinto componente revela valores positivos de gesso e negativos de arsénio. Finalmente, o sexto apenas apresenta coordenadas superiores a 0,5 para o cobalto. Admitimos que estes três componentes obtidos pela ACP são justificados pela ocorrência de situações de introdução local de mercúrio, arsénio e cobalto, respectivamente. O facto das concentrações de mercúrio e arsénio serem geralmente muito baixas, frequentemente inferiores ou muito próximas do limite de detecção da metodologia aplicada, pode apoiar esta hipótese, mas também não exclui a possibilidade de estes componentes não serem suportados por quaisquer processos, naturais ou antrópicos, nos ambientes estudados (Fig. 4.25).



**Figura 4.25:** Projecção das variáveis no primeiro componente contra os componentes 3, 4, 5 e 6. Significado das variáveis indicado na figura anterior.

## CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Península do Mussulo é uma região que se localiza no extremo sul de Luanda com grande importância turística e ambiental. Possui uma baía que alberga praias procuradas por muitos visitantes. Porém, é provavelmente para ela que se encaminha grande parte das substâncias químicas geradas pela acção do Homem na região de Luanda, uma cidade em que se tem verificado um grande e desordenado crescimento. Na zona urbana envolvente da baía, onde são depositados inúmeros resíduos da actividade humana, ocorre erosão acelerada das falésias contribuindo para a contaminação da área do Mussulo (Fig. 5.1). Finalmente, as características geográficas da região do Mussulo fazem com que tanto a restinga como a baía, sejam destino de muitas obras de construção civil com variadas finalidades. Infelizmente, estas actividades nunca são precedidas de convenientes estudos de impacte ambiental.



**Fig. 5.1:** Depósito de materiais no interior da baía.do Mussulo (.A) Actividade humana, no caso obra de construção civil. (B) Erosão de uma falésia (fotos do autor).

O estudo efectuado consistiu na caracterização dos sedimentos da baía. Para o efeito, procedeu-se a uma análise de parâmetros composicionais (geoquímica, mineralogia e granulometria) dos sedimentos. Procurou-se definir a origem dos elementos químicos identificados, tentando definir os locais onde cada elemento apresenta maiores concentrações e perceber se as causas das elevadas concentrações são antropogénicas ou naturais.

Dos resultados obtidos, quanto à fracção granulométrica, foi possível determinar que os sedimentos são geralmente dominados por fracções de areia e silte, estando a argila em menores quantidades. Notou-se também que o silte e a argila ocorrem geralmente em maiores quantidades na zona norte da baía e a areia na zona mais a sul. Verificou-se ainda que o quartzo, filossilicatos, feldspatos, e carbonatos são os minerais melhor representados. Na zona sul da baía ocorrem quantidades significativas de gesso e halite. No que concerne a fracção argilosa, o gesso, argilas expansivas e a caulinite são as fases minerais mais comuns, observando-se maiores quantidades do primeiro na zona mais a sul e do último na zona mais a norte.

Em relação aos elementos químicos foram medidas as concentrações de onze elementos (cálcio, magnésio, cobalto, manganês, zinco, cobre, mercúrio, níquel, ferro selénio e o chumbo). Os elementos químicos apresentam uma clara tendência de concentração espacial diferenciada. Os teores de cálcio e magnésio são mais elevados na zona sul enquanto os teores de cobre, chumbo, ferro, manganês e zinco, são mais elevados na região norte, em particular nas proximidades da cidade de Luanda. Não se notam tendências claras para o arsénio, cobalto e mercúrio. Registaram-se as correlações positivas entre o cobre, ferro, manganês e zinco e negativas destes elementos com o cálcio e o magnésio. Verificou-se ainda que o o cobre, ferro, manganês e zinco, por vezes, correlacionam-se positivamente com as percentagens de argila e silte e negativamente com as percentagens de areia. O magnésio e cálcio, por sua vez, parecem ser mais comuns em sedimentos com maiores quantidades de areia. Refira-se ainda que as percentagens somadas de minerais de ferro (hematite e pirite) não se correlacionam com as concentrações de ferro, podendo este facto ser visto como um indicador de contaminação.

A análise de componentes principais efectuada a um conjunto de parâmetros analisados aponta para a presença de um componente quer pode estar relacionado com a intensidade da contaminação antrópica. A par deste, reconhecem-se outros que podem estar associados a diferenças nas condições hidrodinâmicas, natureza da alimentação detrítica, da precipitação química e eventuais contribuições locais de alguns metais pesados.

Para terminar, é importante realçar que, tendo em atenção os resultados obtidos e que indicam possível contaminação da baía pela acção antrópica, fundamentalmente na parte mais a norte, é necessário que se promovam medidas concretas de mitigação. Ao nível do ordenamento, é fundamental promover a realização de estudos de impacte ambiental, em particular para os projectos de maior envergadura, bem como a elaboração de um plano director para a região que especifique que tipo de projectos podem ser erguidos naquela parcela do território.



As águas residuais também devem ser alvo de maior atenção. Urge evitar que a baía seja o local de descarga, sem qualquer tratamento, das águas das valas de drenagem e de efluentes urbanos.

## BIBLIOGRAFIA

Abecasis, F.M. (1958) – Les fleches de sables de la côte d'Angola. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, p. 21.

Andrade, H. & Paola, R. (1995) – Primeiras observações sobre as superfícies terraçadas dos arredores de Luanda. In Geologia de Angola, Dep. Geologia-Universidade Agostinho Neto, Luanda, p. 26-28).

Armando, A.F.Q., Quimuanga, A.C.Q & Lufundisso, A.C.Q. (2011) – Resíduos dos equipamentos eléctricos e electrónicos em Luanda: Configuração da cadeia pós consumo. Um contributo à educação ambiental. Tese de licenciatura publicada. ISCED – Lubango, Lubango, 61p.

Baptista, L. F. (2005) - Evaluación geoquímica de las propiedades del material particulado (polvo, suelos) de la ciudad de Luanda (Angola) y su entorno. Tese de Doutoramento publicada, Universidad Politécnica de Madrid, p 9-73

Brognon, V. & Verier, G. (1955) - Contribution a la geologie du bassin du cuanza en Angola. Carlo Colombo Publisher, Rome, p.254-265.

Broullet, P. F. (1984) - Intratonic and pericretonic basins in Africa. Elsevier Science Publisher B.V., Netherlands, 11 p

Carvalho, A.M.G. (2011) – Dicionário de geologia: Âncora Editora, Lisboa, 486 p.

Carvalho, G.S (1960) – Alguns problemas de terraços quaternários do litoral de Angola. Boletim do Serviço Geológico Mineiro, Angola, p. 5-15.

Carvalho, H. (1983) - Notice explicative préliminaire sur la géologie de l'Angola. Instituto de Investigação Científica Tropical. Lisboa, p.15-21.

Diário da República (2011) – Lei de criação do município de Belas na província. Imprensa Nacional, série nº 75 de 21 de Abril, Luanda, p.2687.

Diário da República (2011) – Lei nº 29/11 de 1 de Setembro. Imprensa Nacional, 1ª série nº 168, Luanda, p.4129.

Dinis, A.C. (2006) - Características mesológicas de Angola. 2ª Edição, IPAD, Lisboa, p.183-191

Duval, B., Cramez, C. & Jecson, M.P.A. (1992) – Raft tectonic in the Kwanza Basin, Angola. *Marine Petroleum Geology*, vol.9, Paris, p404. Disponível em <http://www.beg.utexas.edu/indassoc/agl/pubs/Raft.pdf>. Acesso a: 17 Julho2014.

Feio, M. (1946) – O Relevo de Angola, segundo Jessen - Boletim da Sociedade Geológica Portuguesa, Vol. 5, Lisboa, 294 p.

Guiraud, M. Buta-Neto, A., & Quesne, D. (2010) - Segmentation and differential post-rift uplift at the Angola margin as recorded by the transform-rifted Benguela and oblique-to-orthogonal-rifted Kwanza basins. *Marine and Petroleum Geology*, 27. 1040–1068.

Gomes, C.F. (1986). – Argilas o que são e para que servem. Fundação Calouste Goulbenkian, Lisboa,457p.

Harold, P.G (1977) – Laboratory theory and methods for sediment analysis. USGS Publications, Washinton, p. 1-13. Disponível em <http://pubs.usgs.gov/twri/twri5c1/>. Acesso, 03 de Janeiro de 2014.

Lima, V. F. & Fábio, Merçon (2011) – Metais pesados no ensino da química. *Nova Química*, vol.12, São Paulo, p.3-7. Disponível em <http://www.qnesc.sbq.org.br/online>. Acesso a: 02 Jan. 2014.

Marques, M.M. (1966) - Les grandes unité géomorphologiques D´Angola Centro de Estudos de Pedologia Tropical-Junta de estudos do Ultramar, Lisboa, p.13-14.

Marques, M.M.. (1977) - Esboço das grandes unidades geomorfológicas de Angola – 2ª. Aproximação. Junta de Investigação do ultramar, Lisboa, p. 42-43.

Moore, D.M., & Reynolds, R.C. (1997) – X-ray diffraction and identification and analysis of clay mineral. Oxford University Press, 2nd edition, 363 p.

Morais, M. L., Putignano, M. L.; Sgrosso, I., & Oliveira, R. (1995) Observações estratigráficas e sedimentológicas da sucessão miocénica aflorante entre Cacuaco e Luanda. Actos da 1ª. Reunião científica de geologia de Luanda. Luanda

Morais, M.L. & Sgrosso, I. (1993) – Elementi per una ricostruzioni della evoluzione tettono-sedimentarie del bacino del kwanza nella provincia di Benguela (Angola). *Giornale di Geologia*,serie 3,vol.55/1, Bolonha, p. 139-154.

Morais, M:L. & Sgrosso, I. (1995) - Provável fase tectónica recente ao longo da margem costeira angolana. In *Geologia de Angola*, Dep. Geologia-Universidade Agostinho Neto, Luanda, p. 23.

Neto, M.G. M. (1964) - O sedimentar costeiro de Angola. Algumas notas sobre o estado actual do seu conhecimento. Junta de Investigação do Ultramar, Vol., Lisboa, 232 p.

Nzatuzola, João Baptista Lukombo (2011) - Crescimento da População em Angola: “Um olhar sobre a situação e dinâmica populacional da cidade de Luanda”. In Revista de Estudos Demográficos, nº 49, Luanda, 67 p.

Pippo, T., (1995) - Primeiras observações sobre as características morfológicas das costas setentrionais de Angola. In Geologia de Angola, Dep. Geologia-Universidade Agostinho Neto, Luanda, p. 24-25

Pippo, T., Helder, A. & Fernandes, A. (1995) - Evolução geomorfológica da laguna do cabo São Brás. In Geologia de Angola, Dep. Geologia-Universidade Agostinho Neto, Luanda, p. 29.

Robinson Jr., Gilpin R. & Ayote, Joseph D. (2006) - The influence of geology and land use on arsenic in stream sediments and ground waters in New England, USA. Elsevier, 1496p. disponível em [www.science.direct.com](http://www.science.direct.com). Acesso: 13 de Junho de 2014.

Sales, J.B. (1991) – Nova contribuição ao estudo das microfaunas nos sedimentos ao interior da Baía do Mussulo. Tese de licenciatura publicada, Universidade Agostinho Neto, Luanda, p 1, 3-4.

Sequeira, Mário David da Costa Pereira (2013) Contaminação ambiental associada a antiga exploração aurífera da Escádia Grande – águas, solos e sedimentos. Tese publicada. Universidade de Coimbra, Coimbra, 82p.

Shumberger (1991) – Avaliação de formações de Angola, Wec, Paris, 195 p.

Siegel, F.R (2001) – Environmental geochemistry of potential heavy metals. Springer. Washinton, 218 p. Disponível em <http://www.amazon.com/Environmental-Geochemistry-Potentially-Toxic-Metals/dp/3540420304>. Acesso a 11 de Abril de 2014.

Sousa, J.R. & Barbosa, A.C. (2000) – A contaminação por mercúrio e o caso da Amazónia. Química Nova Escola, vol.12,p.37-42.

## **Sites consultados:**

<http://www.atsdr.cdc.gov>. – Acesso: Junho de 2014.

<http://www.infopedia.pt>. – Acesso: Julho de 2014.

<http://www.hidrografico.pt>. – Acesso: Setembro e Outubro de 2013.

<http://www.inamet.gov.com> – Acesso: Maio de 2014.

<http://www.ine.gov.ao>. – Acesso: Junho de 2013.

<http://www.viva terra.org.br>. – Acesso: Novembro de 2013.