

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA
ALBUFEIRA DE SÃO DOMINGOS E AVALIAÇÃO DA
COMPATIBILIDADE TEXTURAL ENTRE ÁREAS-FONTE E
DEPÓSITOS SEDIMENTARES**

Carlos Tiago Pinto Janardo

Orientador: Professor Doutor César Augusto Canêlhas Freire de Andrade

Dissertação

Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento
do Território

2016

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA
ALBUFEIRA DE SÃO DOMINGOS E AVALIAÇÃO DA
COMPATIBILIDADE TEXTURAL ENTRE ÁREAS-FONTE E
DEPÓSITOS SEDIMENTARES**

Carlos Tiago Pinto Janardo

Orientador: Professor Doutor César Augusto Canêlhas Freire de Andrade

Dissertação

Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento
do Território

2016

ÍNDICE

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
CAPÍTULO II - A BACIA HIDROGRÁFICA DE SÃO DOMINGOS.....	2
II.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO.....	2
II.2 ENQUADRAMENTO LITOESTRATIGRÁFICO.....	4
II.3 ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO.....	17
II.3.1 O tómbolo de Peniche e a evolução da linha de costa	17
II.3.2 Geomorfologia da área em estudo	22
CAPÍTULO III - MÉTODOS.....	24
III.1 TRABALHOS DE CAMPO	24
III.1.1 Rede de amostragem dos sedimentos de fundo.....	24
III.1.2 Rede de amostragem das margens da albufeira.....	26
III.1.3 Rede de amostragem da bacia hidrográfica.....	28
III.2 TRABALHOS DE LABORATÓRIO.....	30
III.2.1 Separação da fracção superior e inferior a 63µm	31
III.2.2 Granulometria de grosseiros (fracção > 63 µm)	31
III.2.3 Determinação do teor de carbonato de cálcio.....	32
Massa da amostra a analisar (g)	32
III.2.4 Determinação do teor de matéria orgânica	33
III.2.5 Índice Rp	34
III.2.6 Determinação do teor em água	35
III.3 QUANTIFICAÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA SUPERFICIAL	36
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
IV.1 SONDAGEM CURTA.....	37
IV.1.2 Sondagem curta - taxa de sedimentação	40
IV.2 Sedimentos de fundo da albufeira	41
IV.3 Sedimentos das margens	45
IV.4 Materiais aflorantes na bacia hidrográfica	50

IV.5 Quantificação da produção de areia na bacia hidrográfica de são domingos	61
IV.6 Sedimentos de praia	66
IV.7 Erosão hídrica superficial, aplicação da RUSLE e produção sedimentar	71
Erosividade	71
Erodibilidade	72
IV.7.3 Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo	74
IV.7.4 Factor de produção sedimentar e produção de areias/finos	84
CAPÍTULO VI- CONCLUSÕES	90
BIBLIOGRAFIA	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Enquadramento geográfico do concelho de Peniche (limites extraídos do site do Atlas do Ambiente, dados de 1998) e bacia hidrográfica de São Domingos sobre imagem Google.	3
Figura 2 - Limite da bacia hidrográfica da ribeira de São Domingos a montante da barragem do mesmo nome, sobre imagem GOOGLE.....	4
Figura 3 - Geologia da bacia hidrográfica da ribeira de São Domingos a montante da barragem.	5
Figura 4 - Geologia da bacia hidrográfica da ribeira de São Domingos a montante da barragem. Legenda litoestratigráfica – extracto das folhas de Peniche e Lourinhã da Carta Geológica de Portugal na escala 1: 50000.	6
Figura 5 - A foz da Ribeira de São Domingos em duas edições do Mapa Corográfico de Portugal datadas de 1867 e 1985.	18
Figura 6 - Reconstituição da evolução da linha de costa e do tómbolo de Peniche, segundo Calado (2004). A – Séc. XII DC. B – Séc. XIV. C – Séc. XV. D – Séc. XVI.	20
Figura 7 - Unidades geomorfológicas da área em estudo. A – planície litoral; B – relevos interiores. Inclui duas imagens obliquas de Google Earth: (1) vista para NW, indicando a vertente da antiga arriba litoral separando as duas unidades geomorfológicas; (2) vista para E mostrando o bordo nascente dos vales tifónicos de Bolhos e da Serra d’El Rei.	23

Figura 8 - Modelo digital de terreno da bacia de albufeira da barragem da ribeira de São Domingos. Elevações em metros.	23
Figura 9 - Rede de amostragem dos sedimentos de fundo da albufeira.	25
Figura 10 - Amostrador de gravidade - esquema ilustrativo dos componentes.	26
Figura 11 - Rede de amostragem de sedimentos da margem da albufeira.	27
Figura 12 - Rede de amostragem de rochas e solos da bacia hidrográfica.	28
Figura 13 - Imagem da sondagem recolhida com o amostrador de gravidade, antes de ser tratada em laboratório.	37
Figura 14 - Log e descrição macroscópica da sondagem recolhida com o amostrador de gravidade.	38
Figura 15 - Gráfico ilustrativo da variação vertical do teor em humidade, ao longo da sondagem. A linha azul representa os resultados usando o método habitualmente usado em geotecnia, enquanto a linha a vermelho foi obtida pelo método usado em sedimentologia.	40
Figura 16 - Mapa ilustrativo da distribuição espacial da percentagem de finos versus grosseiros dos sedimentos de fundo.	44
Figura 17 - Mapa representativo das variações de matéria orgânica (coluna azul celeste) e das variações do teor em carbonato de cálcio (coluna amarela) nos sedimentos de fundo da albufeira.	44
Figura 18 - Distribuição da relação entre finos e grosseiros, nas amostras das margens da albufeira.	46
Figura 19 - Matéria orgânica e CaCO ₃ nos sedimentos das margens da albufeira.	47
Figura 20 - Curvas de frequência acumulada das amostras das margens da albufeira.	48
Figura 21 - Curvas de frequência acumulada das amostras VS.	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Superfície aflorante das unidades litoestratigráficas na bacia de drenagem.....	17
Tabela 2 - Rede de amostragem dos sedimentos de fundo da albufeira, coordenadas (UTM,ED1950), profundidade e distância à margem mais próxima.....	25
Tabela 3 - Coordenadas (UTM,ED1950) das amostras colhidas nas margens da albufeira.....	27
Tabela 4 - Rede de amostragem da bacia hidrográfica; localização das amostras (coordenadas UTM,ED1950) e unidade litoestratigráfica que representam.....	29
Tabela 5 - Classificação de Fleming (2000).....	31
Tabela 6 - Classificação granulométrica dos sedimentos com base nos parâmetros estatísticos.....	32
Tabela 7 - Avaliação expedita do conteúdo em CaCO ₃ de uma amostra.....	32
Tabela 8 - Classificação dos sedimentos de acordo com o teor em matéria orgânica, segundo Costa (1991).....	34
Tabela 9 - Teor de humidade (TM) das amostras recolhidas na sondagem realiada com amostrador de gravidade.....	39
Tabela 10 - Resultados laboratoriais das amostras de sedimentos de fundo. Teor em matéria orgânica (M.O.), em carbonato de cálcio e proporção de grosseiros/finos na amostra total...41	41
Tabela 11 - Índice Rp dos sedimentos de fundo.....	42
Tabela 12 - Resultados laboratoriais das amostras de margem. Teor de matéria orgânica (M.O.), em carbonato de cálcio, proporção de grosseiros/finos na amostra total e com parâmetros granulométricos da fracção grosseira.....	45
Tabela 13 - Índice Rp dos sedimentos colhidos das margens.....	47
Tabela 14 - Resultados laboratoriais das amostras das unidades litoestratigráficas aflorantes na bacia hidrográfica. Teor em matéria orgânica (M.O.), em carbonato de cálcio e proporção de grosseiros/finos na amostra total e parâmetros granulométricos da fracção grosseira dos sedimentos.....	50
Tabela 15 - Superfície aflorante, fator de correcção superficial e fator de correcção textural derivado da notícia explicativa.....	64
Tabela 16 - Superfície aflorante, fator de correcção superficial e fator de correcção textural derivado de ensaios laboratoriais.....	65

Tabela 17 - Localiação das amostras (datum 1956 fuso 29) e dos dados granulométricos de amostras de praia..... 67

Tabela 18 - Valores de perda anual de solo específica e total

RESUMO

O objectivo principal deste trabalho consistiu no estudo e quantificação da erosão hídrica na bacia hidrográfica da ribeira de São Domingos e da produção sedimentar daquela ribeira, combinando os resultados de aplicação da RUSLE em ambiente SIG com dados de natureza geológica e geomorfológica. Escolheu-se a bacia de S. Domingos pelas suas dimensões e tipologia do seu sistema de drenagem, análogos aos das outras bacias das Ribeiras do Oeste, neste caso contendo uma albufeira de barragem. Caracterizaram-se os materiais mobilizados na bacia hidrográfica e também os sedimentos das margens (essencialmente areias) e fundos (essencialmente vasas) da albufeira, bem como das praias (arenosas) adjacentes à foz da ribeira. Testaram-se métodos de quantificação da razão de produção sedimentar (SDR), concluindo-se que o valor de SDR se situa provavelmente no intervalo de 0.15 a 0.35 e 0.19 a 0.38, quando se considera a bacia total ou apenas a fracção útil para a albufeira, respectivamente. A albufeira é muito eficaz no armadilhamento de sedimentos arenosos, interrompendo o trânsito destes materiais para jusante. Captura também vasas nos fundos inundados, mas a aplicação a estes sedimentos de métodos isotópicos de quantificação da taxa de acumulação produziu resultados inconclusivos. A intensidade da sedimentação esperada na albufeira, inferida a partir da RUSLE ($1.6 \text{ a } 3 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$) é, pelo menos, cinco a dez vezes inferior à observada empiricamente no terreno, concluindo-se que tal resulta de a RUSLE produzir, no caso presente, estimativas por defeito. A estimativa da produção de areias para a costa antes da construção da barragem, sugere que o litoral a sul de Peniche se encontra em situação de défice sedimentar, sendo expectável a presença de uma tendência erosiva crónica. Finalmente, conclui-se da necessidade de investigar melhor a intensidade da erosão hídrica e a dimensão da razão de produção sedimentar nesta bacia, a fim de calibrar e validar as metodologias empíricas de avaliação da erosão e da descarga sólida de origem fluvial.

Palavras chave: erosão hídrica; Equação Universal de Perda de Solo; factor de produção sedimentar; descarga sólida fluvial

ABSTRACT

The main objective of this work is to study and quantify soil erosion by water in the São Domingos watershed solving the RUSLE in GIS environment, and computing the solid discharge of this stream, combining results from the RUSLE with geological and geomorphological data. This watershed was chosen because of similarities with other basins of the “Ribeiras do Oeste” and the existence of a dam and reservoir. The source materials outcropping in the watershed, and sediments deposited in the reservoir’s margin and bottom and accumulated in beaches adjacent to the stream outlet were characterized. Several methods of sediment delivery ratio (SDR) computation were tested, indicating that it stays in the range of 0.15 - 0.35 and 0.19 - 0.38, when applied to the whole basin or the fraction upstream of the dam, respectively. The reservoir makes a very efficient trap for sand, totally interrupting the transport downstream of the dam. It also entraps muddy sediment, but application of isotopic methods yielded inconclusive results on their rate of accumulation. The intensity of mud sedimentation inferred from the RUSLE ($1.6 \text{ a } 3 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$), is at least 5 to 10 times lower than observed in the field. This difference is interpreted as resulting from the RUSLE underestimating the intensity of soil erosion by water. Computation of the annual sand discharge rate in the coastline prior to the construction of the dam suggests a strong deficit in the coastal budget and that the coast extending south of Peniche must be in a state of chronic erosion. There is a strong need to improve the data set on the intensity of soil erosion by water, on the magnitude of the sediment delivery ratio and solid discharge in streams for the purposes of validating and calibrating empirical methods of predicting soil loss and intensity of fluvial sediment sources.

Keywords: Soil erosion by water; Universal Soil Loss Equation ; sediment delivery ratio; fluvial sand sources.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não teria sido realizado sem a ajuda de diversas pessoas em vários momentos, sendo por isso importante expressar o meu agradecimento às mesmas. Em primeiro lugar queria deixar expresso o meu agradecimento ao meu orientador, o Professor César Andrade, pela sua orientação, críticas construtivas, esclarecimentos e sugestões.

À Mestre Vera Lopes pelo seu apoio no trabalho laboratorial, esclarecimento de dúvidas e ajuda no processamento das amostras.

À Doutora Cristina Lira pelo apoio na parte informática, na aplicação da RUSLE em ambiente Arcgis, na disponibilidade para esclarecer dúvidas e pelas sugestões e conselhos.

À minha família (pai, mãe e irmã) pelos valores que me inculcaram e pelo apoio mesmo nas alturas mais complicadas, dando-me força e motivação, assim como pelos ensinamentos que todos os dias me transmitem, melhorando-me como pessoa. E por último à minha namorada, por ter tido uma paciência enorme comigo durante esta etapa que nem sempre foi fácil.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A erosão hídrica do solo, sendo um processo natural, origina em geral perda de área agrícola, empobrecimento do solo arável e diminuição da sustentabilidade dos terrenos afetados. Porém, o material sólido assim produzido, será injetado na rede hidrográfica e alcançará a zona costeira, pelo que aquela erosão, nefasta do ponto de vista do uso agrícola ou florestal do solo, tem como contrapartida a alimentação da faixa costeira, sendo este o aspeto mais relevante daqueles processos nesta dissertação.

Este trabalho pretende contribuir para o conhecimento dos processos de erosão hídrica e da produção sedimentar das “Ribeiras do Oeste”, utilizando como caso de estudo a ribeira de São Domingos. Para tal foi realizada uma caracterização da bacia hidrográfica da albufeira de barragem da Ribeira de São Domingos (Peniche) com o objetivo de estudar a produção sedimentar resultante da erosão hídrica, através da aplicação da equação universal de perda de solo, na versão revista (RUSLE), a acumulação desses materiais na albufeira sob a forma de sedimentos de fundo e das margens e também nas praias relacionadas com a desembocadura daquela ribeira, antes e depois da construção da barragem. Como objectivo secundário procurou-se, relacionar os locais e materiais-fonte dos sedimentos com os materiais e locais de deposição no litoral adjacente (as praias de Baleal e da Consolação).

A Ribeira de São Domingos foi escolhida como objeto de estudo devido a apresentar uma área de drenagem relativamente pequena, e ter bacia e rede hidrográfica semelhantes em dimensão, geologia e orografia às das restantes “Ribeiras do Oeste”, sendo a única com uma albufeira de barragem - que funciona como armadilha sedimentar - esperando-se que os resultados obtidos fossem passíveis de extrapolação para as outras ribeiras, características desta região da Estremadura.

CAPÍTULO II - A BACIA HIDROGRÁFICA DE SÃO DOMINGOS

II.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

A bacia hidrográfica da Ribeira de São Domingos desenvolve-se por 77 km² com forma elipsóidica e eixo longo NW-SE (Figura 1). A cota máxima na bacia é de 204 m. A maior parte da bacia pertence ao concelho de Peniche (67 km²) e a restante superfície (10 km²) ao concelho da Lourinhã. O concelho de Peniche ocupa uma área de 77.6 km² e inclui uma península com aproximadamente 10 km de perímetro, correspondente a um tómbolo. No ponto mais ocidental da península localiza-se o Cabo Carvoeiro e, mais para oeste, no domínio oceânico, encontra-se o arquipélago das Berlengas. O concelho de Peniche compreende as seguintes 6 freguesias: Ajuda, Conceição e São Pedro, Ferrel, Atouguia da Baleia e Serra d'El Rei. A leste, é limitado pelo concelho de Óbidos, a sul, pelo concelho da Lourinhã, e a oeste e a norte confina com o Oceano Atlântico (Figura 1).

No concelho da Lourinhã, as freguesias de São Bartolomeu dos Galegos e Moledo, Lourinhã e Atalaia e ainda a de Reguengo Grande intersectam esta bacia de drenagem.

A albufeira de barragem de São Domingos encontra-se localizada na freguesia de Atouguia da Baleia, à cota 30 m acima do nível do mar, sendo as coordenadas do muro da barragem 39° 20' 4.694" N; 9° 19' 3.166" W.

A entidade que promoveu a construção e assegura a sua exploração, desde o início, são os Serviços Municipalizados de Peniche. Em 1987 iniciou-se a construção da barragem de São Domingos, junto a Atouguia da Baleia, o que reduziu a bacia hidrográfica a montante desta interrupção para 32 km², de acordo com COBA (1987); a superfície da mesma bacia é de 39.4 km² no site do SNIRH [1], numero que se julga mais plausível porque semelhante ao calculado no âmbito deste trabalho em ambiente SIG: 36.5 km² (Figura 2).

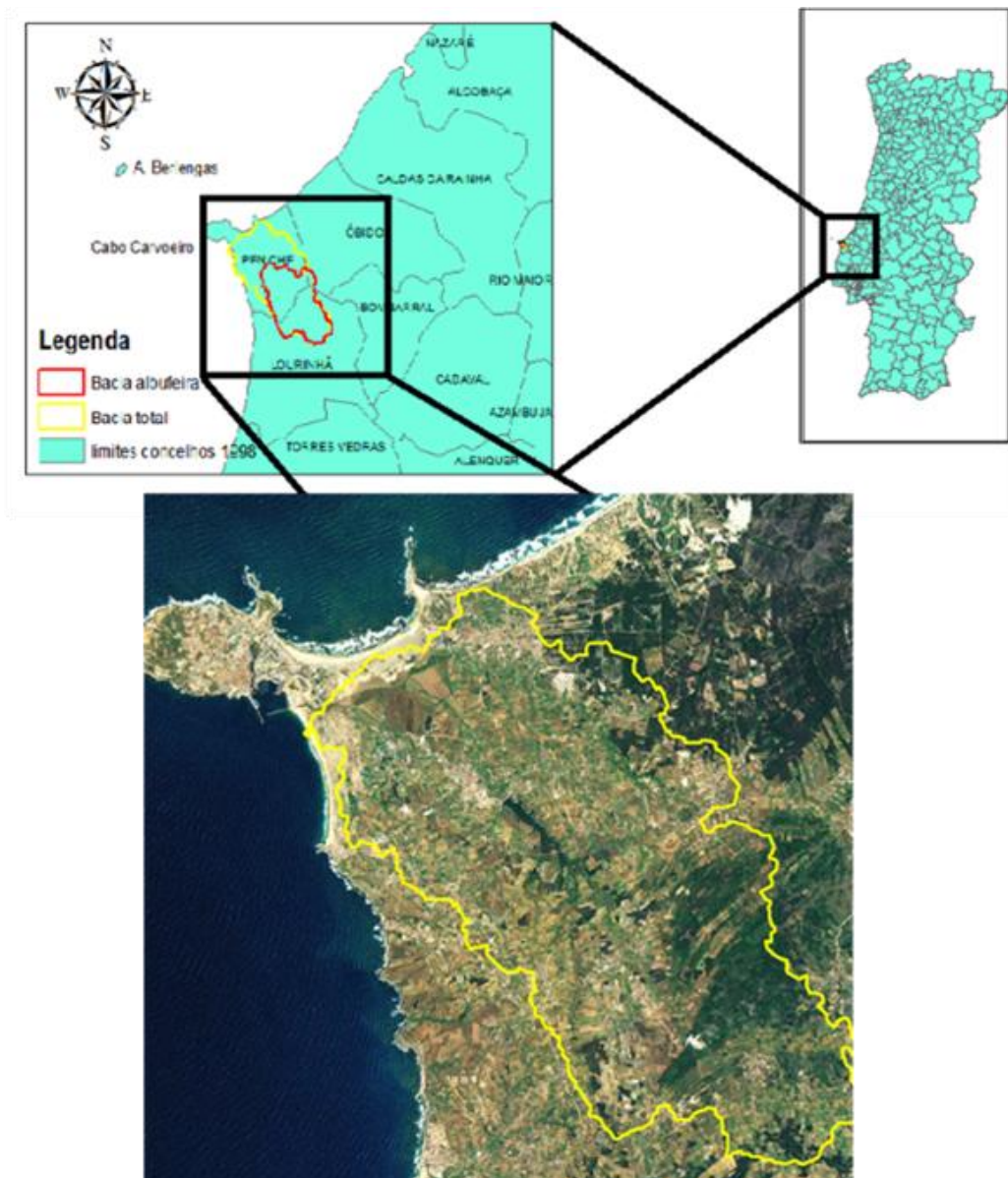


Figura 1 - Enquadramento geográfico do concelho de Peniche (limites extraídos do site do Atlas do Ambiente, dados de 1998) e bacia hidrográfica de São Domingos sobre imagem Google.

A albufeira de barragem estende-se cerca de 2.8 km para SE, ocupando o fundo do vale da Ribeira de São Domingos e penetrando na secção terminal de alguns afluentes. Embora o limite de inundação varie com a pluviosidade e com a gestão da água da albufeira, raramente ultrapassa a região da Quinta do Penteado.

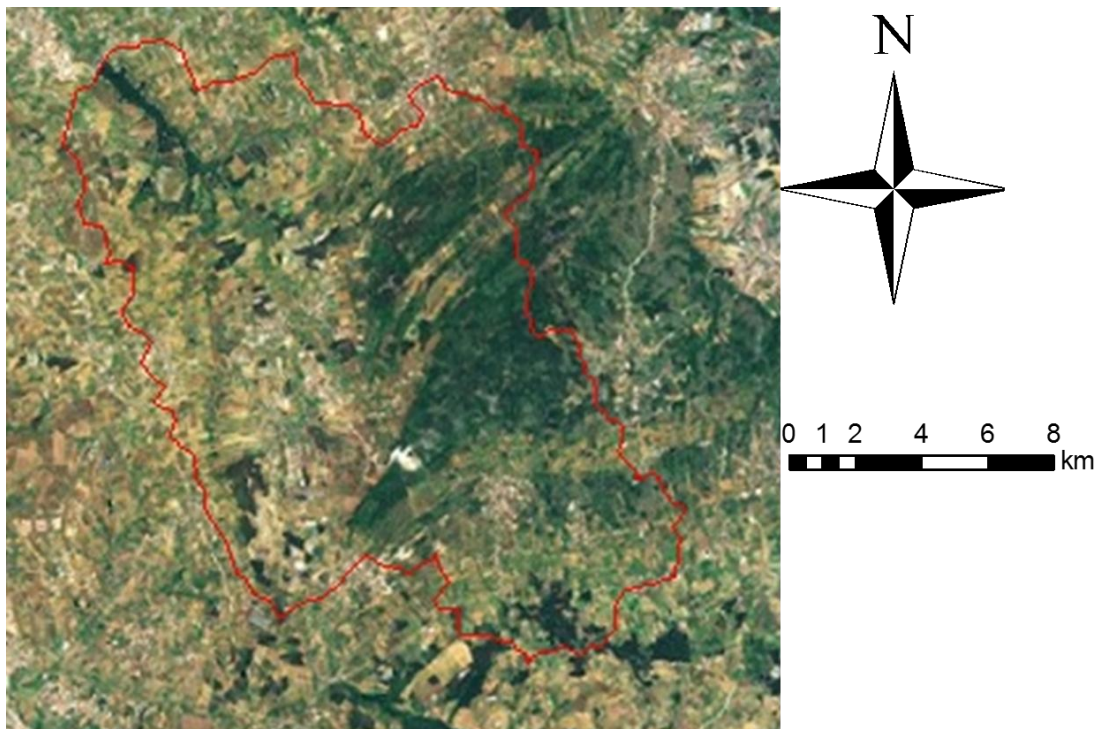


Figura 2 - Limite da bacia hidrográfica da ribeira de São Domingos a montante da barragem do mesmo nome, sobre imagem GOOGLE.

De acordo com COBA (1987) a albufeira encheu pela primeira vez em 1993 destinando-se essa água essencialmente a abastecimento para fins agrícolas. A albufeira apresenta uma capacidade total de 7900 dam cúbicos, a cota do nível de pleno armazenamento é de 42.5 m e a cota do nível de máxima cheia 44.76 m; o nível mínimo de exploração é de 22 m [1]

II.2 ENQUADRAMENTO LITOESTRATIGRÁFICO

A bacia hidrográfica da ribeira de São Domingos está enquadrada na folha 26-C de Peniche (França *et al.* 1960) e na folha 30 – A da Lourinhã (França *et al.* 1961; Manupella *et al.* 1999) da Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50000 dos Serviços Geológicos de Portugal, estando integralmente contida nos terrenos da Orla Meso-Cenozóica Portuguesa. Na Figura 2 e Figura 3 representa-se a secção que interessa à albufeira da barragem sobre fotografia aérea e sobre a Carta Geológica,

respectivamente. A Folha 30 A (Lourinhã) foi objecto de revisão e actualização dos conteúdos litoestratigráficos, pelo que na figura 3 os limites geológicos não concordam entre a parte norte e a parte sul da imagem.

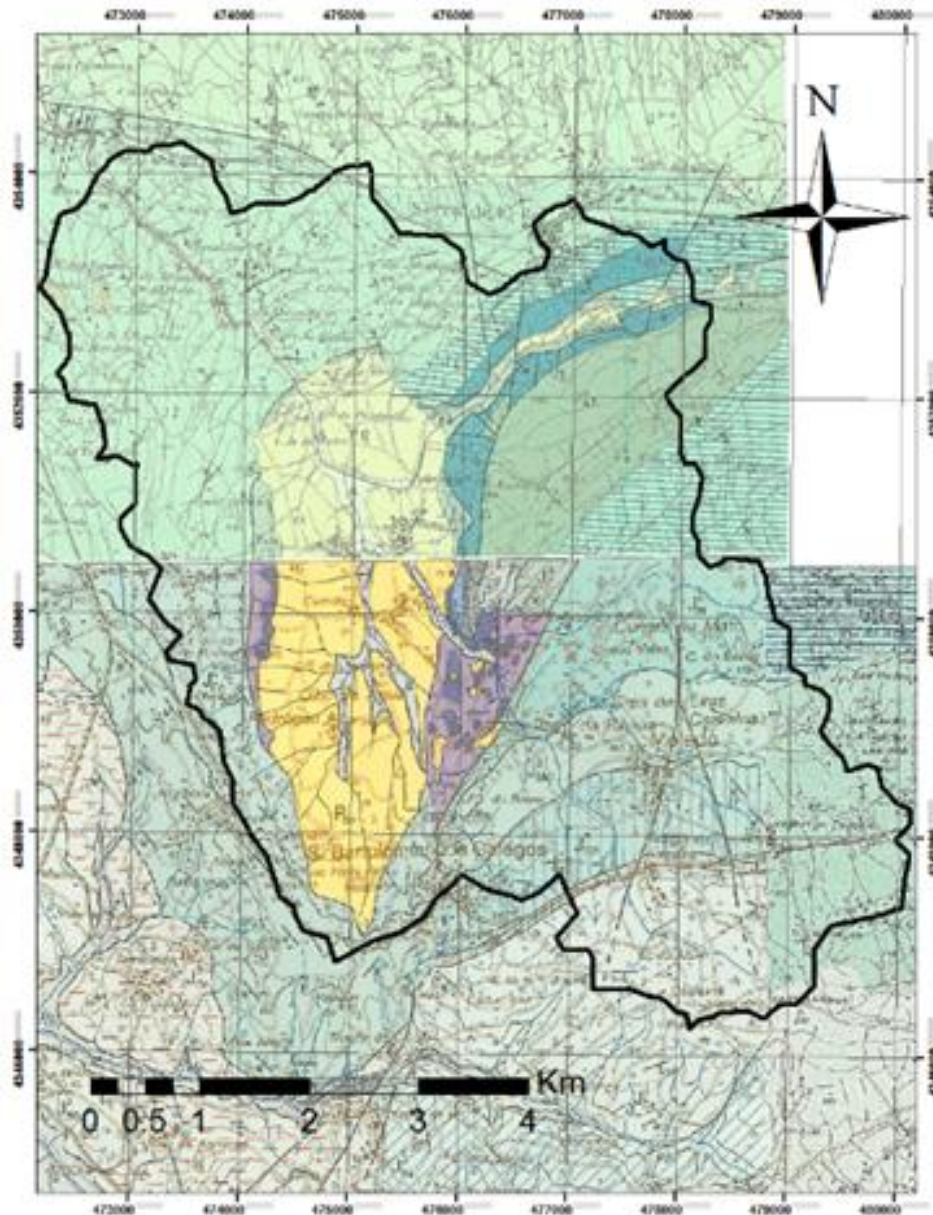


Figura 3 - Geologia da bacia hidrográfica da ribeira de São Domingos a montante da barragem.



Figura 4 - Geologia da bacia hidrográfica da ribeira de São Domingos a montante da barragem. Legenda litoestratigráfica – extracto das folhas de Peniche e Lourinhã da Carta Geológica de Portugal na escala 1: 50000.

No âmbito deste trabalho procurou-se obter informação destas cartas e respectivas notícias explicativas sobre a litoestratigrafia das rochas aflorantes, e apresenta-se em seguida uma síntese dos aspectos mais relevantes, mantendo as designações das unidades litoestratigráficas de ambas as versões da Notícia Explicativa da Folha da Lourinhã, bem como a respectiva posição cronoestratigráfica. Esta informação foi completada com um resumo das observações macroscópicas, efectuadas nos trabalhos de campo.

As formações geológicas que afloram na região delimitada pela bacia hidrográfica da Ribeira de São Domingos, a montante da barragem, são:

Holocénico (a) - aluviões

O Holocénico está representado por aluviões, que consistem em sedimentos fluviais localizados no fundo do vale da ribeira de São Domingos e afluentes, e são constituídas por areias, lodos e cascalheiras, com predomínio das primeiras. Para montante da barragem, os vales são estreitos e as observações de campo indicam que as aluviões correspondem essencialmente a areias, mais ou menos lodosas, com contribuições menores de cascalho. Para jusante da barragem o vale da ribeira de São Domingos aumenta consideravelmente de largura, tal como a expressão superficial e a espessura dos depósitos aluvionares. Nesta região, a notícia explicativa da folha 26-C Peniche (França *et al.*,1960) indica 50 m para a espessura máxima das aluviões, que ali são essencialmente formadas por cascalheiras na base, tornando-se mais arenosas para o topo. Esta descrição concorda com a acumulação sedimentar muito recente de sedimentos marinhos e fluviais no polígono com vértices em Consolação-Peniche-Baleal-Atougua da Baleia, relacionados com o desenvolvimento e instalação do tómbolo de Peniche, como se descreve adiante.

Plistocénico (Q)

Trata-se de depósitos de praias antigas, possuindo maior expressão na zona de Atougua da Baleia, fora da bacia hidrográfica em estudo. Estes depósitos são constituídos por areias e cascalheiras, soltas ou pouco consolidadas, apresentando localmente uma grande componente fossilífera. Estas antigas praias ocorrem escalonadas nos seguintes níveis altimétricos: 6-8 m, 15-20 m, 25-35 m e 60-75 m. No interior da bacia hidrográfica que drena para a albufeira de São Domingos ocorrem apenas dois pequenos retalhos de praias quaternárias a norte, perto do Casal de São Jorge, que não foram considerados nas etapas seguintes deste estudo.

Plio-Plistocénico indiferenciado (PQ) Complexo plio-pleistocénico de Bolhos | Pliocénico (Pbo) – Areias e margas de Bolhos

Estes terrenos foram datados do Plio-Plistocénico indiferenciado na folha 26-C Peniche, bem como na edição de 1961 da Folha 30-A Lourinhã, com a designação de “Complexo plio-pleistocénico de Bolhos”. Na edição de 1999 da Folha 30-A Lourinhã, as mesmas rochas são descritas como “Areias e margas de Bolhos” e datadas do Pliocénico

A unidade em questão compreende um conjunto inferior, formado por areias médias a finas, castanhas amareladas, com intercalações de cascalheiras, sobretudo na parte inferior, onde também ocorrem areias finas lignitosas, com espessura total até cerca de 90 m, de idade provavelmente pliocénica, a que se sobrepõe uma cobertura provavelmente pleistocénica. Esta cobertura, com espessura variável (máxima da ordem de 25 m) é essencialmente argilosa e contém lamelibrânquios de água doce (*Unio Littoralis*) e gastrópodes pulmonados terrestres (*Valvata piscinalis*). Os dois conjuntos formam a unidade cartografada com a designação de “Complexo de Bolhos” (“Areias e margas de Bolhos”) o qual, na bacia hidrográfica estudada, preenche a depressão correspondente do fundo do vale tifónico de Bolhos. Este complexo assenta em discordância sobre a formação das Margas da Dagorda.

As observações de campo indicam que os afloramentos do Complexo de Bolhos na região em estudo consistem em areia de granularidade muito fina a média de cor amarela a branca, mal calibrada, com grãos angulosos a sub-rolados apresentando também seixos centimétricos de calcário, rolados, e de concreções ferruginosas, e ainda grânulos de 2 a 4 mm de quartzito e de quartzo.

Na bacia hidrográfica em estudo, as camadas aflorantes corresponderão, assim, ao conjunto inferior deste complexo.

Jurássico

MALM

Pterociano (Kimmeridgiano) (J^4) | Kimeridgiano superior (J^3_{AP}) Grés, margas e arenitos da Praia da Amoreira - Porto Novo

As camadas datadas do Pterociano (Kimeridgiano) na folhas 26-C Peniche e na edição de 1961 da folha da Folha 30-A Lourinhã foram reunidas na formação de Grés, margas e arenitos da Praia da Amoreira - Porto Novo na edição mais recente desta última folha.

Nas duas folhas mais antigas, o Pteroceriano é descrito como consistindo essencialmente em arenitos argilo-margosos e, mais raramente, em calcários, argilas micáceas e margas predominantemente cinzentas e esverdeadas. Ocorrem ainda alguns leitos de conglomerados contendo, na base, elementos calcários retomados do Lusitaniano. A expressão cartográfica, reduzida na folha de Peniche, cresce significativamente na folha adjacente a sul e desenha uma banda em forma de crescente, alongada norte-sul, periférica ao anticlinal de Bolhos. Porém, a fracção deste afloramento que é intersectada pela bacia hidrográfica em estudo é muito reduzida.

Segundo Seifert (1958, in França *et al.*, 1961) a sequência típica do Pteroceriano, com espessura total máxima de 260 m, é a seguinte:

- 9 - Nível fossilífero.
- 8 - Grés avermelhado (35m).
- 7 - Pequeno nível de margas e calcários margosos.
- 6 - Argilas margosas parcialmente siltosas e micáceas cinzentas, presença de alguns grés feldspáticos finos (60 m).
- 5 - Pequenos níveis de margas e calcários margosos com fósseis.
- 4 - Argilas margosas, siltosas, micáceas, alguns grés feldspáticos cinzentos (60 m).
- 3 - Pequeno nível de calcários margosos com intercalações arenosas.
- 2 - Grés feldspáticos, micáceos, de grão fino a médio, cinzentos, com intercalações de argilas siltosas, micáceas cinzentas-esverdeadas (125 m).
- 1 - Conglomerado de espessura variável com calhaus de calcário e raros de quartzo.

Na edição mais recente da Folha da Lourinhã (Manuppella *et al.*, 1999), a espessura total desta unidade foi reavaliada em 140 m e as camadas constituintes agrupadas em dois conjuntos: um conjunto inferior, designado “termo da Praia da Amoreira” e outro superior, designado “termo do Porto Novo”. O termo da Praia da Amoreira é constituído por arenitos grosseiros caulíníficos e argilitos com solos calcários intercalados, predominando os segundos sobre os primeiros. O termo superior consiste em conglomerados com intercalações argilosas e carbonatadas pedogenéticas e intercalações espessas de arenitos.

Observação no campo: camadas constituídas por arenitos grosseiros micáceos, mal calibrados, com matriz argilosa amarela, incluindo seixos de quartzo, rolados. Estas camadas, de fácies fluvial, foram interpretadas como correspondendo ao termo do Porto Novo.

Lusitaniano superior (J_c^3) Camadas de Abadia | Kimeridgiano médio e inferior (J_{AP}^3) Grés, margas e arenitos da Praia da Amoreira – Porto Novo, (J_V^3) Calcários do Vimeiro, (J_{rp}^3) Calcários calciclásticos com oóides, margas e grés de Reguengo Pequeno, (J_{CO}^3) Grés, margas, calcários oolíticos e dolomitos da Consolação, (J_{sc}^3) Calcários e margas de Santa Cruz, (J_{mo}^3) Calcários de Moledo

O afloramento das “Camadas de Abadia” cartografado nas folhas 26-C Peniche e na edição de 1961 da folha da Folha 30-A Lourinhã, forma uma mancha quase contínua, e é descrito como constituído por formações margosas e calcárias muito fossilíferas. Na parte superior predominam argilas, margas e grés de conteúdo pouco fossilífero, enquanto a base é constituída por margas e calcários do conteúdo fossilífero elevado. Na região compreendida pela bacia hidrográfica em estudo afloram fundamentalmente as camadas do topo desta unidade.

Um corte inédito de Choffat (*in* França *et al.*, 1961) a E da Bufarda (a poente do diapiro de Bolhos), mostra a seguinte sequência:

9 – Grés finos sem fósseis.

8 – Alternâncias de margas e grés (25 m) com *Ostrea sp.*, *Nerita bicornis* e *Goniocylindrites aff.*.

- 7 – Marga (1m) com fósseis.
- 6 – Margas cinzentas (15m), sendo avermelhadas no metro superior, presença de *Ostrea sp.*.
- 5 – Alternância de grés margosos com grés compactos (40 m), incluindo, a meio um banco de calcário oolítico, cinzento azulado.
- 4 – Alternância de grés e margas (20 m), com algumas bancadas muito ricas em fósseis.
- 3 – Alternância de grés e calcários (5m), com oólitos desagregados.
- 2 – Calcários compactos, oolíticos a topo, apresentando-se dolomitizados no contacto com o Infralias (10 m).
- 1 – Margas de Dagorda.

Outra sequência reportada por Zbyszewski, 1959 (*in* França *et al.*, 1960) a W da capela da S^a do Amparo (a NE do diapiro de Bolhos), mostra:

- 5 - Grés Superiores
- 4 - Grés micáceos, amarelos esverdeados.
- 3 - Margo-calcários com oólitos de grandes dimensões e muitos fósseis de fácies salobra.
- 2 - Margo-calcários muito semelhantes as camadas descritas em 3, variando o conteúdo fossilífero.
- 1 - Camadas de Montejunto.

Uma outra sequência representativa, descrita por Choffat a NE da Quinta do Penteado (França *et al.*, 1960) consiste em :

- 5 - Grés compactos, sem fósseis, com algumas bancadas intercaladas de margas.
- 4 - Alternância de grés e de margas com concreções calcárias, com *Ostrea sp.* e outros bivalves.
- 3 - Grés e calcários oolíticos com gastrópodes.
- 2 - Bancos pouco espessos de calcários com polipeiros.
- 1 - Margas de Dagorda.

França *et al.* (1961) refere também o corte da Cesareda, com a seguinte sequência:

- 5 - Grés, margas, argilas e intercalações calcárias (Pteroceriano).
- 4 - Camadas com *Lima (Pseudolimea) alternicosta* (60 m).
- 3 - Calcários compactos com *Nerinea* e polipeiros (aproximadamente 200 m).
- 2 - Margo-calcários com grandes oólitos e recifes de polipeiros (300 m).
- 1 - Camadas de Montejunto.

À formação das Camadas da Abadia, corresponde, na edição de 1999 da Folha 30-A Lourinhã, um conjunto de três formações datadas do Kimeridgiano médio (J_{AP}^3 Grés, margas e arenitos da Praia da Amoreira – Porto Novo, J_V^3 Calcários do Vimeiro e J_{RP}^3 Calcários calciclásticos com oóides, margas e grés de Reguengo Pequeno) que gradam lateralmente entre si, e assentam sobre um conjunto de outras três formações, do Kimeridgiano inferior (J_{CO}^3 Grés, margas, calcários oolíticos e dolomitos da Consolação, J_{SC}^3 Calcários e margas de Santa Cruz e J_{MO}^3 Calcários de Moledo) que exibem também gradação lateral de fácies.

A bacia hidrográfica estudada não intersecta as formações J_V^3 e J_{SC}^3 e a extensão de afloramento da formação J_{AP}^3 naquela bacia é negligenciável, pelo que a descrição seguinte se reporta apenas às restantes três formações, de acordo com Manuppella *et al.* (1999).

A formação J_{CO}^3 Grés, margas, calcários oolíticos e dolomitos da Consolação é observável num único corte representativo, apresentando a seguinte sequência, da base para o topo:

- 1 – Siltes argilosos e margas com intercalações de calcários margosos, fossilíferos (14 m).
- 2 – Calcários margosos areníticos e margas calcárias, com tempestitos intercalados (21 m).
- 3 – Alternâncias rítmicas de calcários margosos com oncólitos com arenitos argilosos e argilas calcárias siltosas, fossilíferas (75 m).

4 – Margas areníticas com calcários arenosos (oóides) intercalados, fossilíferos (30 m).

5 – Margas areníticas e arenitos progressivamente mais grosseiros para o topo, com estratificação oblíqua (20 m).

6 – Arenitos (40 m).

Os Calcários de Moledo (J_{Mo}^3) consistem numa série essencialmente carbonatada, calcária na base e gradando para o topo para margas e arenitos argilosos. Os últimos termos são predominantes nas vizinhanças da Cesareda, em detrimento das camadas calcárias.

A formação J_{RP}^3 Calcários calciclásticos com oóides, margas e grés de Reguengo Pequeno consiste num conjunto com 180 m de espessura constituída, da base para o topo, por calcários com oncólitos e intraclastos, margas e, nos 45 m de topo, por arenitos micáceos pouco argilosos.

Observação no campo: Camadas de areia fina a grosseira, mal calibrada, com matriz silto-argilosa e seixos de quartzo sub-rolado a rolado, de dimensões compreendidas entre 1 e 5 cm. Ocorrem arenitos finos micáceos, ligeiramente ferruginosos e argilosos, interestratificados, e também camadas margosas.

Lusitaniano Médio (J_b^3) Camadas de Montejunto | Oxfordiano médio e superior (J_M^3) Calcários de Montejunto; (J_C^3) Camadas de Cabaços

Estas camadas, datadas Oxfordiano médio e superior, afloram nos flancos do anticlinal tifónico de Serra de El-Rei e mais para sul no planalto da Cesareda. No flanco norte daquele anticlinal as camadas são constituídas por calcários recifais que assentam diretamente nas formações do Lias. Apresentam a seguinte sequência em corte passando a 750 m a W da Capela de N^a Senhora do Amparo, descrito por Choffat (cf. França *et al.*, 1960):

4 – Calcário oolítico esbranquiçado com conteúdo fossilífero abundante.

3 – Brecha compacta, contendo calhaus de calcários margosos, esbranquiçados, cinzentos e amarelados, fossilífera.

2 – Calcários cinzentos-claros com bancos oolíticos e ricos em fosseis.

1 – Lias.

No flanco Sul daquele anticlinal as Camadas de Montejunto ocupam maior extensão aflorante e assentam sobre o Caloviano. Apresentam a seguinte sequência (de cima para baixo) em corte também descrito por Choffat e referido em França *et al.* (1960):

13 – Calcários compactos, cinzentos, oolíticos no topo, com polipeiros, amonites, nerineas e naticas (1250 m).

12 – Calcários margosos com fósseis diversos e abundantes.

11 – Calcário compacto com *Nerineas siliciosas* e *Natica sp.*

10 – Margas cinzentas com fósseis.

9 e 8 – Calcários margosos, cinzentos com *Nerinea sp.* e outros fósseis.

As camadas 8 a 12 representam uma espessura total de 100 m.

7 – Margas com fósseis.

6 – Bancada calcária com pequenos gastrópodes de fácies salobra.

5 – Alternâncias de calcários margosos cinzentos com margas e calcários cinzentos-escuros, ocasionalmente brechóides.

As camadas de 5 a 7 correspondem a uma espessura de 70 a 80 m.

4 – Margas esbranquiçadas e margas vermelhas com pequenos calhaus escuros, apresentando dois bancos de calcários cinzentos-escuros (8m).

3 – Calcários oolíticos cinzentos ou esbranquiçados, com numerosas *Nerineas* e gastrópodes de fácies salobra (8 a 10 m).

2 – Calcários acinzentados com ostras e ouriços, possivelmente de idade caloviana.

1 – Caloviano Superior.

Na zona do vértice de Cabreira, na carta 30-A Lourinhã, as Camadas de Montejunto apresentam o seguinte corte, descrito por Choffat [1882], in França *et al.* (1961):

6 – Calcários.

5 – Grés e margas vermelhas e amarelas com fósseis.

4 – Alternância de margas vermelhas com algumas bancadas mais rijas.

3 – Margas vermelhas, tendo no meio uma bancada de calcário oolítico, muito grosseiro, com 2 m de espessura.

2 – Calcário dolomítico, preto e duro (10 m).

1 – Complexo com fauna salobra (50 m).

Observação no campo: camadas compostas por calcários compactos cinzentos, textura micrítica, com muitos microfósseis, com superfície exposta muito carsificada, presença de lapiás e de preenchimentos de argilas castanhas de alteração. Bancadas com espessura métrica, com atitude N 40º E, 35ºSE.

Caloviano (J_c^2) | Calcários da Cesareda

Esta formação aflora apenas no planalto da Cesareda, no flanco sul do anticlinal com o mesmo nome, correspondendo ao Caloviano superior, médio e inferior.

O Caloviano superior, com 75 m de espessura, é constituído por calcários compactos bioclásticos, oolíticos nos 5 m superiores, contendo nódulos siliciosos e fósseis de braquiópodes, espongiários, briozoários, crinoides e polipeiros, frequentemente siliciosos. O Caloviano médio (110 m) é constituído por calcários margosos, mais ou menos compactos, contendo uma fauna fossil diversificada. O Caloviano inferior (40 m) é constituído por calcários margosos, sendo que na base passam a margas e argilas carbonatadas.

Observação no campo: camada de calcários compactos de cor amarela, margosos e frequentemente detríticos, apresentando argilas castanhas de alteração.

DOGGER

Batoniano/Bajociano (J_{ab}^2) | Calcários da Cabreira

Trata-se de camadas que afloram principalmente no flanco sul do anticlinal da Serra d'El Rei e planalto da Cesareda. As rochas batonianas/bajocianas são calcários compactos semicristalinos recifais, a oolíticos (100 m). O Bajociano superior é constituído por calcários sublitográficos esbranquiçados (330 m), assentes em calcários siliciosos com polipeiros que cobrem 8 m de calcários margosos. Ao Bajociano medio e

inferior correspondem camadas calcárias compactas a semicristalinas com faunas silicificadas, com espessuras que variam entre 10 e 20 m.

Observação no campo: camadas calcárias de cor cinzenta a amarela, apresentando carsificação intensa, onde se observa alternância de níveis microcristalinos com pequenos fósseis silicificados, com níveis laminados margosos em bancadas amarelas e vermelhas de espessura decimétrica. Ocorrência de *terra rossa*.

LIAS

Sinemuriano a Aaleniano (J_{ch}^1)

Consiste num conjunto de camadas alternantes de margas arenosas e calcários margosos com componente fossilífera habitualmente elevada. A datação atribuída a este conjunto estende-se do Hetangiano/Sinemuriano inferior ao Toarciano médio/Aaleniano basal, com espessura total da ordem de 95 m (França *et al.*, 1960; Manupella *et al.*, 1999). Aflora apenas nos dois flancos do anticlinal da Serra d'El Rei.

Hetangiano – Retiano (J_{ab}^1) Margas e Calcários da Dagorda

As Margas e Calcários da Dagorda afloram nos núcleos dos anticlinais tifónicos (diapíricos) de Bolhos e da Serra d'El Rei. Consiste essencialmente num conjunto de argilas e margas vermelhas e verdes com gesso que passam a topo para calcários dolomíticos e dolomitos em plaquetas. A espessura do complexo argilo margoso-evaporítico excede largamente a dos termos superiores carbonatados (avaliada em 7 a 10 m, em valor médio, e máxima de 20 m).

Na tabela 1 apresentam-se os dados sobre superfície aflorante de cada unidade litoestratigráfica na bacia hidrográfica da ribeira de São Domingos a montante da barragem, em km², e em percentagem relativa.

Como se pode observar existem três unidades litológicas que ocupam percentagem de área mais significativa: J_{ab}^2 Batoniano/Bajociano (7%), J_c^3 Lusitaniano superior (62%) e **PQ** Plio-Plistocénico (16%), totalizando 85% da superfície total. O Batoniano/Bajociano é essencialmente carbonatado, em contraste com

Lusitaniano superior e o Plio-Plistocénico que apresentam um conteúdo em areias relevante.

Tabela 1 - Superfície aflorante das unidades litoestratigráficas na bacia de drenagem.

Unidade litoestratigráfica	Superfície aflorante (km ²)	Superfície aflorante (%)
a	0.88	2.4
PQ	5.93	16.3
J^4	0.01	0.0
J_c^3	22.53	61.9
J_b^3	0.94	2.6
J_c^2	0.33	0.9
J_{ab}^2	2.59	7.1
J_{ch}^1	1.21	3.3
J_{ab}^1	2.00	5.5
Total	36.42	100

II.3 ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO

A região que inclui a bacia hidrográfica em estudo pertence à Orla Mesozóica Ocidental e parte importante do seu conteúdo geomorfológico reflete a evolução recente da zona costeira entre a antiga ilha de Peniche e a margem terrestre, pelo que nas linhas seguintes se descreve sumariamente aquela evolução.

II.3.1 O tómbolo de Peniche e a evolução da linha de costa

A bacia hidrográfica de São Domingos desagua no Atlântico, na praia de Peniche, junto ao molhe leste do porto de Peniche e o seu troço terminal está fortemente artificializado. Esta foz indicada no Mapa Corográfico de Portugal na escala 1: 100000 do Instituto Geográfico e Cadastral, datado de 1985, onde também se encontra representado o porto de abrigo e respetivos molhes de proteção (Figura 5).



Figura 5 - A foz da Ribeira de São Domingos em duas edições do Mapa Corográfico de Portugal datadas de 1867 e 1985.

Na Folha 19 do Mapa Corográfico de Portugal, levantada por Filipe Folque para a Direcção Geral dos Trabalhos Geodésicos do Reino, datada de 1867 (Figura 5), a foz desta ribeira desagua ainda na enseada da Consolação, mas mais a sul da sua localização actual. Neste mapa, o porto de Peniche não tem expressão e os molhes não existiam. Esta observação sugere que a foz da Ribeira de São Domingos divagou para norte e sul, dentro da enseada da Consolação, pelo menos desde o terceiro quartel do século XIX. O traçado da ribeira na sua secção terminal, nas duas cartas acima referidas, encontra-se claramente deflectido para poente devido à formação do cordão e campo dunar do Baleal, a norte.

Este campo dunar margina a praia do Baleal que, por sua vez, constitui a margem nascente do tómbolo arenoso que assegura a ligação da plataforma rochosa de Peniche ao continente. A construção deste tómbolo é relativamente recente e nas linhas que se seguem resumem-se as etapas principais da evolução do litoral na região de Atouguia da Baleia, Consolação, Peniche e Baleal, segundo Calado (1994).

De acordo com este autor, o maciço rochoso de Peniche seria uma ilha “...nos tempos mais recuados da pré-história.....[e] encontrar-se-ia se separada do continente...” sendo isto confirmado por “... vestígios de planícies costeiras... cerca de 45 metros acima do actual nível do mar, no Baleal (Pedras Muitas); entre os 30 e os 35 metros, na Quinta da Barrada, a Sudoeste de Atouguia; entre os 12 e os 15 metros, no vale de Janelas, em Porto de Lobos, na Consolação e no Baleal; e finalmente, entre os 6 e os 8 metros, igualmente no Baleal”.

Esta configuração existiria nos séculos I a III DC, de acordo com textos de Suetónio, Plutarco e Dião Cássio – autores Romanos citados, transcritos e comentados por Calado (1994) – e persistiria como ilha no séc. XII, como demonstrado pela correspondência do cruzado inglês Osberno. Na figura 6A reproduz-se um esquema da Ilha de Peniche no séc. XII, no qual se observa uma ilha no Baleal, e uma reconstituição da linha de costa que coincide aproximadamente com o limite geológico que separa terrenos ante e pós Plistocénicos. Na altura existiria um importante porto de mar na região de Atouguia da Baleia, mais especificamente nos lugares hoje denominados Porto Salgado e Casal da Lagoa.

No fim do séc. XII, o porto de Atouguia apresentava grande fluxo de comércio marítimo com o estrangeiro e teria grande capacidade de acomodação de embarcações. De facto, em crónica de Fernão Lopes, há referências ao facto de o Mestre de Avis ter mandado galés abrigarem-se no porto de Atouguia (Calado, 1994).

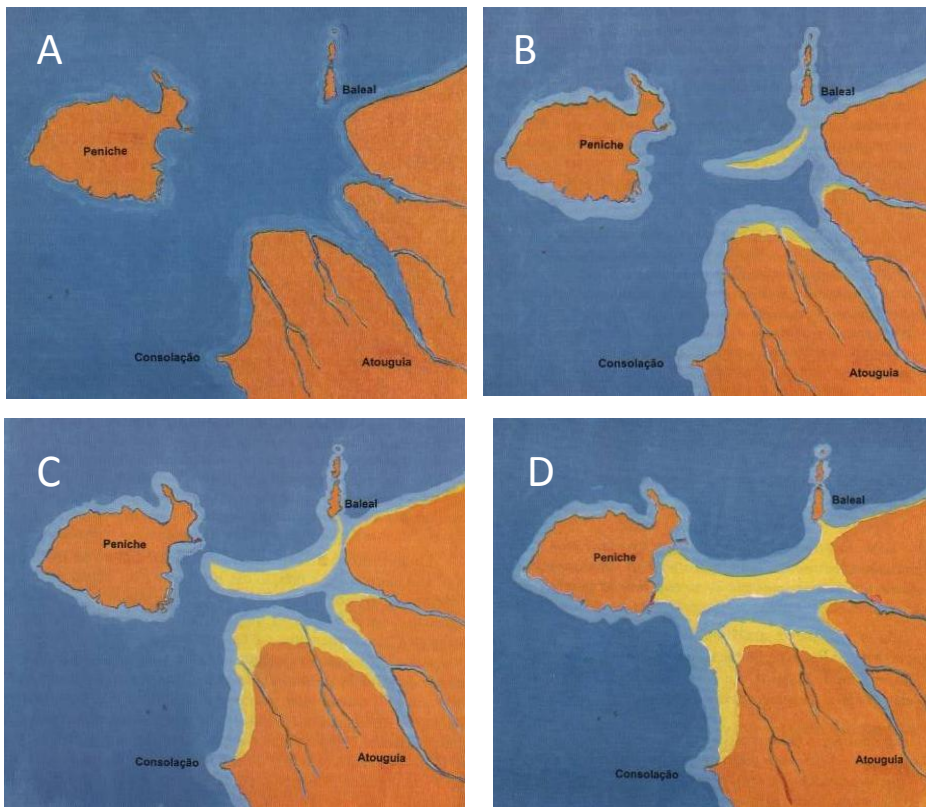


Figura 6 - Reconstituição da evolução da linha de costa e do tómbolo de Peniche, segundo Calado (2004).
A – Séc. XII DC. B – Séc. XIV. C – Séc. XV. D – Séc. XVI.

Entre os séculos XII e XIV assiste-se ao assoreamento dos fundos entre a ilha de Peniche e a margem costeira, quer por acarreio de sedimentos fluviais trazidos pelos rios de S.Domingos, Ferrel e da Lagoa, quer por sedimentos marinhos (Figura 6B). O porto de Atougua da Baleia encontrava-se seriamente assoreado em meados do séc. XV sendo que D. Duarte (n. 1391 – f. 1438) mandou instalar pilotos para orientar os navios que o demandassem (Calado, 1994).

Calado (2004) mantém que Peniche era ilha ao longo do séc. XV (Figura 6C), invocando a toponímia inscrita em documentos de D. Afonso V, datados de 1471, e na correspondência do “Senhor da Atougua”, D. Afonso de Ataíde, já do século XVI. O mesmo autor refere, porém, relatos praticamente coevos de André de Resende (n. ca. 1500 – f. 1573), indicando que se podia ir a pé do continente a Peniche, desde que em fase de baixa-mar. Facto que demonstra que o assoreamento teria tornado a profundidade bastante reduzida e que haveria sedimentos depositados em grande

quantidade, quer por efeito da deriva litoral quer pelo acarreo fluvial, sendo que este último teria já menor importância nesta fase.

A reconstituição da figura 6D mostra uma ligação quase permanente no séc.XVI, assegurada por uma restinga soldada ocupando a posição da actual praia da Consolação, fechando a ligação ao antigo porto de Atouguia e formando uma lagoa interna, cuja existência é referida em vários documentos, sendo que em 1963 terá sido aberta e desassoreada (Calado, 1994). Neste esquema encontra-se claramente representado o desvio para Sudoeste da foz do rio de S. Domingos, que passou desde então a descarregar sedimentos na baía do Baleal.

A primeira referência explícita a uma “península de Peniche” data de 1642 (Calado, 1994) mas entre esta época e 1867 o mesmo autor refere diversos documentos contendo a designação de “ilha” (possivelmente herdada da tradição local) enquanto outros reportam que a restinga de areia (o tómbolo) seria galgada e mesmo rota em algumas preia-mares. A partir do séc. XIX o tómbolo adquire configuração praticamente idêntica à que conhecemos hoje e os fenómenos de galgamento por tempestade são bem conhecidos, nomeadamente em temporais muito intensos, de que foi exemplo o ciclone de 1941.

Conclui-se assim que a antiga ilha de Peniche se ligou definitivamente a terra através da construção de um tómbolo cujo desenvolvimento estaria estabilizado na primeira metade do século XVII, encontrando-se 200 anos depois mais robustecido e já com envergadura semelhante à actual. A instalação desta barreira e o intenso assoreamento do estuário da Ribeira de São Domingos modificaram a configuração geral do litoral e obrigaram a secção terminal daquela ribeira a arquear e deflectir o seu curso. Assim, a ribeira, que inicialmente desaguava num estreito espaço de mar compreendido entre a ilha de Peniche e os bancos de areia que marginariam praias e leques aluviais progradantes sobre o espaço marinho, alimentados pela actividade sedimentar das ribeiras afluentes, que inclui o que é hoje a enseada do Baleal, viu-se obrigada a sair para poente, passando a divagar na enseada da Consolação, até que as obras de fixação lhe determinaram o posicionamento actual.

II.3.2 Geomorfologia da área em estudo

A região em estudo compreende duas unidades geomorfológicas principais (figuras 7 e 8). Uma, corresponde a uma planície litoral alongada NE-SW, que se desenvolve entre a linha de costa actual e o limite oeste dos terrenos mesozóicos, incluindo o tómbolo de Peniche, as praias e cordões dunares adjacentes e ainda as acumulações aluvionares fluviais e marinhas de idade holocénica, hoje utilizadas para fins essencialmente agrícolas, cuja formação se descreveu acima (Figura 6). Trata-se de uma região com relevo suave, cotas baixas (tipicamente inferiores a 10 m) e declives suaves. A densidade de drenagem é reduzida, em relação com a elevada permeabilidade dos materiais arenosos superficiais e os vales são muito abertos, pouco encaixados. A drenagem faz-se preferencialmente para SW, em virtude do efeito de barreira dos corpos dunares do Baleal, como explicado acima.

A segunda unidade geomorfológica compreende os terrenos mesozóicos que formam os relevos interiores mais elevados e contactam com a planície costeira através de uma vertente que pode corresponder a uma antiga arriba marinha, hoje muito adoçada e retocada pela erosão hídrica superficial (Figura 7 e Figura 8). Esta unidade reflete essencialmente a influência das estruturas anticlinais da Serra D'El-Rei e de Bolhos, onde afloram as camadas mais antigas de idade jurássica. São estruturas diapíricas, contendo margas e evaporitos na região central, exploradas pela erosão na região de charneira, originando vales tifónicos. Os bordos dos vales diapíricos que correspondem a camadas mais resistentes definem cumeeiras com orientação geral N-S (Bolhos) a cotas de 125 m, e NE-SW (Serra d'EL-Rei) a cotas de 160 m. Para sul do vale tifónico da Serra d'EL Rei desenvolve-se o planalto da Cesareda, um relevo saliente, de topo pouco acidentado e definido nas rochas jurássicas muito resistentes que constituem o flanco sul, longo, daquele anticlinal diapírico.

A rede hidrográfica da ribeira de São Domingos corta a estrutura diapírica de Bolhos e recebe um afluente principal encaixado no diapiro da Serra d'El Rei, apresentando-se na restante superfície com um padrão dendrítico.

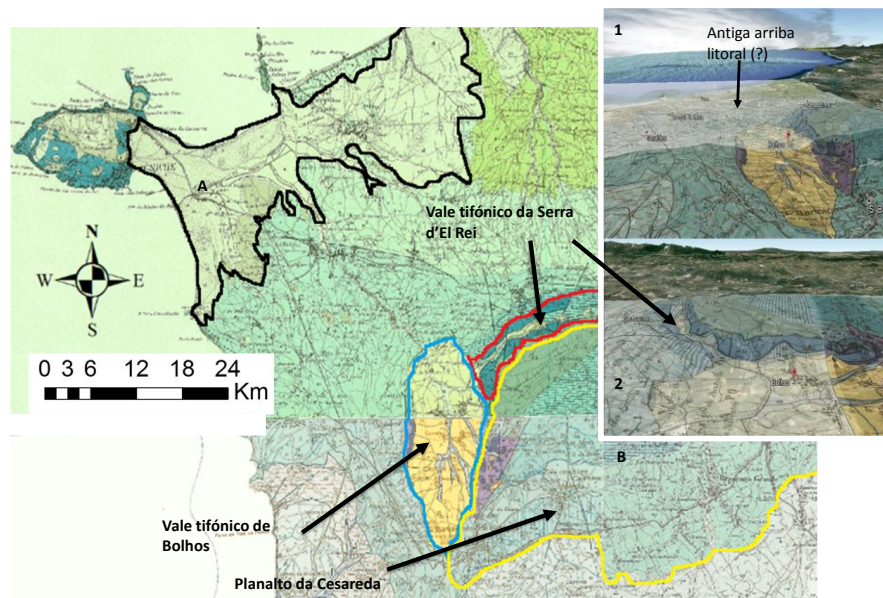


Figura 7 - Unidades geomorfológicas da área em estudo. A – planície litoral; B – relevos interiores. Inclui duas imagens obliquas de Google Earth: (1) vista para NW, indicando a vertente da antiga arriba litoral separando as duas unidades geomorfológicas; (2) vista para E mostrando o bordo nascente dos vales tifónicos de Bolhos e da Serra d’El Rei.

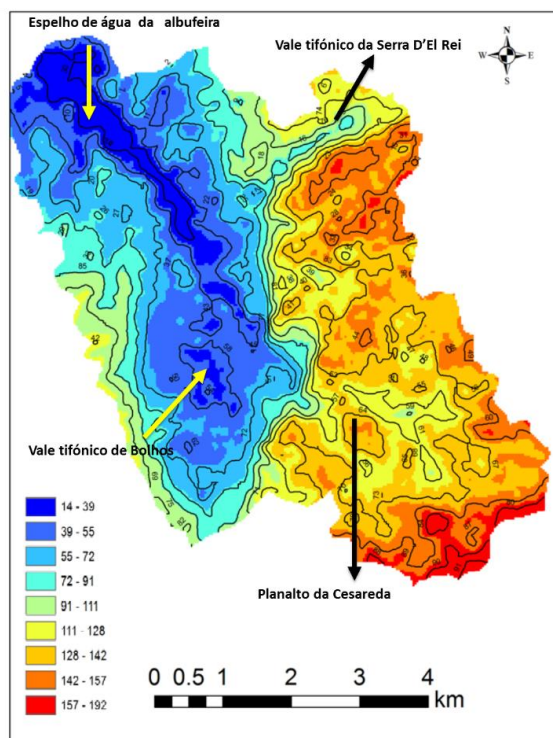


Figura 8 - Modelo digital de terreno da bacia de albufeira da barragem da ribeira de São Domingos. Elevações em metros.

CAPÍTULO III - MÉTODOS

III.1 TRABALHOS DE CAMPO

Neste capítulo descrevem-se os métodos utilizados para caracterizar os materiais aflorantes na bacia hidrográfica, os sedimentos acumulados na albufeira de barragem e na zona costeira e também os procedimentos adoptados para quantificar a erosão hídrica na bacia hidrográfica de São Domingos (total e a montante da barragem). Os trabalhos de campo efetuados na região da bacia hidrográfica de São Domingos destinaram-se essencialmente à colheita de amostras. Para este efeito, estabeleceram-se previamente redes de amostragem dos sedimentos de fundo e da margem da albufeira de barragem e dos terrenos da bacia hidrográfica; a localização de cada ponto de amostragem foi posteriormente ajustada no terreno, em função de constrangimentos locais. Os trabalhos de campo decorreram a 2 e 22 de Agosto e 2 de Setembro de 2012. O espelho de água da albufeira encontrava-se invulgarmente baixo, pelo que a parte montante dos fundos estava descoberta e foi possível observar e amostrar os depósitos marginais com facilidade.

III.1.1 Rede de amostragem dos sedimentos de fundo

A rede de amostragem de sedimentos de fundo (Figura 9) foi elaborada com o intuito de obter uma caracterização da litologia e textura dos materiais acumulados no fundo da albufeira da barragem da Ribeira de São Domingos. Nesta colheita de amostras foram utilizadas dois tipos de aparelhos: para os sedimentos superficiais foi usada uma draga van Veen e as amostras assim colhidas foram designadas pelos números 1 a 13; efetuou-se ainda uma sondagem curta na região montante da albufeira, a fim de caracterizar a coluna sedimentar, com o auxílio de um amostrador de gravidade (Figura 10) cedido pelo IPIMAR. As colheitas foram efetuadas a bordo de uma embarcação cedida e manobrada pela Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Peniche. A tabela 2 contém as coordenadas dos pontos de amostragem.

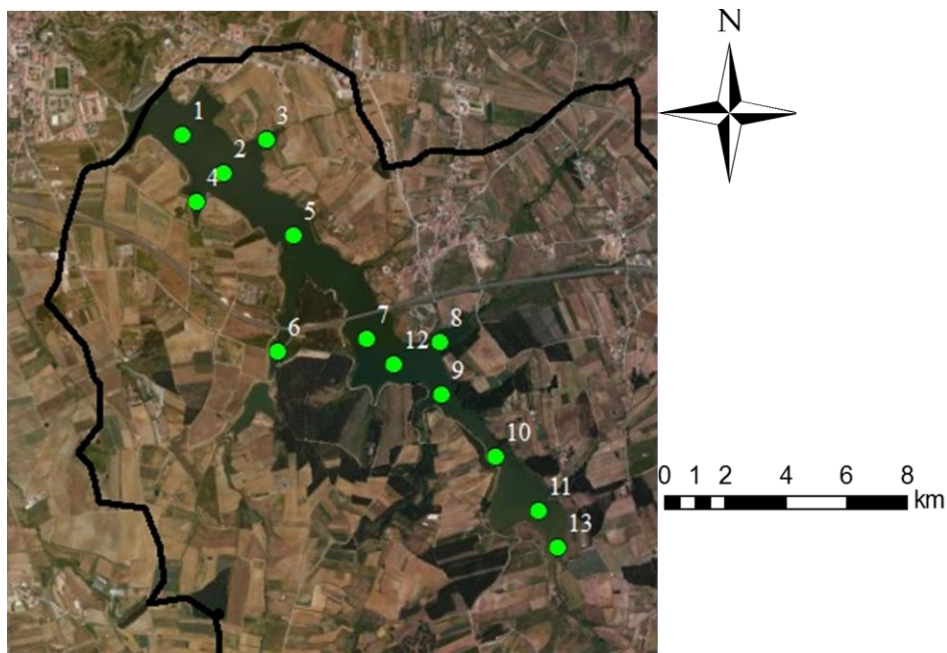


Figura 9 - Rede de amostragem dos sedimentos de fundo da albufeira.

Tabela 2 - Rede de amostragem dos sedimentos de fundo da albufeira, coordenadas (UTM,ED1950), profundidade e distância à margem mais próxima.

Amostra	Longitude (m)	Latitude (m)	Profundidade (m)	Distância à margem (m)
1	472945	4353891	14	171
2	473120	4353762	12	99
3	473319	4353890	3	52
4	472990	4353676	5	57
5	473510	4353382	14	80
6	473427	4352874	1.5	50
7	473872	4352954	9	127
8	474303	4352904	1	53
9	474284	4352586	3	66
10	474539	4352318	1.5	65
11	474615	4352271	3.3	67
12	474020	4352841	5.5	227
13	474667	4352103	4	164

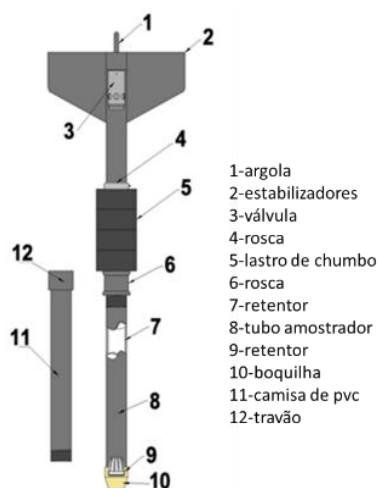


Figura 10 - Amostrador de gravidade - esquema ilustrativo dos componentes.

III.1.2 Rede de amostragem das margens da albufeira

A rede de amostragem de sedimentos das margens da albufeira foi elaborada para caracterizar um conjunto de acumulações sedimentares, essencialmente arenosas, encontradas nos trabalhos de campo ao longo da quase totalidade do perímetro da albufeira, na região onde habitualmente se encontra o espelho de água, e que diferem quer dos materiais aflorantes nas vertentes quer dos materiais depositados no fundo (Figura 11). Nem sempre foi possível aceder aos locais previamente seleccionados, pelo que a rede de amostragem é heterogénea quanto à distribuição espacial. Em cada ponto de amostragem, identificado por letras, de A a J, foi recolhido sedimento superficial com o auxílio de uma pá. A tabela 3 contém as coordenadas dos pontos de amostragem.

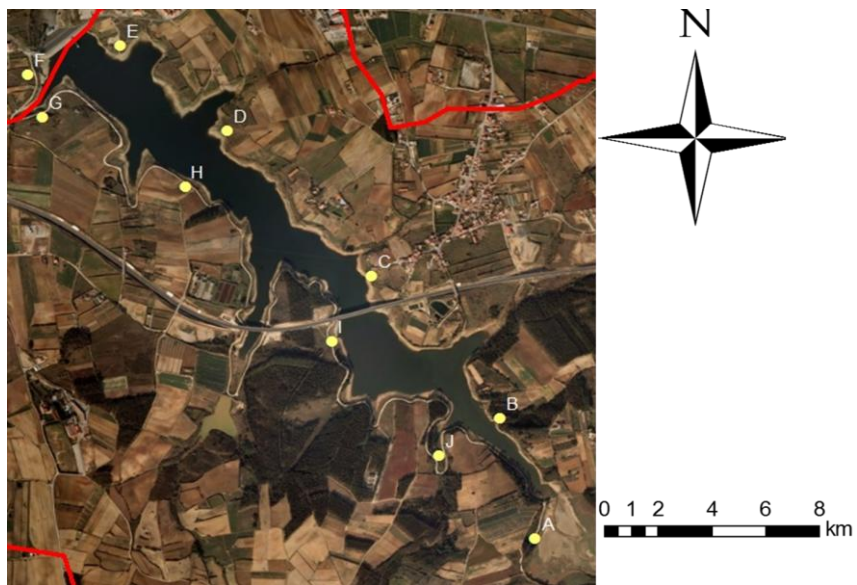


Figura 11 - Rede de amostragem de sedimentos da margem da albufeira.

Tabela 3 - Coordenadas (UTM, ED1950) das amostras colhidas nas margens da albufeira.

Amostra	Longitude (m)	Latitude (m)
A	474573	4351975
B	474332	4352665
C	473858	4353197
D	473340	4353770
E	472911	4354077
F	472660	4353893
G	472654	4353889
H	473217	4353578
I	473768	4352946
J	474412	4352455

III.1.3 Rede de amostragem da bacia hidrográfica

A rede de amostragem referente à bacia hidrográfica (Figura 12) foi pensada para cobrir cada unidade litoestratigráfica ali aflorante com pelo menos uma amostra. Sempre que possível, as amostras foram colhidas da camada de alteração superficial ou de afloramentos alterados. Optou-se por colher um número total de aproximadamente vinte amostras, o que permitiu repetir a amostragem da mesma unidade litoestratigráfica, para avaliar eventuais variações de fácies e para multiplicar amostras nas manchas de afloramento mais extensas. Tal como noutros casos, foi necessário por vezes colher as amostras em sítios diferentes dos previamente selecionados, devido a impossibilidade de acesso a alguns afloramentos.

A tabela 4 contém as coordenadas dos pontos de amostragem e a unidade litoestratigráfica em que se inserem.

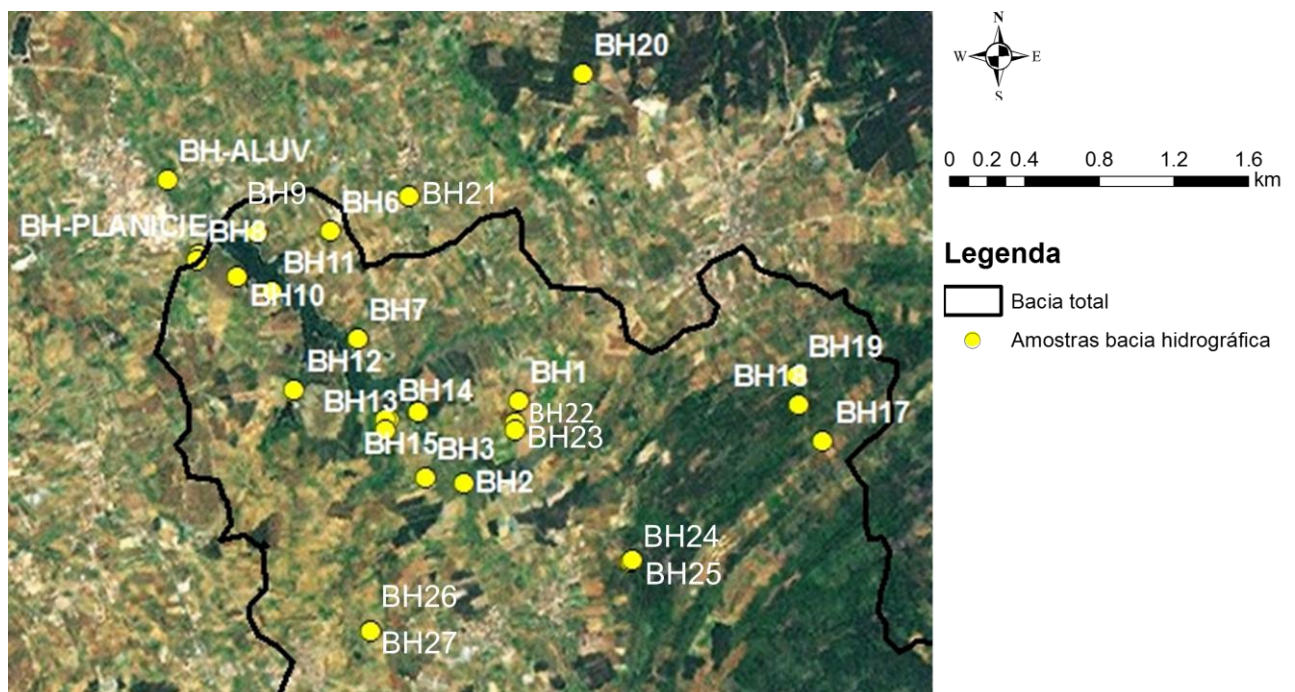


Figura 12 - Rede de amostragem de rochas e solos da bacia hidrográfica.

Tabela 4 - Rede de amostragem da bacia hidrográfica; localização das amostras (coordenadas UTM, ED1950) e unidade litoestratigráfica que representam.

Amostra	Longitude (m)	Latitude (m)	Unidade litoestratigráfica
BH2	474795	4351996	a
BH12	473393	4352796	a
BH-ALUV	472344	4352980	a
BH-PLAN	472612	4353880	a
BH1	475247	4352661	PQ
BH3	474479	4352040	PQ
BH22	475222	4352481	PQ
BH23	475218	4352424	PQ
BH20	475789	4355368	J³⁻⁴
BH21	474342	4354362	J³⁻⁴
BH4	474300	4352360	J_C³
BH5	473800	4352980	J_C³
BH6	473696	4354078	J_C³
BH7	473800	4352980	J_C³
BH8	472593	4353831	J_C³
BH9	473098	4354065	J_C³
BH10	472927	4353708	J_C³
BH11	473217	4353578	J_C³
BH13	474020	4352220	J_C³
BH14	474153	4352522	J_C³
BH15	474172	4352526	J_C³
BH16	477911	4352050	J_b³
BH17	477772	4352322	J_c²
BH18	477574	4352628	J_{ab}²
BH19	477552	4352878	J_{ch}¹
BH24	473617	4351333	J_{ch}¹
BH25	476183	4351348	J_{ch}¹
BH26	474014	4350333	J_{ch}¹
BH27	474015	4350761	J_{ch}¹

III.2 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Os procedimentos laboratoriais foram diferenciados consoante o tipo de amostra: amostras essencialmente lodosas e amostras essencialmente arenosas ou cascalhentas, com teor em finos reduzido ou nulo. As amostras essencialmente lodosas (incluindo as recolhidas com a draga Van Veen) foram congeladas à chegada ao laboratório e posteriormente liofilizadas, com o intuito de se retirar o seu conteúdo em água. As amostras essencialmente arenosas, ou mais grosseiras, foram prontamente secas na estufa a 60°C.

Uma vez secas, as amostras foram quarteadas até se obter uma massa representativa, adequada a cada ensaio. Os ensaios de caracterização executados foram: determinação do teor em carbonato de cálcio, determinação do teor em grosseiros/finos, determinação do teor em matéria orgânica (e das frações labile e refratária) e granulometria da fracção grosseira. No caso das amostras obtidas do testemunho de sondagem, determinou-se ainda o teor em água e os sedimentos secos foram enviados para os laboratórios do Instituto Tecnológico Nuclear, a fim de dosear os isótopos de ^{210}Pb e ^{137}Cs , com o objectivo de calcular a taxa de acumulação.

A sequência de trabalhos laboratoriais seguiu o seguinte fluxograma:

- A. *Homogeneização da amostra e secagem à temperatura ambiente.*
- B. *Separação de uma pequena fracção da amostra total e avaliação da intensidade da reacção com HCl diluído. Se não houve reacção, atribuiu-se teor em CaCO_3 nulo e passou-se ao passo D.*
- C. *Quarteamento de uma toma com 10 a 20 g. Doseamento do CaCO_3 por método gasométrico, com calcímetro Eikelkamp sobre esta toma .*
- D. *Quarteamento de 1 toma com aproximadamente 100 g e de outra toma com aproximadamente 10 g.*
- E. *Separação por via húmida das fracções granulométricas grosseira (superior a 63 μm) e fina (inferior a 63 μm) da toma com 100 g de massa.*
- F. *Fracção <63 μm : decantada, seca em banho de areia, pesada, arquivada para ensaio de granulometria de finos (a realizar no futuro).*

G. *Fracção >63µm: seca na estufa a 100° C, pesada e arquivada. Se em quantidade suficiente, procedeu-se à granulometria desta fracção por peneiração mecânica.*

H. *Doseamento da matéria orgânica sobre a toma com cerca de 10 g de massa.*

III.2.1 Separação da fracção superior e inferior a 63µm

Separação destas fracções granulométricas a 63µm por peneiração de uma amostra representativa através de um crivo de aço, com malha de 63µm, debaixo de um jacto de água. A fracção retida foi seca a 60 °C, pesada e arquivada; a fracção passada foi decantada, seca em banho de areia, pesada e arquivada.

A quantificação da fracção > 63µm é dada por:

% fracção > 63µm = (Pg/Pt) x 100, onde:

Pg = massa da fracção retida no peneiro (seca)

Pt = massa total da amostra (seca).

A classificação utilizada para descrever texturalmente os sedimentos é a de Fleming (2000) (tabela 5).

Tabela 5 - Classificação de Fleming (2000).

% Fracção > 63 µm	Classificação textural de Fleming
95 a 100	Areia
75 a 95	Areia pouco vasosa
50 a 75	Areia vasosa
25 a 50	Vasa arenosa
5 a 25	Vasa pouco arenosa
0 a 5	Vasa

III.2.2 Granulometria de grosseiros (fracção > 63 µm)

Separação das fracções granulométricas de uma amostra representativa, seca, com cerca de 100 g, utilizando uma coluna de crivos normalizados de -2ϕ a 4ϕ , a intervalo regular de 0.5ϕ e agitador mecânico, durante 15 minutos. A fracção retida em cada peneiro foi pesada e arquivada em saco fechado. Os dados obtidos foram utilizados para calcular parâmetros e traçar curvas granulométricas, usando os softwares GranGraf (Carvalho, 1998) e Grapher, respetivamente.

Tabela 6 - Classificação granulométrica dos sedimentos com base nos parâmetros estatísticos.

Diâmetro médio (M_z) Wentworth (1922), in Friedman & Sanders (1978)		Desvio Padrão Gráfico Inclusivo (σ_I) Friedman (1962), in Friedman & Sanders (1978)	
-1 ϕ a 0 ϕ	Muito grosseiro	< 0,35 ϕ	Muito bem calibrado
0 ϕ a 1 ϕ	Grosseiro	0,35 ϕ a 0,50 ϕ	Bem calibrado
1 ϕ a 2 ϕ	Médio	0,50 ϕ a 0,80 ϕ	Moderadamente bem calibrado
2 ϕ a 3 ϕ	Fino	0,80 ϕ a 1,40 ϕ	Moderadamente calibrado
3 ϕ a 4 ϕ	Muito fino	1,40 ϕ a 2,00 ϕ	Mal calibrado
		2,00 ϕ a 2,60 ϕ	Muito mal calibrado
		> 2,60 ϕ	Extremamente mal calibrado
Assimetria gráfica inclusiva (Sk_I) Folk & Ward (1957)		Curtose gráfica (K_G) Folk & Ward (1957)	
-1 a - 0,3	Muito negativa	< 0,67	Muito platicúrtica
- 0,3 a - 0,1	Negativa	0,67 a 0,90	Platicúrtica
- 0,1 a + 0,1	Aproximadamente	0,90 a 1,11	Mesocúrtica
+ 0,1 a + 0,3	simétrica	1,11 a 1,50	Leptocúrtica
+ 0,3 a + 1	Positiva	1,50 a 3,00	Muito leptocúrtica
	Muito positiva	> 3,00	Extremamente leptocúrtica

III.2.3 Determinação do teor de carbonato de cálcio

Utilizou-se um calcímetro Eijkelkamp e o procedimento laboratorial seguiu as normas recomendadas pelo fabricante. Uma vez obtidas tomas representativas da amostra, estima-se a massa de amostra a utilizar em cada ensaio, testando a intensidade e o tempo da reação de 1ml de HCl diluído a 10% com cerca de 1 g de sedimento, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 7 - Avaliação expedita do conteúdo em CaCO_3 de uma amostra.

Intensidade da efervescência	% aproximada de CaCO_3	Massa da amostra a analisar (g)
Pouco /Nada	<2	10
Clara (pouco tempo)	2-10	5
Forte (muito tempo)	10-20	2.5
Muito Intensa (muito tempo)	>20	<1

Uma vez determinada a massa de amostra a analisar, preparam-se três padrões (utilizando CaCO_3 com > 99.5% de pureza) com massas de 0.2000g, 0.3000g e 0.4000g e um “branco” de controle que são deixados a reagir integralmente com HCl (4mol/L). O volume de CO_2 libertado por cada padrão é medido e utilizado para construir uma correlação com a massa de CaCO_3 consumida; o teor em CaCO_3 de cada amostra é obtido utilizando esta correlação, uma vez conhecido o volume de gás libertado após reação total da amostra nas mesmas condições.

$$\% \text{CaCO}_3 = 100 \times \frac{M_2 \times (V_1 - V_3)}{M_1 \times (V_2 - V_3)}$$

Onde,

M_1 - massa de sedimento analisada

M_2 – média da massa de dois dos padrões usados

V_1 - volume de gás libertado na digestão do sedimento

V_2 -média do volume de gás libertado pela digestão dos dois padrões

V_3 - média da variação de volume observada nas buretas de dois ensaios “brancos”.

III.2.4 Determinação do teor de matéria orgânica

Uma vez obtida uma amostra representativa, seca, esta é pulverizada em almofariz com pilão de porcelana. Deste pó, retiram-se cerca de 2 g, que são pesados com precisão de 0.0001 g, lançados em cadinho de porcelana e queimados na mufla durante 2 horas a 550° C, após o que o resíduo é pesado com a mesma precisão. O teor em matéria orgânica obtém-se por diferença ponderal, de acordo com a expressão seguinte.

$$\text{Teor de matéria orgânica (\%)} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Onde,

P_i = Massa inicial do sedimento

P_f = Massa do resíduo refratário.

Os sedimentos podem ser classificados relativamente ao seu teor em matéria orgânica de acordo com Costa (1991) (Tabela 8).

Tabela 8 - Classificação dos sedimentos de acordo com o teor em matéria orgânica, segundo Costa (1991).

% M.O.		Nível de M.O.
Textura Grosseira	Textura Média a Fina	
20 – 10	30 - 15	Muito Alto
10 -5	15 - 7	Alto
5 – 3	7 - 5	Moderadamente Alto
3 – 2	5 - 2	Médio
2 - 0,5	2 - 1	Baixo
< 0,5	< 1	Muito Baixo

III.2.5 Índice Rp

O índice Rp mede a relação entre matéria orgânica labile, a qual é composta por materiais orgânicos mais frágeis (por exemplo: aminoácidos, hidratos de carbono simples - Zou et al., 2005) e matéria orgânica refratária, que é composta por material orgânico menos frágil e que possui uma maior componente celulósica. O índice Rp pode ser usado como uma medida indireta da biodegradabilidade sedimentar (Loh *et al.*, 2008). Segundo Loh *et al.* (2008) valores relativamente altos de Rp indicam uma maior percentagem de matéria orgânica refratária, enquanto valores de Rp baixos, situados entre 0.5 e 0.7 são característicos de proteínas e compostos polifenólicos (Kristensen, 1990).

A metodologia utilizada neste estudo foi ligeiramente diferente da que se encontra na bibliografia, tendo-se reduzido o tempo de queima. Tal deve-se à experiência laboratorial do Departamento de Geologia da FCUL, que mostrou que o índice Rp não se alterava significativamente quando o processo de queima era reduzido de 12 para 6 horas e a temperatura aumenta de 280 °C e a 520 °C.

Procedimento

Uma vez obtida uma amostra representativa, seca, esta é pulverizada em almofariz com pilão de porcelana. Deste pó, retiram-se cerca de 2 g, que são pesados com precisão de 0.0001 g, lançados em cadinho de porcelana e queimados na mufla durante 6 horas a 280° C, após o que o resíduo é pesado com a mesma precisão. A seguir, as amostras são de novo introduzidas na mufla, durante 6 horas a 520° C. O índice Rp obtém-se, através das expressões seguintes, nas quais % Labile e % M.O.R são os teores em matéria orgânica labile e refratária respectivamente.

$$\% \text{Labile} = \frac{(\text{Peso do cadinho} + \text{amostra inicial} - \text{Peso do cadinho} + \text{amostra depois da queima a } 280^{\circ}\text{C}) \cdot 100}{\text{Peso da amostra inicial}}$$

Cálculo da percentagem da matéria orgânica refratária

$$\% \text{M.O.R} = \frac{(\text{Peso da amostra depois da } 1^{\text{a}} \text{ queima} - \text{Peso da amostra depois da } 2^{\text{a}} \text{ queima}) \cdot 100}{\text{Peso da amostra inicial (antes das queimas)}}$$

$$\text{Índice Rp} = \frac{\% \text{ M. O. R}}{\% \text{ Labile} + \% \text{ M. O. R}}$$

III.2.6 Determinação do teor em água

A determinação do teor em água foi apenas efetuada sobre as amostras provenientes do tarolo de sondagem curta obtido dos fundos lagunares. Para este efeito, pesaram-se as amostras resultantes do seccionamento do testemunho, que foram congeladas e liofilizadas. Uma vez secas, foram novamente pesadas, obtendo-se o teor em humidade por diferença ponderal.

Método utilizado em geotecnia

$$\text{Teor em água (\%)} = \frac{\text{peso da amostra húmida} - \text{peso da amostra seca}}{\text{peso da amostra seca}} \cdot 100$$

Método usado em sedimentologia

$$\text{Teor em água (\%)} = \frac{\text{peso da amostra húmida} - \text{peso da amostra seca}}{\text{peso da amostra húmida}} \cdot 100$$

III.3 QUANTIFICAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA SUPERFICIAL

Neste capítulo apresentam-se os métodos utilizados para aplicação da Equação Universal de Perda de Solo Revista num Sistema de Informação Geográfica (ArcGis 10.0). Este sistema foi também usado para referenciar e delimitar a bacia hidrográfica total da ribeira em estudo, bem como a porção que se estende para montante da barragem. O modelo digital de terreno (MDT) e os mapas correspondem a projecções no sistema de Coordenadas ETRS_1989_TM06_Portugal.

A cartografia regional e o modelo digital de terreno, com 30 metros de resolução, foram obtidos através da funcionalidade do ArcGis Online e da base de dados “Bing aerial maps”. Utilizou-se o conjunto de ferramentas da funcionalidade *Arctoolbox (Hydrology)* para mapear as linhas de escoamento preferencial e as zonas de acumulação de escoamento. Uma vez identificado o ponto de escoamento final (localizado na linha de costa e na barragem de São Domingos, consoante o caso), a ferramenta *watershed* delimita automaticamente a bacia hidrográfica que se estende para montante. Uma vez identificada a bacia hidrográfica, obteve-se um mapa de declives com a ferramenta *Slope* do mesmo conjunto de ferramentas. Utilizou-se a funcionalidade de cálculo do factor LS (comprimento e declive das encostas), para calcular e mapear a distribuição espacial deste factor.

A informação referente aos parâmetros descritores da erosividade de precipitação (R), erodibilidade do solo (K), uso do solo e coberto vegetal (C) para o território português foram retirados do *site* do Atlas do Ambiente [2]. O factor de prática agrícola não foi considerado. Uma vez recortada em cada mapa temático a bacia hidrográfica em questão, utilizou se a ferramenta *Map Algebra* para resolver a RUSLE, em cada célula do MDT. A erosão total obtém-se calculando a media ponderada daqueles valores.

CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se e discutem-se resultados da caracterização dos materiais- fonte da bacia hidrográfica, dos sedimentos acumulados na albufeira de barragem, nos depósitos aluviais e nas praias. Apresentam-se também os resultados da quantificação da erosão hídrica na bacia hidrográfica, bem como a sua distribuição espacial e uma avaliação do potencial de produção de areias.

IV.1 SONDAGEM CURTA

A Figura 13 ilustra o testemunho de sondagem colhido com o amostrador de gravidade e a Figura 14 o log e descrição macroscópica do mesmo testemunho.



Figura 13 - Imagem da sondagem recolhida com o amostrador de gravidade, antes de ser tratada em laboratório.

O sedimento amostrado consiste essencialmente em vasa mole, orgânica, escura, oxidada na parte externa, junto às paredes do amostrador; entre 36 e 45 cm abaixo da superfície a vasa dá lugar a um nível mais arenoso, mas abaixo deste nível o sedimento é novamente vasoso.

A Figura 14 ilustra a variação vertical do teor em água, cujos resultados se encontram na tabela 8. Observa-se uma tendência geral para a diminuição do teor em água com o aumento da profundidade, que pode estar relacionado com a

compactação (menor junto à superfície). Na secção inferior há um mínimo a 36 cm de profundidade, coincidente com o teto do nível mais arenoso, mas, mais para baixo, o teor de humidade não volta a recuperar os valores característicos da vasa encontrados mais acima, sugerindo que a intercalação possa ser constituída não apenas por areias mas por vasa arenosa, progressivamente mais vasosa para a base. À data da elaboração do presente trabalho não existem ainda dados laboratoriais sobre estes sedimentos pelo que esta hipótese não pôde ser testada.

Para os efeitos do presente trabalho, merece destaque a natureza vasosa e a homogeneidade textural encontrada na camada sedimentar mais superficial dos sedimentos de fundo da albufeira.

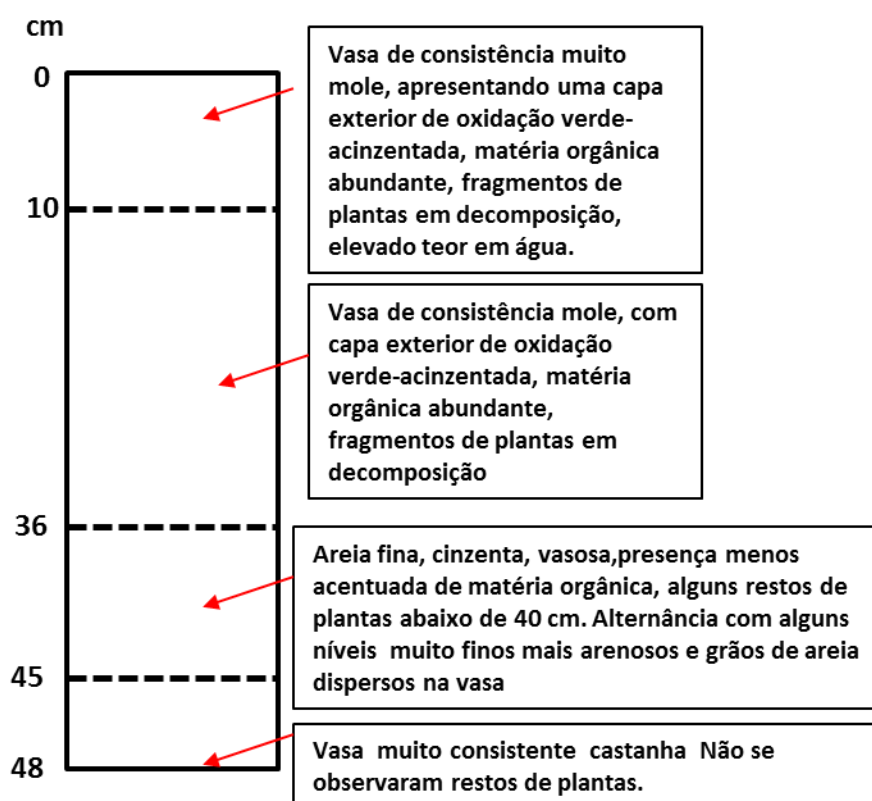


Figura 14 - Log e descrição macroscópica da sondagem recolhida com o amostrador de gravidade.

Tabela 9 - Teor de humidade (TH) das amostras recolhidas na sondagem realizada com o amostrador de gravidade. Os valores da coluna central foram calculados como método usado em geotecnia e os da coluna a direita com o método usado em geotecnia.

Profundidade (cms)	TH 1 (%)	TH2 (%)
0- 1	110.8	52.6
1 -2	121.3	54.8
2-3	136.3	57.7
3-4	110.3	52.5
4-5	90.0	47.4
5-6	98.2	49.5
6-7	119.8	54.5
7-8	120.3	54.6
8-9	95.3	48.8
9-10	85.3	46.0
10-11	85.1	46.0
11-12	86.6	46.4
12 -13	80.6	44.6
13-14	74.0	42.5
14-15	67.6	40.3
15-16	63.0	38.7
16-17	61.0	37.9
17-18	53.5	34.9
18-19	60.6	37.7
19-20	75.1	42.9
20-21	83.9	45.6
21-22	76.5	43.4
22-23	68.9	40.8
23-24	70.5	41.4
24-25	71.7	41.8
25-26	72.6	42.1
26-27	68.0	40.5
27-28	79.3	44.2
28-29	79.9	44.4
29-30	67.9	40.4
30-31	58.5	36.9
31-32	66.8	40.0
32-33	66.3	39.9

33-34	58	36.7
34-35	53.8	35.0
35-36	55.6	35.7
36-38	27.0	21.3
38-40	25.9	20.6
40-42	30.6	23.4
42-45	33.2	24.9
45-46	37.9	27.5
46-48	40.4	28.8

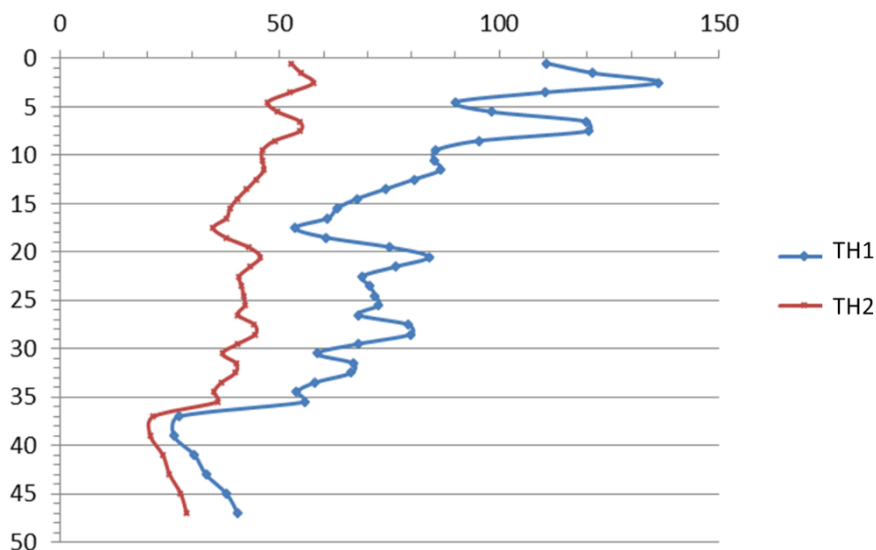


Figura 15 - Gráfico ilustrativo da variação vertical do teor em humidade, ao longo da sondagem. A linha azul representa os resultados usando o método habitualmente usado em geotecnia, enquanto a linha a vermelho foi obtida pelo método usado em sedimentologia.

IV.1.2 Sondagem curta - taxa de sedimentação

Foram enviadas as amostras das secções da sondagem curta para o Instituto Nuclear, com o intuito de ser feita uma datação através do decaimento radioactivo do chumbo para céσιο, sendo assim possível determinar também uma taxa de sedimentação para os sedimentos em estudo. Contudo não foi possível observar-se o pico de céσιο, e os dados da análise dos isótopos de chumbo e de céσιο, também não mostraram uma variação vertical significativa, isto poderá dever-se ao facto de haver grande remobilização de material no fundo da albufeira que mistura o sedimento acumulado.

IV.2 Sedimentos de fundo da albufeira

As 13 amostras dos sedimentos de fundo da albufeira de barragem foram analisadas para os parâmetros de matéria orgânica (%), carbonato de cálcio (%) e teor de grosseiros/finos. Os resultados obtidos apresentam-se na tabela 10.

Tabela 10 - Resultados laboratoriais das amostras de sedimentos de fundo. Teor em matéria orgânica (M.O.), em carbonato de cálcio e proporção de grosseiros/finos na amostra total.

Amostra	M.O. (%)	CaCO ₃ (%)	Gross (%)	Finos (%)	MZ (ø)	σI (ø)	SKI	Kσ
1	5.08	2.49	0.42	99.58	n/a	n/a	n/a	n/a
2	8.10	5.80	0.52	99.48	n/a	n/a	n/a	n/a
3	7.66	5.83	1.86	98.14	n/a	n/a	n/a	n/a
4	3.93	3.85	11.73	88.27	3.12	0.6	-0.57	1.04
5	5.91	22.35	0.77	99.23	n/a	n/a	n/a	n/a
6	6.50	2.64	32.59	67.41	2.22	1.03	-0.02	0.79
7	6.03	17.05	0.14	99.86	n/a	n/a	n/a	n/a
8	3.15	10.98	40.67	59.33	2.73	0.76	-0.23	1.03
9	5.76	2.90	0.44	99.56	n/a	n/a	n/a	n/a
10	6.16	21.59	0.42	99.58	n/a	n/a	n/a	n/a
11	6.58	5.19	2.48	97.52	n/a	n/a	n/a	n/a
12	4.43	4.89	22.84	77.16	2.59	0.91	-0.22	0.84
13	5.11	2.36	19.92	80.08	n/a	n/a	n/a	n/a

As amostras de fundo são essencialmente vasas, exceto as amostras 4, 12 e 13 que são vasas pouco arenosas e as amostras 8 (41% de material grosseiro) e 6 (33% de material grosseiro) que são vasas arenosas.

Apresentam valores de matéria orgânica que rondam 5 a 6%, tendo como valor mínimo 3% na amostra 8 e como valor máximo 8% na amostra 2. O índice Rp varia entre 0.5 e 0.6 (com a única exceção da amostra 5 em que Rp é 0.7), o que significa que a matéria orgânica é de origem terrígena, com teores altos de celulose e maior dificuldade em ser destruída. Trata-se de material pouco degradado que é arrastado para dentro da albufeira a partir da bacia julga-se que pode incluir vegetação arbustiva ou proveniente de árvores mortas e submersíveis aquando do enchimento da barragem. De facto a operação de dragagem foi frequentemente prejudicada pela interferência de ramagens e caules sobressalientes do fundo.

Tabela 11 - Índice Rp dos sedimentos de fundo.

Amostra	Índice Rp
1	0.62
2	0.57
3	0.63
4	0.51
5	0.68
6	0.53
7	0.64
8	0.47
9	0.59
10	0.6
11	0.56
12	0.56
13	0.56

Relativamente ao teor em carbonato de cálcio, os sedimentos são essencialmente pouco ou nada carbonatados, com valor mínimo de CaCO_3 de 2% na amostra 13, exceto as amostras 7 (17%), 5 (22%), e 10 (22%) que são carbonatadas. Nestas últimas amostras verificou-se, por inspeção visual e teste com ácido clorídrico à fracção grosseira, que o carbonato de cálcio se encontra na porção mais fina (silte e argila) do sedimento, correspondendo a partículas margosas originadas pela desagregação mecânica das unidades margosas aflorantes na bacia de drenagem.

Em síntese, os sedimentos de fundo da albufeira de barragem são essencialmente vasas a vasas pouco arenosas, distribuindo-se a percentagem de finos de forma homogénea no domínio amostrado (Figura 15), exceto no caso das amostras 4, 6 e 8, com maior teor em grosseiros, que foram colhidas de afluentes ao corpo principal da albufeira, estreitos e alongados, onde a distância entre margens era muito pequena, facilitando a escorrência de materiais grosseiros para o fundo. Este resultado dos taludes imersos sugere a existência de retenção de partículas grosseiras no encosto com a massa de água da albufeira. Se este corpo de água não existisse a carga sedimentar mais grosseira seria transportada para jusante a favor do escoamento fluvial.

O teor em carbonato de cálcio é reduzido e este composto associa-se à fracção fina do sedimento, tendo origem terrígena, nos afloramentos margosos da bacia de drenagem. O teor em matéria orgânica é médio a moderadamente alto na generalidade dos casos, e alto num único caso. A sua distribuição espacial é homogénea na albufeira (Figura 16). A matéria orgânica é refratária sendo de origem terrígena, tendo sido trazida por acarreo de sedimentos para dentro da albufeira e noutros casos tendo sido deixada aquando do enchimento da barragem (árvores deixadas na albufeira, que posteriormente entraram em decomposição).

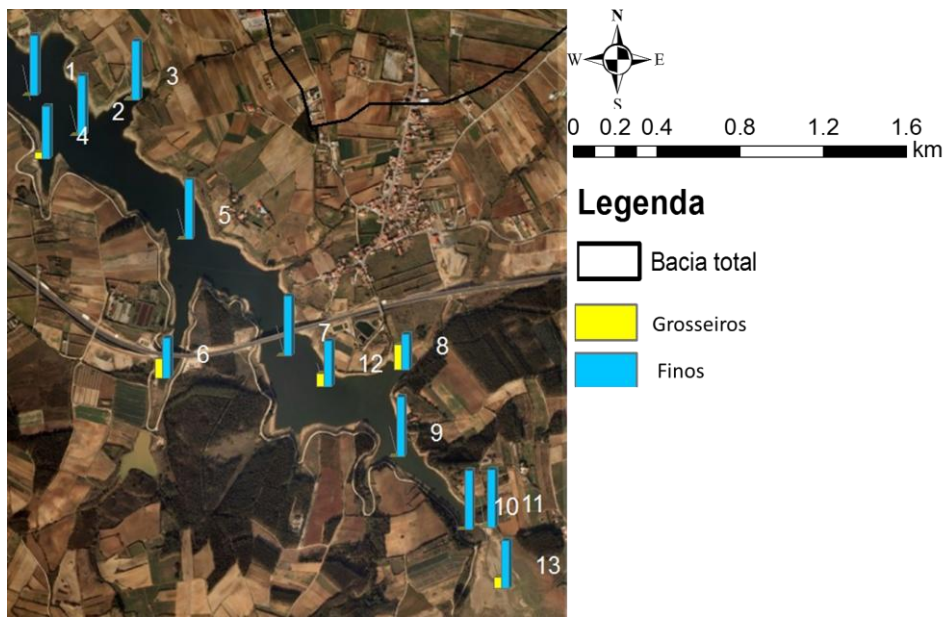


Figura 16 - Mapa ilustrativo da distribuição espacial da percentagem de finos versus grosseiros dos sedimentos de fundo.

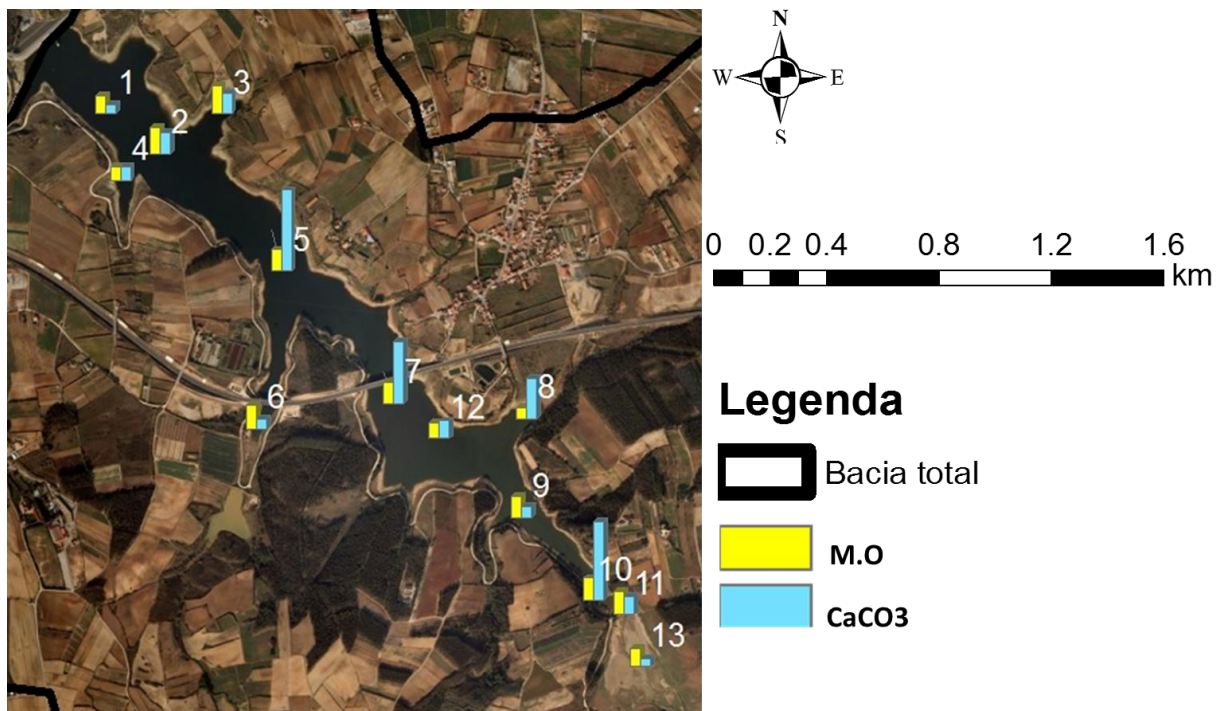


Figura 17 - Mapa representativo das variações de matéria orgânica (coluna azul celeste) e das variações do teor em carbonato de cálcio (coluna amarela) nos sedimentos de fundo da albufeira.

IV.3 Sedimentos das margens

Os resultados do processamento laboratorial destes sedimentos encontram-se na tabela 13 e a distribuição espacial da razão grosseiros/finos e do teor em carbonato de cálcio e matéria orgânica representa-se na Figura 18 e Figura 19.

Tabela 12 - Resultados laboratoriais das amostras de margem. Teor em matéria orgânica (M.O.), em carbonato de cálcio, proporção de grosseiros/finos na amostra total e com parâmetros granulométricos da fracção grosseira.

Amostra	CaCO ₃ (%)	M.O (%)	Gross (%)	Finos (%)	MZ (ϕ)	σ (ϕ)	SKI	K σ
A	0.90	2.06	79.46	20.54	1.86	0.74	-0.01	1.28
B	0.12	0.50	94.44	5.56	0.79	1.06	0.01	1.06
C	0.49	0.74	84.37	15.63	2.02	1.08	-0.00	1.04
D	0.49	0.97	82.27	17.73	1.93	0.08	-0.01	1.21
E	2.98	2.27	74.20	25.80	2.71	1.21	-0.59	1.9
F	1.87	2.89	56.08	43.92	1.38	1.62	-0.4	1.77
G	3.62	1.55	89.91	10.09	1.71	0.66	0.08	1.35
H	1.04	0.84	89.48	10.52	2.08	0.95	-0.01	1.32
I	1.20	0.72	92.60	7.40	2.23	0.75	0.03	1.14
J	0.14	0.36	94.64	5.36	2.12	0.62	0.18	1.09
VS1	1.09	0.48	41.82	58.18	3.29	0.26	-0.14	0.95
VS2	1.64	2.04	93.06	6.94	3.29	0.29	-0.20	1.09
VS3	1.10	1.73	54.71	45.29	3.11	0.35	-0.09	0.96
VS4	0.61	0.62	93.05	6.95	2.39	0.62	0.03	1.08
VS5	0.77	1.16	78.72	21.28	2.42	0.95	-0.19	1.32

Os resultados apresentados na tabela 13 mostram que os sedimentos das margens são nada ou pouco carbonatados, tendo como valores típicos 0.5 a 1% e máximo de 4% (amostra G) sendo, neste caso, fragmentos de margas erodidas da bacia hidrográfica.

Os sedimentos das margens apresentam valores baixos a muito baixos de matéria orgânica, não excedendo 3% (amostra F) e sendo tipicamente de 0.5 a 1.5%. O índice Rp (tabela14) varia entre 0.5 e 0.6, tal como nos sedimentos de fundo, pelo que a natureza desta matéria orgânica será também terrígena. Granulometricamente as amostras de margem são areias pouco vasosas, com exceção das amostras E e F que são areias vasosas e da amostra VS1 que é uma vasa arenosa. Apresentam como valor mínimo de grosseiros 42 % (amostra VS1) e como valor máximo 95% na amostra J.

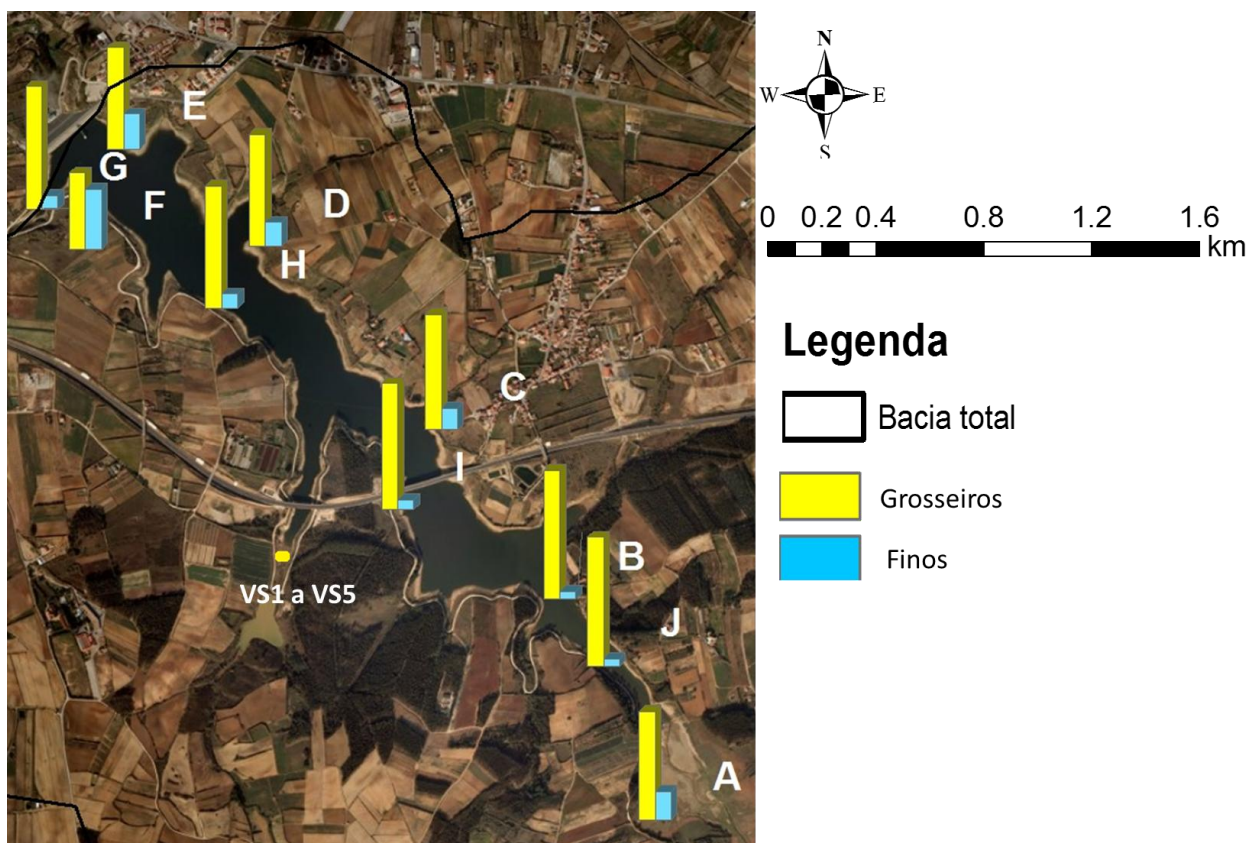


Figura 18 - Distribuição da relação entre finos e grosseiros, nas amostras das margens da albufeira.

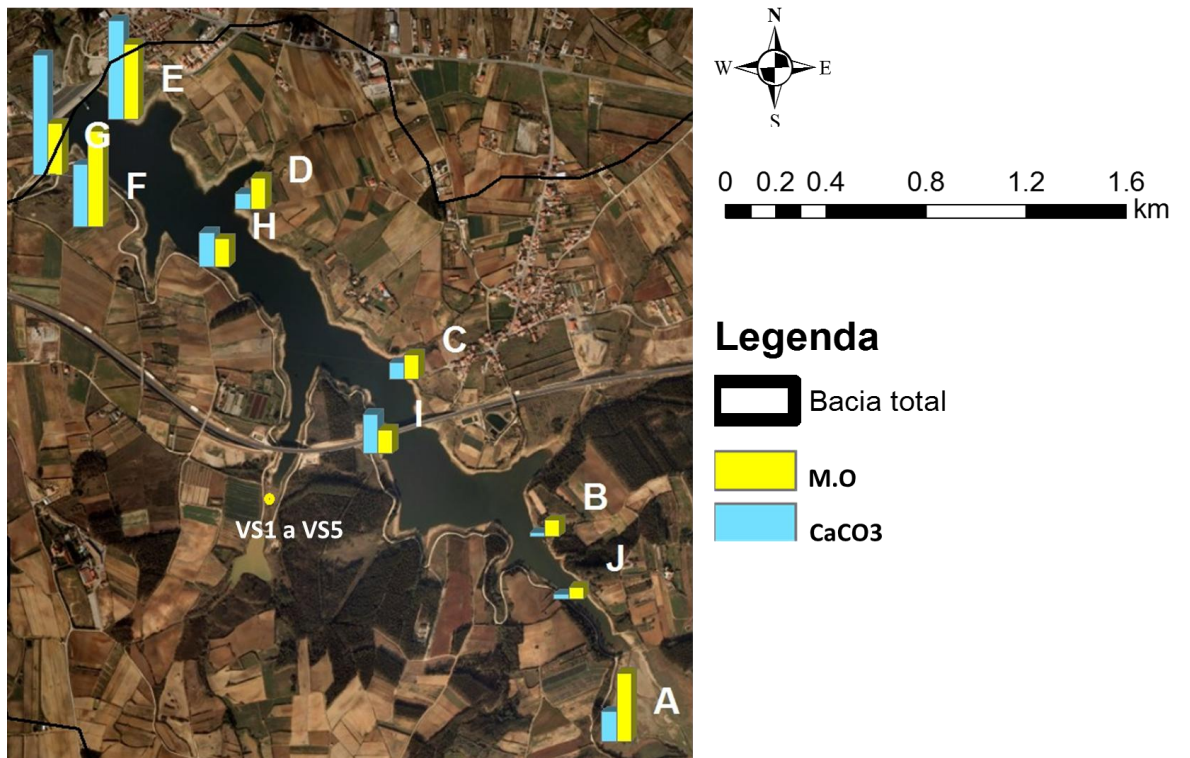


Figura 19 - Matéria orgânica e CaCO₃ nos sedimentos das margens da albufeira.

Tabela 13 - Índice Rp dos sedimentos colhidos das margens.

Amostra	Índice Rp
A	0.52
F	0.53
G	0.62
H	0.61

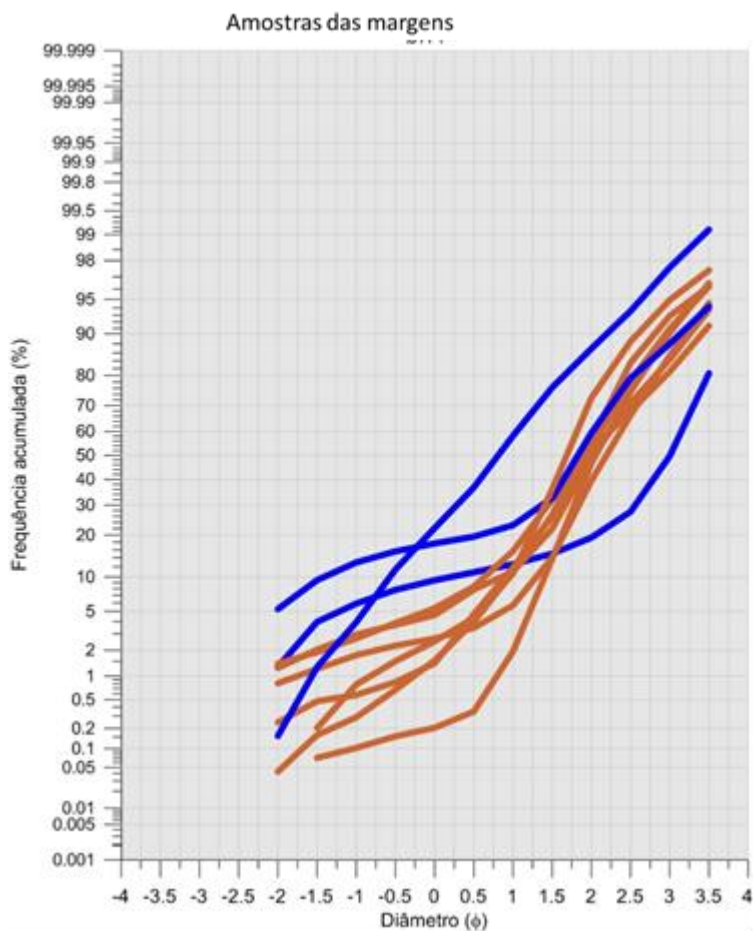


Figura 20 - Curvas de frequência acumulada das amostras das margens da albufeira.

Na figura 20, observa-se que as amostras das margens se agrupam em dois conjuntos: o grupo representado pelas curvas a castanho (amostras G,A,D,C,H,J,I), caracterizado por distribuições de granulometria média a muito fina, moderadamente bem calibradas, simétricas e variando entre leptocúrticas e mesocúrticas.

O grupo representado pelas curvas a azul (amostras B,E e F). Com areias médias a finas, mal calibradas, com distribuição muito leptocúrtica mesocúrtica (amostra B).

As amostras VS (figura 21), podem-se agrupar também em dois conjuntos: o

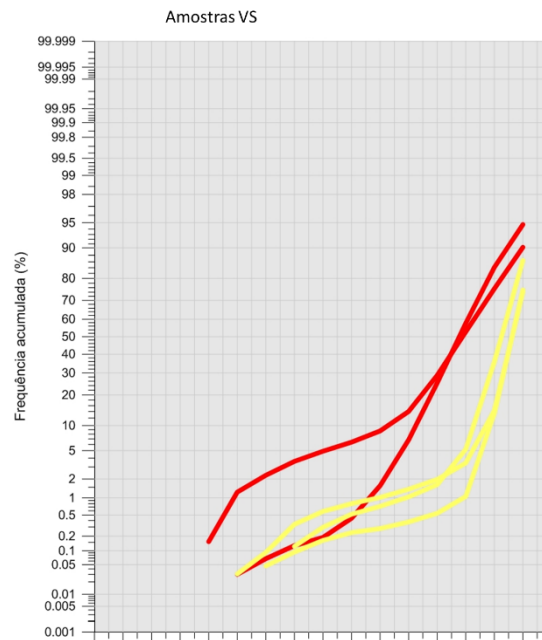


Figura 21 - Curvas de frequência acumulada das amostras VS.

grupo representado a vermelho, composto pelas amostras VS4 e VS5, inclui areias finas moderadamente bem calibradas, resulta das amostras mais distais em relação ao nível de enchimento da albufeira.

O grupo representado a amarelo é composto pelas amostras VS1 a VS3. Estes sedimentos são areia fina a muito fina, bem a muito bem calibrada com distribuição mesocúrtica. Estas amostras também apresentam maior quantidade de material de dimensões inferiores a 63 μm , sendo este facto devido á sua localização mais proximal em relação ao nível de enchimento da albufeira.

Em ambos os casos a assimetria tem sinal negativo (exceto as amostras VS3 e VS4), com cauda de grosseiros que se prolonga até ás areias muito grosseiras. A dispersão destes sedimentos através no canal fluvial afluente e nas margens da albufeira é acompanhada por uma granotriagem horizontal, com retenção dos materiais mais grosseiros a montante.

Em síntese, os sedimentos acumulados nas margens da albufeira são essencialmente arenosos (com predomínio de areias médias e finas), com pequenas contribuições de carbonato de cálcio (terrígeno), e de matéria orgânica (também terrígena).

O teor em finos é muito variável, entre 5 e 60 % de sedimento total mas, na maioria dos casos, representa menos de 20 % de amostra.

Estes resultados, conjuntamente com os obtidos para os sedimentos de fundo da albufeira, sugerem que existe retenção preferencial de material grosseiro transportado pelo escoamento superficial nas margens e que as partículas mais finas, transportadas em suspensão, continuam em trânsito até decantarem na albufeira, levando a uma separação horizontal de sedimentos que não existiria antes da construção desta obra. A escassez de sedimentos de dimensão igual ou maior a areia grosseira é interpretada como representando deficit na área fonte, ou retenção a montante da albufeira.

IV.4 Materiais aflorantes na bacia hidrográfica

As amostras de solos e rochas das unidades litoestratigráficas aflorantes na bacia hidrográfica foram também submetidas a análise laboratorial para determinação dos mesmos parâmetros utilizados na caracterização dos sedimentos das margens e de fundo (tabela 14).

Tabela 14 - Resultados laboratoriais das amostras das unidades litoestratigráficas aflorantes na bacia hidrográfica. Teor em matéria orgânica (M.O.), em carbonato de cálcio e proporção de grosseiros/finos na amostra total e parâmetros granulométricos da fracção grosseira dos sedimentos.

Amostra	M.O (%)	CaCO ₃ (%)	Gross (%)	Finos (%)	Un. Lit.	MZ (ø)	σ l (ø)	SKI	KS
BH-ALUV	1.01	4.77	87.70	12.30	a	1.50	1.17	-0.26	1.36
BH-Plan	1.24	4.86	61.73	38.27	a	2.00	1.14	-0.14	1.33
BH2	0.25	0.84	98.44	1.56	a	1.71	0.54	-0.10	1.1

BH12	2.28	1.28	57.10	42.90	a	2.45	1.04	-0.41	0.9
BH3	2.09	0.00	68.73	31.27	PQ	1.74	1.46	-0.27	1.3
BH23	2.21	-	97.19	2.81	PQ	1.94	0.65	-0.03	1.22
BH22	2.10	-	92.21	4.79	PQ	1.87	0.81	-0.11	1.39
BH1	6.90	0.19	46.86	53.14	PQ	1.9	1.32	-0.19	1.23
BH20	1.67	0.14	66.42	33.58	J^4	1.16	1.32	-0.11	1.01
BH21	1.5	-	53.74	46.26	J^4	2.16	1.2	-0.11	0.78
BH4	1.01	0.49	77.34	22.66	J^2_c	1.50	0.93	0.29	1.07
BH5	2.95	7.73	16.50	83.50	J^2_c	n/a	n/a	n/a	n/a
BH6	2.05	1.05	62.28	37.72	J^2_c	1.35	1.61	-0.22	1.09
BH7	1.63	0.49	70.93	29.07	J^2_c	1.55	1.18	0.07	1.10
BH8	1.17	0.19	71.98	28.02	J^2_c	2.37	1.04	-0.41	1.64
BH9	2.19	21.59	39.06	60.94	J^2_c	0.21	2.22	0.47	0.49
BH10	4.14	0.07	52.33	47.67	J^2_c	1.96	1.31	-0.24	1.43
BH11	3.52	0.09	6.10	93.90	J^2_c	2.87	0.78	-0.46	0.76
BH13	0.70	1.06	91.53	8.47	J^2_c	1.54	1.18	-0.15	1.17
BH14	1.00	1.65	81.09	18.91	J^2_c	1.96	1.07	-0.05	1.02
BH15	2.63	39.11	11.49	88.51	J^2_c	n/a	n/a	n/a	n/a
BH16	6.94	8.62	17.69	82.31	J^2_c	1.37	1.76	-0.22	0.94
BH17	8.62	0.86	21.70	78.30	J^2_c	1.54	1.09	-0.15	1.27
BH18	6.74	0.86	17.91	82.09	J^2_{ab}	1.85	1.05	-0.02	1.36
BH27	3.30	-	10.37	89.63	J^1_{ch}	-	-	-	-
BH26	3.32	-	15.26	84.74	J^1_{ch}	-	-	-	-
BH25	3.25	-	10.73	89.27	J^1_{ch}	-	-	-	-

BH24	3.15	-	9.2	90.80	J_{ch}^1	-	-	-	-
BH19	3.30	6.82	30.60	69.40	J_{ch}^1	1.09	1.11	-0.13	1.34

Na bacia hidrográfica verifica-se uma predominância (65% das amostras estudadas) de materiais - fonte com fracção grosseira superior a 50 %. A generalidade das amostras colhidas de afloramentos do Jurássico inferior e médio (J_{ch}^1 - J_{ab}^2) apresenta teores em grosseiros igual ou inferior a 15%. Assim, apesar da notícia explicativa da Carta Geológica descrever estas rochas como calcários e margas, elas contêm potencial de produção de areias. A única amostra representativa dos Calcários da Cesareda (J_c^2 - Malm) incidiu sobre solo de alteração, corresponde a uma argila com cerca de 20 % de componente detrítica grosseira. As restantes rochas do Jurássico Superior, genericamente reunidas na designação de “ Camadas de Abadia “correspondem a margas com teores de grosseiros da ordem de 12 %e arenitos com teores de grosseiros da ordem de 70 %. Este contraste é compatível com a descrição das sequências sedimentares desta formação, que refere alternâncias destes dois tipos de rochas com calcários.

O Pterociano (kimmeridgiano) (J^4) encontra-se representada por materiais essencialmente detríticos com 50 a 65 % de material grosseiro. Porém, a extensão de afloramento na bacia hidrográfica é tão reduzida que não se justifica considerar separadamente esta formação.

As formações de Plio-Plistocénico estão essencialmente representadas por termos arenosos com teores em grosseiros muito elevados, de 70 a 90 %.

Finalmente, as aluviões produzem resultados que indicam contribuições em grosseiros sempre elevados e variáveis entre 100 e 60 %.

Os teores de $CaCO_3$ variam entre 0% e 39 %, sendo este máximo pertencente a uma unidade com elevada componente margosa. A maioria dos teores encontram-se situados no intervalo de 0 a 5 %.

A matéria orgânica varia entre 0 e 8.6%, estando a maioria dos valores situados no intervalo de 1 a 3%, apresentando uma distribuição homogênea na bacia (Figura 22).

Todas as amostras com teor em matéria orgânica superior a 4% correspondem, sem exceção a colheitas em solos cultivados (por exemplo BH1, BH10) ou de materiais de alteração de camadas calcárias (nomeadamente terra-rossa), colonizada por vegetação.

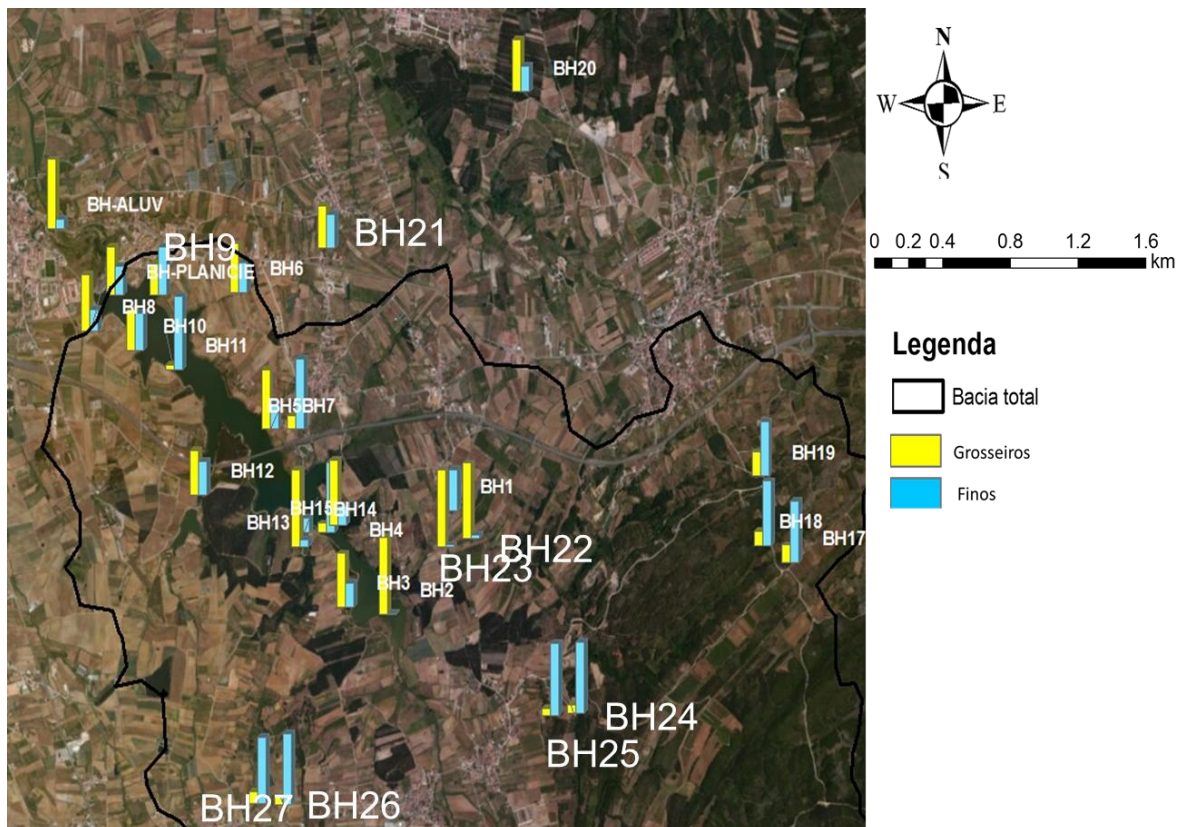


Figura 22: relação entre a percentagem fracção grosseira e a fracção finas nas amostras das unidades litoestratigráficas aflorantes na bacia hidrográfica.

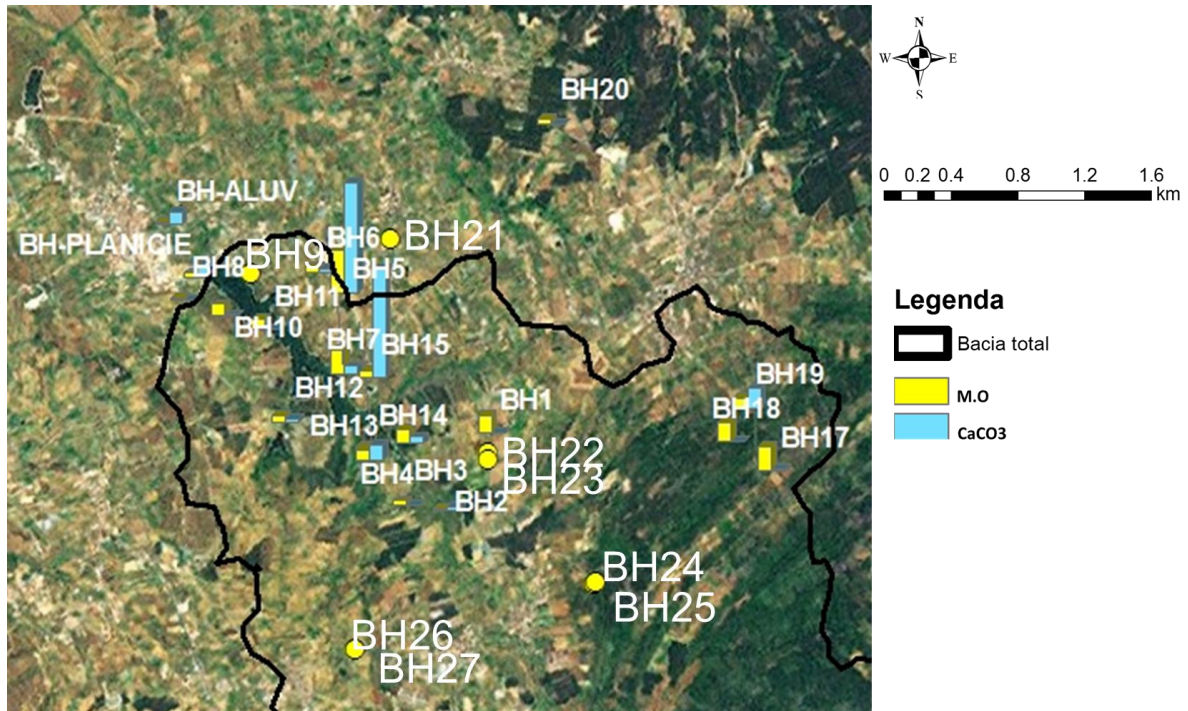


Figura 23 - Teor em carbonato de cálcio e percentagem de matéria orgânica nas amostras das unidades litoestratigráficas aflorantes na bacia hidrográfica.

Figura 24 - **Curvas das frequências acumuladas das granulometrias, das amostras da unidade litoestratigráfica, caracterizada por aluviões.** **Figura 23** - Teor em carbonato de cálcio e percentagem de matéria orgânica nas amostras das unidades litoestratigráficas aflorantes na bacia hidrográfica.

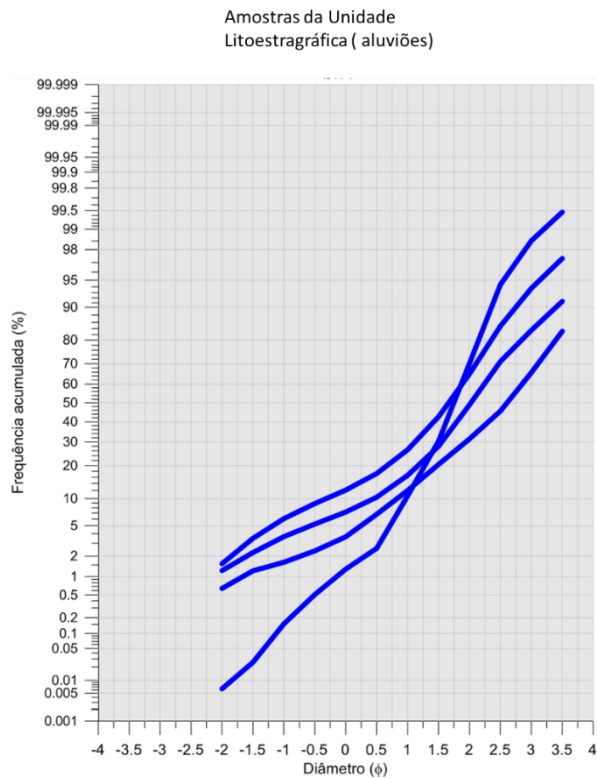


Figura 24 - Curvas das frequências acumuladas das granulometrias, das amostras da unidade litoestratigráfica, caracterizada por aluviões.

Na Figura 24 verifica-se que as amostras de aluvião são bastante semelhantes entre si: areias médias a finas moderadamente calibradas, com assimetria negativa e distribuição mesocúrtica a leptocúrtica.

As amostras da unidade litoestratigráfica PQ (figura 25) são caracterizadas por areias medias, mal calibradas, de assimetria negativa e curva leptocúrticas.

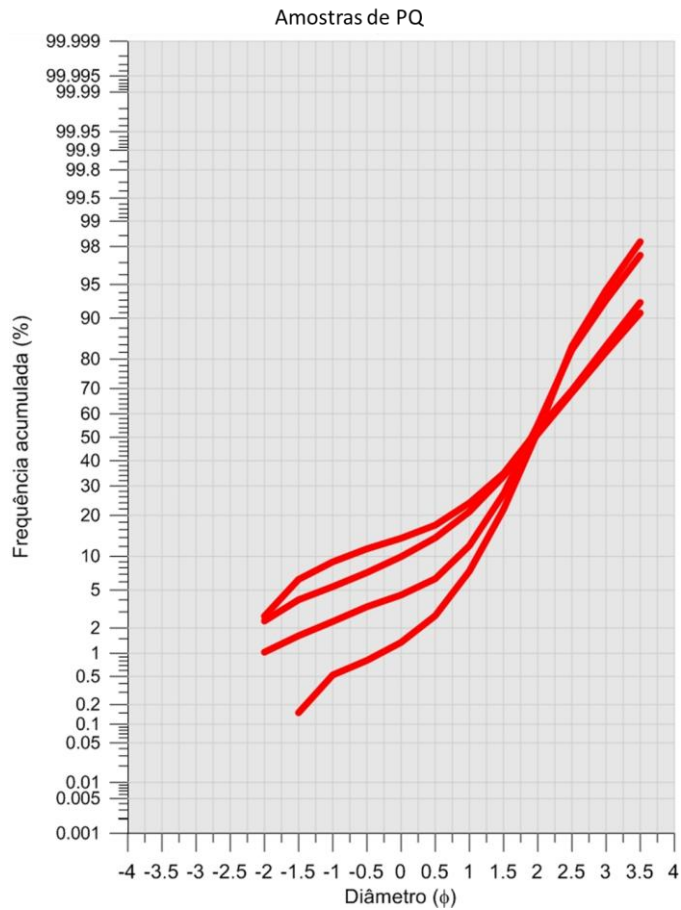


Figura 25:Curvas granulométricas da unidade litoestratigráfica PQ

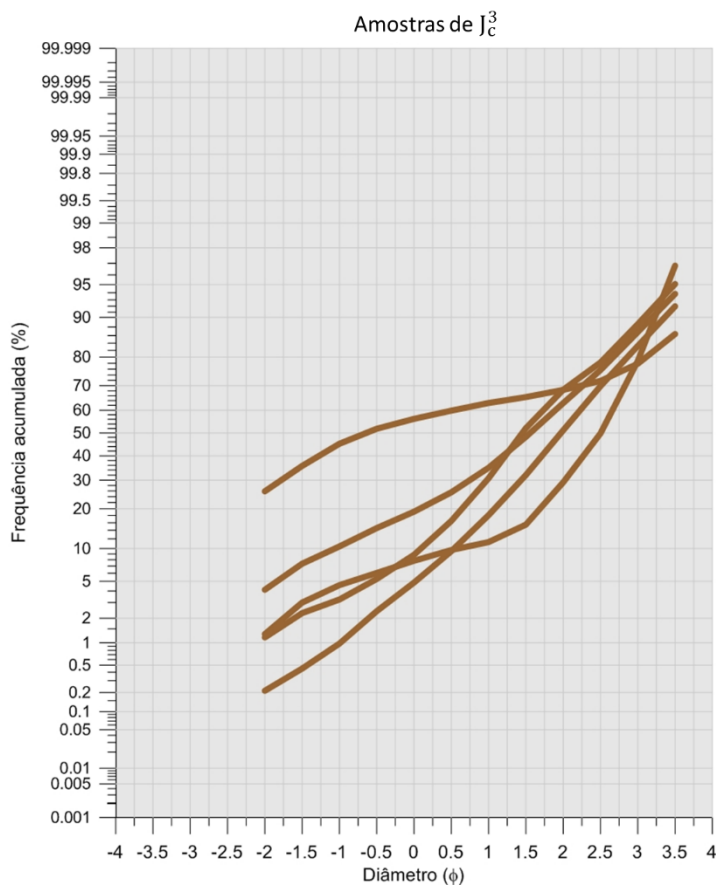


Figura 27 - curvas granulométricas da unidade litoestratigráfica J_c^3 .

Figura 27 - curvas granulométricas da unidade litoestratigráfica J_c^3 .

A unidade J_c^3 apresenta alguma homogeneidade entre as amostras recolhidas a nível granulométrico. A amostra BH9 caracteriza-se por ser uma areia muito grosseira mal calibrada de assimetria muito positiva e de curva muito platicúrtica, enquanto a amostra BH11 é uma areia fina, moderadamente bem calibrada com uma assimetria muito negativa e de curva platicúrtica

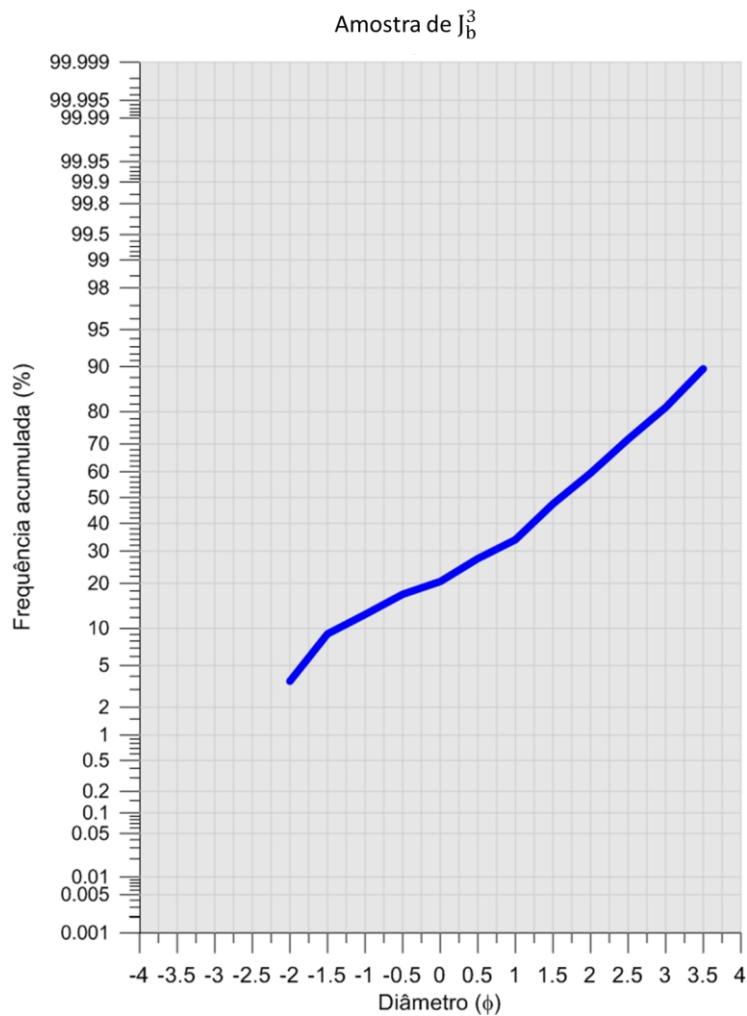


Figura 28- curva granulométrica das amostras da unidade litoestratigráfica J_b^3

A amostra é caracterizada por ser uma areia média, mal calibrada de assimetria negativa e curva mesocúrtica.

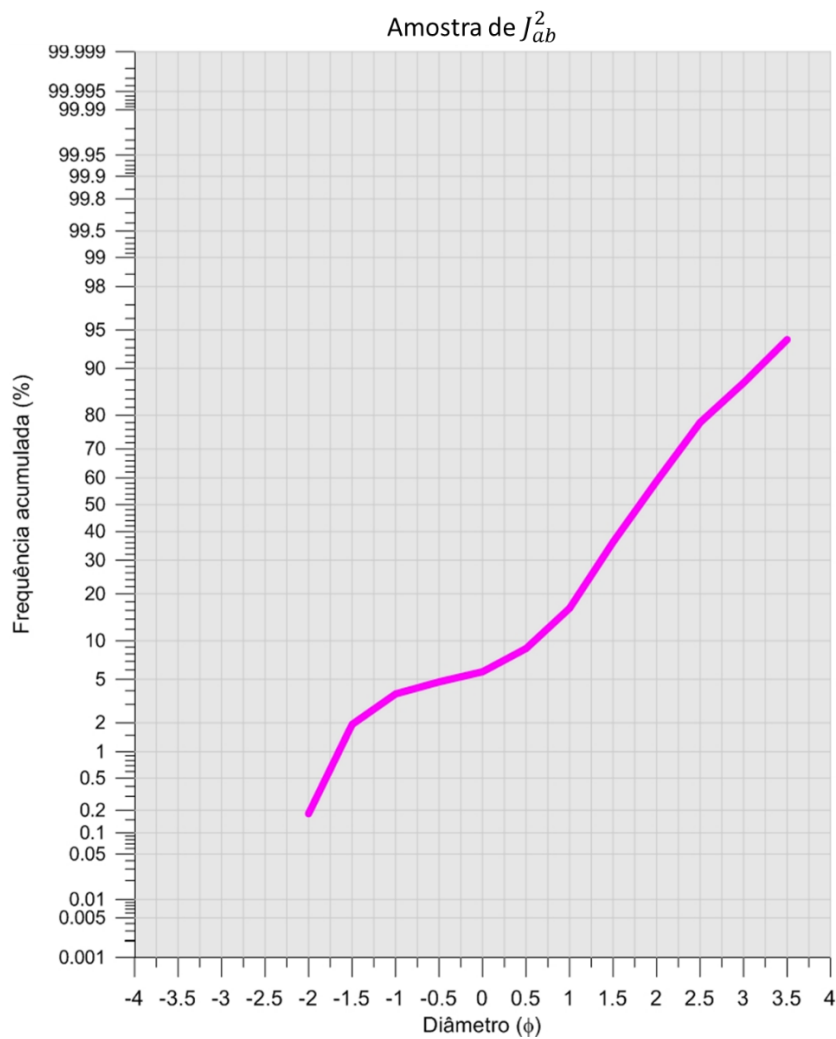


Figura 29 - curvas granulométricas da amostra (BH18) da unidade litoestratigráfica J_{ab}^2 .

A amostra representada na figura 29, foi colhida sobre um termo margoso de Jurássico inferior, sendo areia média, mal calibrada, aproximadamente simétrica e de curva leptocúrtica.

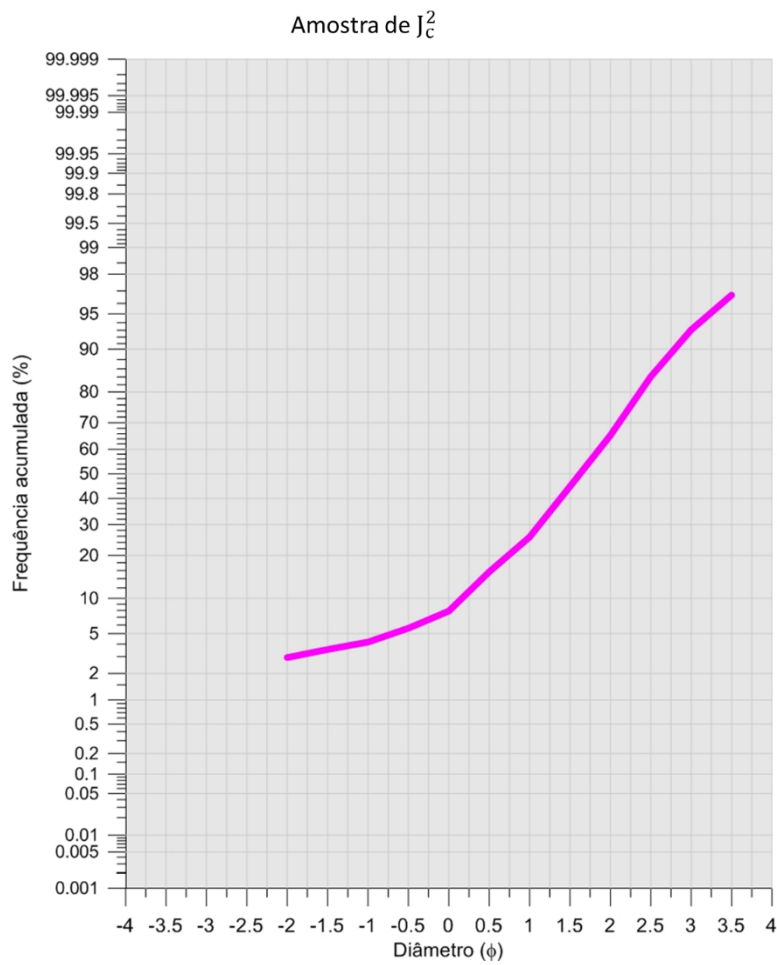


Figura 30 - Curva granulométrica da amostra da unidade litoestratigráfica J_c²

A única amostra colhida da formação dos Calcários da Cesareda caracteriza-se por areia mal calibrada, média, de assimetria negativa e curva leptocúrtica.

IV.5 Quantificação da produção de areia na bacia hidrográfica de são domingos

A caracterização dos materiais aflorantes na bacia hidrográfica como fonte sedimentar de areias pode ser feita de duas maneiras. Uma, recorrendo apenas á interpretação da descrição dos conteúdos litológicos e texturais que constam da notícia explicativa das cartas geológicas. Outra, que considera explicitamente os resultados obtidos nos ensaios de laboratório das amostras colhidas na região produtora em estudo.

Em qualquer dos casos, a razão entre a superfície aflorante de uma unidade litoestratigráfica e a superfície total da bacia constitui um factor de ponderação (F_s) adimensional, que descreve a importância relativa de cada uma daquelas unidades para a produção sedimentar global da bacia hidrográfica, o qual se encontra listado na tabela 14.

$$F_s = \frac{A_i}{A_t}$$

onde

F_s = factor de ponderação superficial

A_i = superfície ocupada pela unidade i

A_t = superfície total da bacia

Neste método assume-se que a taxa de erosão se distribui com igual intensidade em toda a bacia. Em seguida, utilizam-se os dados obtidos da bibliografia para estimar a proporção relativa de areia (face a outros tipos litológicos e texturais) que cada unidade litoestratigráfica cartografada pode produzir.

Por exemplo, uma formação constituída por alternâncias de arenitos e argilas, na qual a espessura aflorante de ambas as rochas seja idêntica, produzirá por erosão hídrica uma quantidade de sedimento contendo 50% de areia. No caso presente não foi possível obter dados sobre as espessuras aflorantes, pelo que se assumiu que elas seriam bem representadas, em termos relativos, pela espessura real.

Na tabela 14 constam os resultados da determinação da proporção de quatro tipos litológicos e texturais essenciais, estimados a partir das notícias explicativas das cartas geológicas da área em estudo, com base nos cortes que apresentam a indicação

das espessuras das diferentes camadas. Os tipos fundamentais indicados na tabela 14 são: **A** para as areias ou materiais detríticos mais grosseiros, **ARG** para argilas, **M** para margas e **C** para calcários. Assume-se, ainda de acordo com a notícia explicativa, que as camadas classificadas como A (areias) teriam 100% de potencial de produção de areias, e C (calcários), Arg (argilas) e M (margas) potencial nulo de produção de areia. Os valores percentuais relativos inscritos na tabela 14 (coluna ft) referem-se á ocorrência de cada tipo fundamental no corte, obtidos pela razão entre a espessura total de cada tipo e a espessura total da sequência descrita.

Na tabela 14, o potencial de produção em areias de cada unidade cartografada (entendido como uma porção da produção total da bacia hidrográfica) será dado pelo produto de produção sedimentar total pelo valor de $F_s \times F_t$, em que F_t funciona como um parâmetro de correção textural. A soma das parcelas anteriores corresponde á produção total de areias. Isto é, sendo P_{st} a produção sedimentar total e P_{sa} a produção de areias, para n unidades cartografadas,

$$P_{sa} = P_{st} \times \sum (F_s \times F_t)_i$$

No caso presente, o termo $\sum (F_s \times F_t)_i \sim 0,45$ e $P_{sa} = 0,45P_{st}$, o que representa uma contribuição em areias escassamente inferior a metade da produção sedimentar total.

A tabela 15 reúne dados idênticos aos da tabela 14 para as superfícies aflorantes (em valor absoluto e relativo) e factor F_s , mas o factor de correcção textural considera os resultados obtidos dos ensaios laboratoriais sobre as rochas e solos aflorantes na bacia hidrográfica.

A comparação dos resultados obtidos pela interpretação da notícia explicativa (tabela 15) e dos dados obtidos no laboratório (tabela 15) mostra que as camadas da formação J^1_{ab} , que são descritas como constituídas exclusivamente por material argiloso, produziram, na realidade, 16 % de areias; e as camadas J^2_{ab} descritas como exclusivamente calcárias têm uma componente arenosa de 15 %. Existe assim nestes dois casos uma discrepância entre o descrito na bibliografia e a realidade encontrada no campo no laboratório. Por outro lado, as rochas pliocénicas não são inteiramente arenosas. Esta discrepância demonstra que a contribuição sedimentar em areias para a

albufeira de barragem e para o litoral poderá ser diferente do que inicialmente pensada. Utilizando uma metodologia de ponderação idêntica ao caso anterior, o valor de P_{sa} obtido a partir dos resultados de laboratório será $P_{sa}=0,52P_{st}$, o qual não difere significativamente do anterior.

Já acima foi referido que estes materiais drenavam para a faixa costeira; contudo, devido a construção da barragem de São Domingos, ficam hoje retidos nas margens da albufeira, enquanto a porção mais fina é depositada no fundo da mesma. O espelho de água da albufeira funciona assim como um interruptor muito eficaz de trânsito sedimentar da rede de drenagem para a faixa costeira, no que se refere a areias, que representarão sensivelmente metade da produção sedimentar total. É plausível que este efeito de retenção selectiva não existisse antes da construção da barragem, sendo os finos essencialmente exportados para o oceano e a fracção arenosa chegasse, em parte ou no todo, às praias.

Tabela 15 - Superfície aflorante, factor de correcção superficial e factor de correcção textural derivado da notícia explicativa.

Unidade Litoestr.	Superfície aflorante (km ²)	Factor de correcção superficial (Fs)	A	ARG	M	C	Factor de correcção textural (Ft)	Fs*Ft
a	0.88	0.024	1	n/a	n/a	n/a	1.00	0.024
Q	0	0.000	n/a	n/a	n/a	n/a	0.0	0
PQ	5.93	0.163	0.78	0.22	0	0	0.78	0.127
J^4	0.01	0.000	0.49	0	0.51	0	0.49	0
J_c^3	22.53	0.619	0.48	0.05	0.36	0.11	0.48	0.297
J_b^3	0.94	0.026	0	0	0.06	0.94	0.000	0
J_c^2	0.33	0.009	0	0	0.36	0.64	0.00	0
J_{ab}^2	2.59	0.071	0	0	0	1	0.00	0
J_{ch}^1	1.21	0.033	0	0	0.67	0.33	0.00	0
J_{ab}^1	2.00	0.055	0	1	0	0	0	0
total	36.42							

Tabela 16 – Superfície aflorante, factor de correcção superficial e factor de correcção textural derivado de ensaios de laboratório.

Unidade Litoestr.	Superfície aflorante (km²)	Factor de correcção superficial (Fs)	Factor de correcção textural Ft (lab)	Fs * Ft
a	0.88	0.024	0.76	0.018
Q	0	0	n/a	0
PQ	5.93	0.163	0.75	0.124
J^4	0.01	0.0003	0.60	0
J_c^3	22.53	0.619	0.53	0.328
J_b^3	0.94	0.026	0.18	0.005
J_c^2	0.33	0.009	0.22	0.002
J_{ab}^2	2.59	0.071	0.15	0.011
J_{ch}^1	1.21	0.033	0.16	0.005
J_{ab}^1	2.00	0.055	0.16	0.009
Total	36.42	1		

IV.6 Sedimentos de praia

Um dos objectivos desta dissertação é a comparação granulométrica entre os materiais das unidades litológicas da área abrangida pela bacia hidrográfica da ribeira de São Domingos (área fonte) e os sedimentos de granulometria superior a 63 micra dos locais de deposição na linha de costa (praias), de modo a avaliar a compatibilidade textural entre ambos.

As duas praias seleccionados foram a praia do Baleal (duas amostras designadas por PB1 e PB2) e a praia da Consolação (duas amostras designadas por PC1 e PC2), devido a serem as praias de areia originadas pelos sedimentos transportados, no passado, pela ribeira de São Domingos para a zona litoral e pela deriva litoral afectada à região de Peniche.

A ribeira de São Domingos teve o seu percurso alterado ao longo do tempo, sendo que inicialmente desaguava mais para Norte, na zona da actual praia do Baleal, sendo depois desviada mais para Oeste devido ao assoreamento da zona de Peniche, e depois, mais recentemente, para uma zona ainda mais a sudoeste do ponto inicial, devido a obras efectuadas no porto de Peniche.

Não foram realizados os ensaios de matéria orgânica nem de teor em carbonato de cálcio nas amostras de praia (tabela 16), devido a estes dois parâmetros, nestas amostras, não serem significativos para o estudo em questão.

Macroscopicamente as areias das praias em estudo são distintas: a praia da Consolação apresenta uma areia de granulometria mais grosseira, bem calibrada de grãos sub-angulosos a sub-rolados, enquanto a praia do Baleal é uma areia de granulometria bastante fina de cor mais clara, moderadamente calibrada a mal calibrada e com grãos rolados.

Tabela 17: Localizações das amostras (datum 1959 fuso 29) e dos dados granulométricos de amostras de praia.

Amostra	Longitude	Latitude	MZ (ϕ)	σI (ϕ)	SKI	$K\sigma$
PB1	470851	4357751	1.70	1.07	-0.13	0.7
PB2	470815	4357727	1.53	0.61	-0.35	1.06
PC1	469118	4353122	0.02	0.77	0.17	1.08
PC2	469138	4353149	0.01	0.78	0.12	0.95

Foram produzidas as curvas granulométricas de cada uma das areias recolhidas nas praias do Baleal (B1 e B2) e da Consolação (C1 e C2).

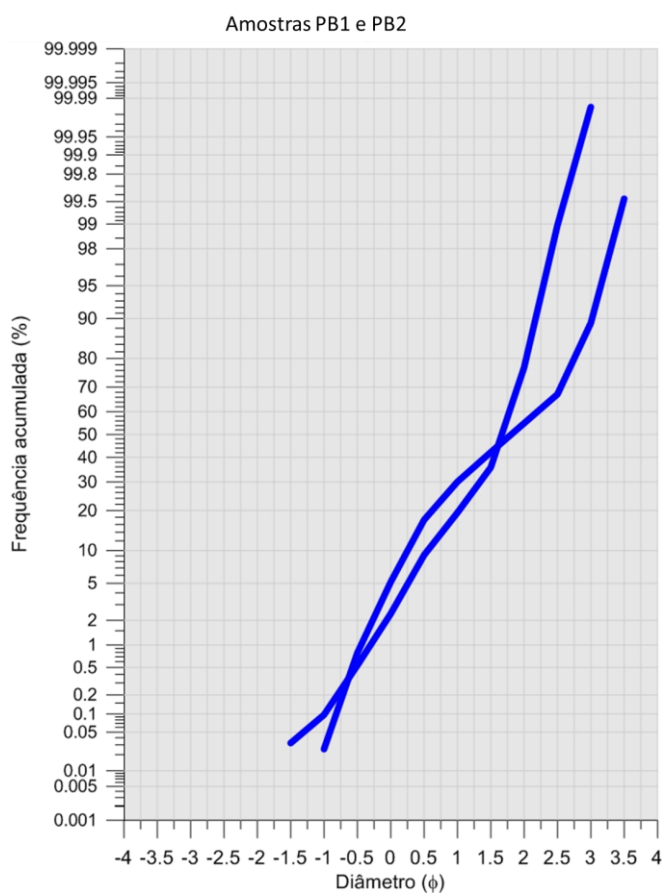


Figura 31: Curvas granulométricas das amostras PB1 e PB2 (praia do Baleal).

As amostras da praia do Baleal (Figura 31) são areias médias, moderadamente bem a mal calibradas, com assimetria negativa, de curva platicúrtica e mesocúrtica.

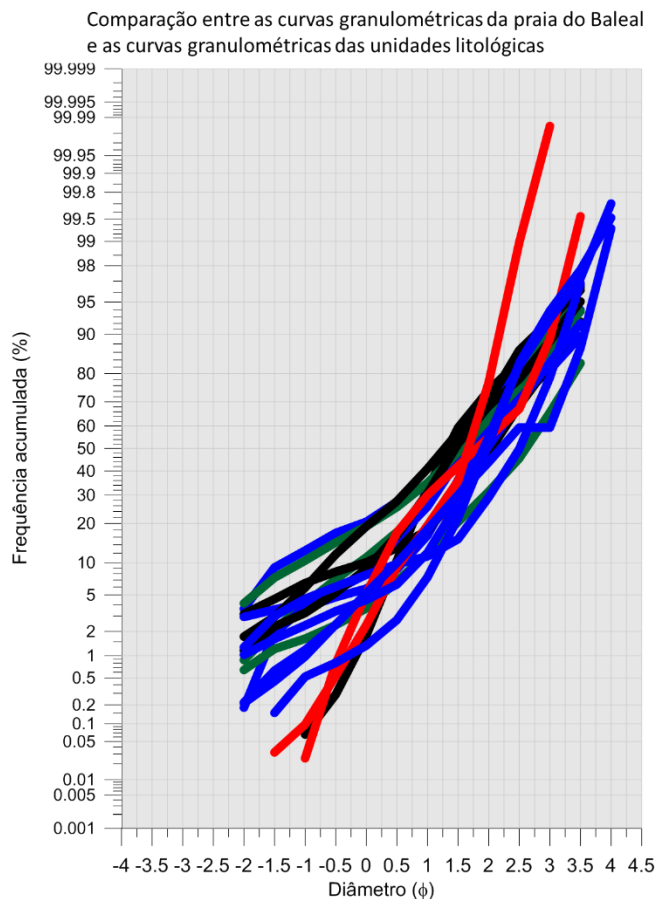


Figura 32: Comparação entre as curvas granulométricas da praia do Baleal e as curvas granulométricas das unidades litológicas.

Na Figura 32 observa-se que as curvas granulométricas da praia do Baleal (a encarnado) apresentam bastantes parecenças com as curvas dos sedimentos produzidos das unidades litológicas aflorantes na bacia hidrográfica, pelo que podem representar herança sedimentar do material sedimentar da bacia hidrográfica de São Domingos. Verifica-se que as unidades litológicas mais semelhantes com as areias da praia do Baleal são: BH4, BH8, BH10 e BH13 da unidade J^3_C , enquanto as amostras BH21 da unidade J^{3-4} e as amostras BH22 e BH23 são da unidade PQ.

O espectro dimensional centrado na média do diâmetro médio destas duas amostras e com amplitude de 2σ à esquerda e à direita de MZ compreende mais de 90% de

distribuição granulométrica de materiais fonte, evidenciando assim excelente compatibilidade textural com os materiais erodidos as rochas aflorantes e solos da bacia hidrográfica.

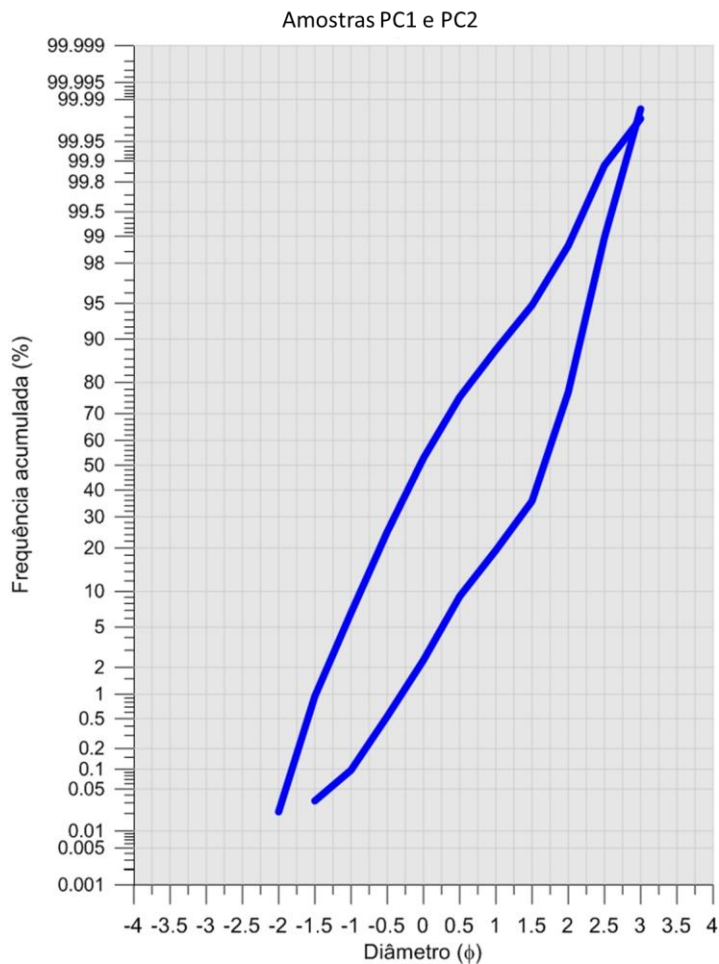


Figura 33: Curvas granulométricas das amostras PC1 e PC2 (praia da Consolação).

As amostras PC1 e PC2 caracterizam-se por serem areias grosseiras, bem calibradas, tendo assimetria positiva e curva mesocúrtica.

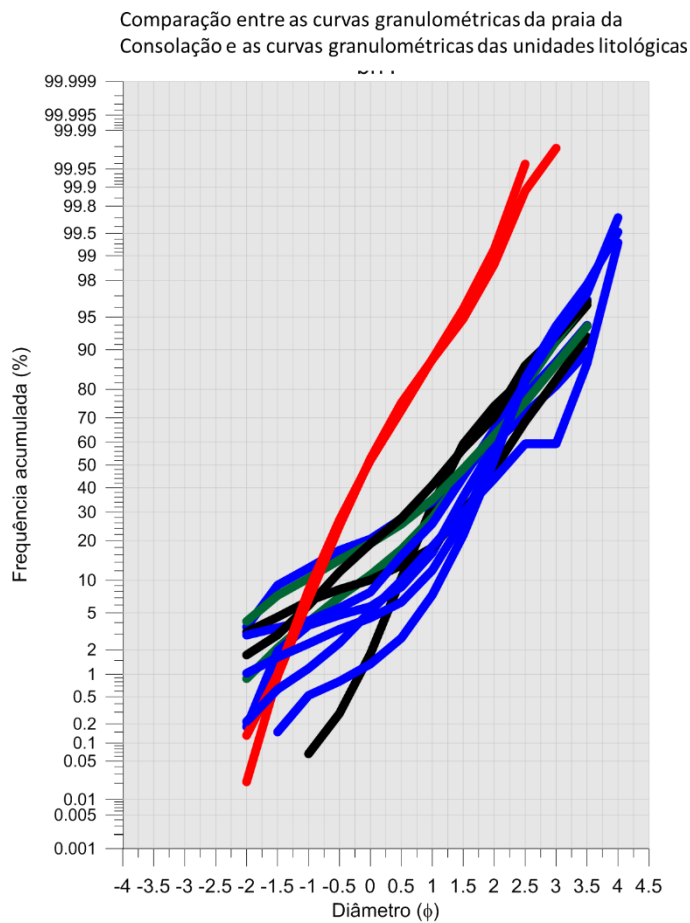


Figura 34: Comparação entre as curvas granulométricas da praia da Consolação (a encarnado), com as curvas granulométricas das unidades litológicas aflorantes da bacia hidrográfica.

Na figura 34 pode-se observar que as curvas granulométricas da praia da Consolação (a encarnado) são bastante distintas das curvas granulométricas dos materiais das unidades aflorantes da bacia hidrográfica. Sendo as areias presentes na praia da Consolação de granulometria mais grosseira que a presente nas unidades litológicas, sendo também sedimentos mais bem calibrados a nível granulométrico. A intersecção das curvas granulométricas dos materiais de bacia hidrográfica com a banda dimensional representando a média do valor de MZ das areias das praias e uma amplitude de $\pm 2\sigma$, mostra apenas 50 % de compatibilidade textural entre estes dois tipos de materiais.

IV.7 Erosão hídrica superficial, aplicação da RUSLE e produção sedimentar

A erosão hídrica superficial é um dos processos naturais mais importantes para a sociedade, devido a sua influência nas zonas agrícolas. A erosão hídrica superficial transporta os produtos da meteorização das rochas por processos naturais e que pode ser acelerada por actividades antrópicas (técnicas agrícolas impróprias, pastoreio intensivo, praticas urbanísticas impróprias e desflorestação, por exemplo). A erosão hídrica define-se como a erosão originada através da precipitação e do escoamento da água superficial. Este processo actua de duas maneiras como descrito por Freitas (2005):

- ataque superficial - traduz-se pela desagregação, dispersão e arraste mecânico das partículas do solo, induzidos quer pelo impacto das gotas de chuva, quer pelo escoamento superficial.
- ataque em profundidade - a actuação da água cria condições propícias no perfil do solo para que este rompa e se desloque em massa por acção da gravidade.

O estudo da erosão hídrica pressupõe o conhecimento dos factores, que a condicionam sejam eles externos relacionados com o clima ou intrínsecos regulando a sua intensidade (solo, coberto vegetal, relevo, uso do solo).

A eficiência da erosão hídrica pode ser esquematizada na seguinte expressão (Freitas, 2005):

Erosão= f (Erosividade, Erodibilidade);

Erosividade

A erosividade é uma medida da capacidade potencial que a chuva e o escoamento superficial num determinado local possuem para desencadear a erosão do solo e depende principalmente das características da precipitação (duração, intensidade). A intensidade da precipitação é o factor determinante da erosividade e relaciona-se em primeiro lugar com o trabalho produzido pelo impacto das gotas da chuva sobre o solo, que, no entanto, apresenta baixa capacidade de transporte do material afectado. Este

material terá depois que ser transportado pelo escoamento superficial, o qual também se relaciona com a intensidade da precipitação.

Erodibilidade

A erodibilidade mede a vulnerabilidade do solo à ocorrência de erosão, estando portanto directamente dependente do tipo de solo, do relevo, do coberto vegetal (natural ou introduzido) e da utilização do solo.

Erodibilidade do solo

O grau de erodibilidade de um solo depende de um conjunto de propriedades. A permeabilidade determina a facilidade de transporte porque um solo com permeabilidade baixa, facilita a acumulação de água necessária à existência de escoamento superficial, enquanto um solo com um índice de permeabilidade muito elevado, facilita a infiltração, minimizando o escoamento. Por outro lado, a estrutura do solo, a textura (com relevo para o teor em argilas) e sua composição (com relevo para o teor em matéria orgânica que funciona como agente aglutinador), determinam a resistência à desagregação pela precipitação e pelo escoamento superficial. Solos arenosos têm valores baixo de erodibilidade (0.05 a 0.2), enquanto solos argilosos apresentam valores entre 0.25 a 0.4.

Coberto vegetal

A vegetação tem o papel de promover a protecção do solo de forma natural contra a erosão, sendo que esta funciona em relação com as partes aérea e subterrânea das plantas. As estruturas subaéreas geram um efeito de “chapéu-de-chuva”, evitando que parte da precipitação chegue ao solo, amortecendo a intensidade do impacto das gotas de chuva, diminuindo ou evitando a acumulação de camada de água necessária para se verificar escoamento superficial. A vegetação permite também a estabilização do solo, através do sistema radicular que, pelo efeito de fixação, “segura” o solo

envolvente e assim dificulta o trabalho erosivo da água. Em casos de desflorestação com intuitos de exploração de terrenos, observa-se um aumento da erosão do solo, devido quer a ausência do efeito de fixação realizado pelo sistema radicular, quer pelo o impacto directo das gotas de chuva no solo. Outro efeito da desflorestação é a diminuição da quantidade de matéria orgânica existente no solo, diminuindo o efeito aglutinador desta no solo, piorando o poder de infiltração e de retenção de água do solo, promovendo assim a formação de uma película de água e o escoamento superficial.

A quantificação do efeito protector da vegetação tem em consideração a cultura praticada no terreno, a rotação de culturas assim como o tipo de maquinaria necessária para as diversas operações agrícolas (sementeira, poda, apanha...). Pode também incluir alterações na produção de uma determinada cultura, por motivos económico-sociais (por exemplo, mudança de políticas governamentais ao nível dos subsídios para a uma determinada cultura em detrimento de outra), por variação da disponibilidade de recursos hídricos (construção de albufeiras de regadio, por exemplo) ou de métodos de rega.

Relevo

O relevo é um dos factores que mais influência tem na erodibilidade do solo, regulando a acumulação de água ou facilitando o escoamento. Regra geral as superfícies com relevo acidentado, promovem o escoamento das águas superficiais e a mobilização do solo, sendo que este efeito aumenta quanto maior for o declive e maior o comprimento das encostas. A forma das encostas também é relevante. Freitas (2005) refere que "... na base das encostas côncavas, devido à redução do declive, os materiais erodidos do topo tendem a ficar acumulados. Na base das encostas convexas, que dominam em geral as linhas de água, o material erodido tem tendências a ser arrastado na sua totalidade para elas.", sendo assim mais facilmente exportado. . A erosão do solo aumenta com o aumento do declive e do comprimento de uma

vertente. Quantifica a perda de solo de um respetivo talhão em relação a outro em condições iguais de solo, uso e condições climáticas iguais.

Acção humana

A acção humana tem sido talvez o factor de maior importância na erosão do solo, visto que é uma influência artificial nos ecossistemas. Desde cedo que o Homem tem vindo a alterar as paisagens para seu benefício, sem ter conta o equilíbrio ambiental.

A desflorestação de grandes áreas, quer para cultivo agrícola quer para fins urbanísticos, potencia a erosão, fazendo com que parcelas de terreno que antes estavam protegidos pela vegetação fiquem mais vulneráveis ao impacto directo da precipitação e ao escoamento superficial. A impermeabilização de áreas urbanas constitui outro exemplo de interferência com o sistema de erosão hídrica, subtraindo superfície útil aos processos activos daquele sistema. Contudo tem havido também uma preocupação crescente com estes efeitos, que se traduz, quer no uso de práticas agrícolas mitigadoras da erosão, quer pela implementação de zonas “verdes” em áreas urbanísticas e uso de pisos permeáveis, com o intuito de atenuar a erosão hídrica em ambiente urbano, evitando por um lado o transporte de partículas de solo e evitando a acumulação de água que provocará incremento da erosão noutras regiões.

Em regiões agrícolas, a quantificação do factor humano traduz-se principalmente pelas práticas agrícolas, reflectindo a eficácia de medidas de controle de erosão e de práticas que podem atenuar ou incrementar a erosão do solo.

É definido por (Renard, *et al.* 1997), como o rácio de perda de solo através de praticas específicas de suporte comparando com um solo em condições de controle.

IV.7.3 Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo

Os estudos sobre a perda de solo provocada pela erosão hídrica tiveram grande impulso a partir dos anos 30 do século XX, sobretudo devido ao reconhecimento do

seu efeito sobre a agricultura. A maior parte destes estudos utilizam resultados de investigação sobre a eficácia dos processos erosivos em talhões experimentais e conduziram ao desenvolvimento de soluções que permitem quantificar a magnitude deste processo em função de um número reduzido de variáveis condicionantes.

Segundo Bhattarai e Dutta (2008), os modelos usados para prever a intensidade da erosão hídrica e melhorar o conhecimento sobre os processos erosivos do solo, podem ser agrupados em modelos empíricos e modelos orientados para os processos. Os modelos empíricos são desenvolvidos a partir de medições em bacias hidrográficas de área reduzida, tendo o propósito de posteriormente serem extrapolados para áreas análogas, de maiores dimensões (Kinnell, 2008). Os modelos orientados para os processos utilizam abordagem quantitativa e os princípios da mecânica do escoamento e do transporte e deposição de sedimentos. Existem ainda aproximações que utilizam as duas abordagens, incorporando conhecimento acerca dos processos e observações empíricas, conhecidas como modelos semi-empíricos.

Entre outras aproximações semi-empíricas, refere-se a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) que identifica um factor de erosividade e cinco factores reguladores da erodibilidade: um descritor da erodibilidade intrínseca do solo, um descritor topográfico (comprimento e declive dos taludes), um descritor do coberto vegetal e outro de práticas agrícolas de conservação. Mais recentemente, os parâmetros empíricos desta equação foram revistos e reinseridos numa equação revista, designada por Equação Universal de Perda de Solo Revista (RUSLE), que não alterou a formulação genérica original.

A Equação Universal de Perda de Solo Revista quantifica a perda anual específica de solo (A), sendo representada pela expressão seguinte, que associa a perda de solo a cinco factores de erodibilidade e um de erosividade, tal como antes a USLE:

$$(A) = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Onde:

- ▶ A é a perda anual de solo, por unidade de área ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$);
- ▶ R é o índice de erosividade de precipitação ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$);

- ▶ K é o índice de erodibilidade do solo (mede a resistência do solo ao deslocamento e transporte -t.h.MJ⁻¹mm⁻¹);
- ▶ LS é o factor topográfico (factor de comprimento da encosta (adimensional) multiplicado pelo factor de declive (adimensional));
- ▶ C é o factor cultural (tipo de vegetação - adimensional);
- ▶ P é o factor da prática agrícola de conservação (adimensional).

IV.7.3.1 Domínios de análise

Neste trabalho aplicou-se a RUSLE a dois domínios distintos: um, de menor dimensão, corresponde à bacia hidrográfica a montante da barragem de São Domingos; outro, mais vasto e que contém o primeiro, corresponde à totalidade da bacia hidrográfica que se estende para montante da foz actual da mesma ribeira, na praia da Consolação.

Os limites destas bacias encontram-se ilustrados nas figuras 1 e 2 e correspondem-lhe superfícies de 36.4 e 77 km², respectivamente.

IV.7.3.2 Factor R

É o factor associado à transferência de energia da precipitação para a superfície do solo, variando de local para local em função do clima e é determinado para um certo intervalo temporal. A determinação da erosividade parte do somatório das quantidades de energia associadas á sucessão de aguaceiros ocorridos num intervalo de tempo e que afectam uma porção limitada da superfície topográfica. A extrapolação dos valores obtidos num único evento de precipitação sobre um talhão experimental para médias representativas de uma bacia hidrográfica e da precipitação

que são características a várias décadas, levanta dificuldades e incertezas ainda não completamente resolvidas. Sempre que a precipitação é de curta duração e de intensidade elevada (tendo como consequência exceder a capacidade de infiltração do solo), ou longa e de intensidade baixa, (favorecendo a saturação do solo) a erosividade é significativamente incrementada.

Em Portugal, os fenómenos de erosão associados a acontecimentos pluviométricos estão relacionados com a ocorrência de eventos intensos e de volume elevado. Nestes tipos climáticos, pode usar-se a expressão desenvolvida por Wischmeier (1959):

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^m (E)(I_{30})_k \right]$$

Onde

E- é a energia cinética total do aguaceiro

j- é o número de observações realizadas em cada ano, para produzir a média;

K-é o número de aguaceiros durante um ano;

m- é o numero de aguaceiros durante cada ano;

n-é o número de anos da série.

A energia cinética dos aguaceiros pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$E = 916 + (331) \log_{10} (I)$$

onde

I-é a media das intensidades dos episódios pluviométricos.

I_{30} - valor médio da intensidade de precipitação durante os 30 minutos de maior intensidade de um aguaceiro.

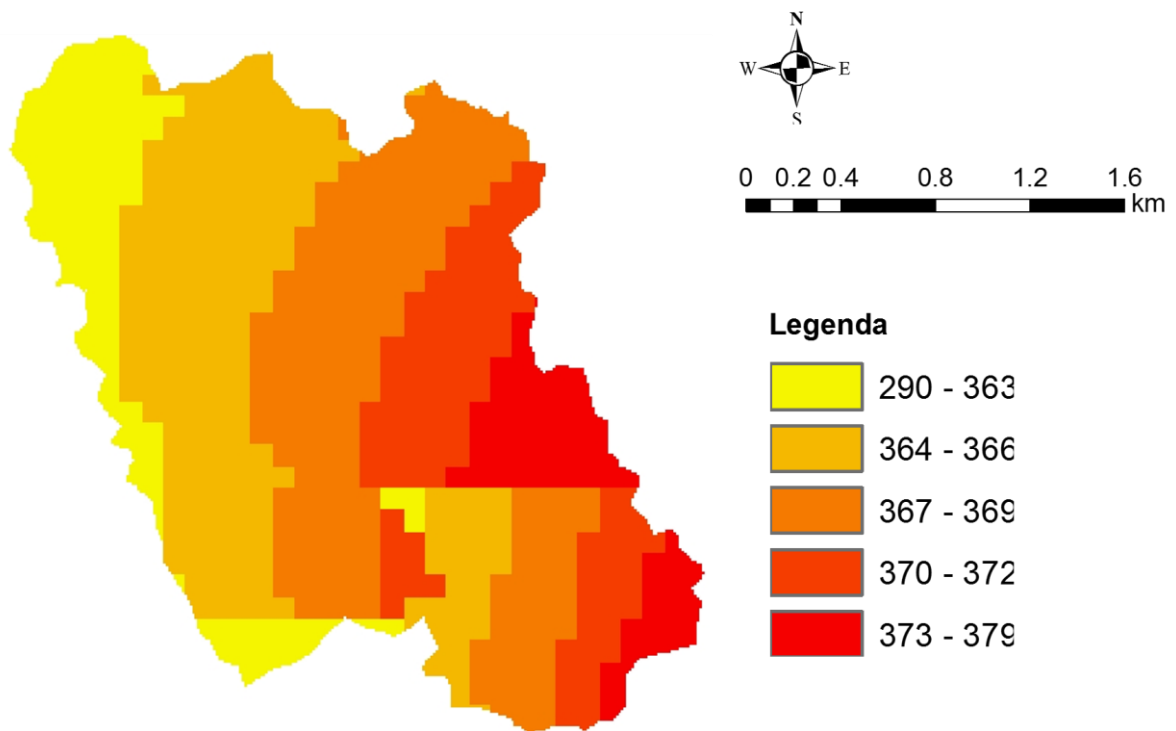


Figura 41: Mapa do factor de erosividade de precipitação (R), na bacia hidrográfica da ribeira de S. Domingos a montante da barragem.

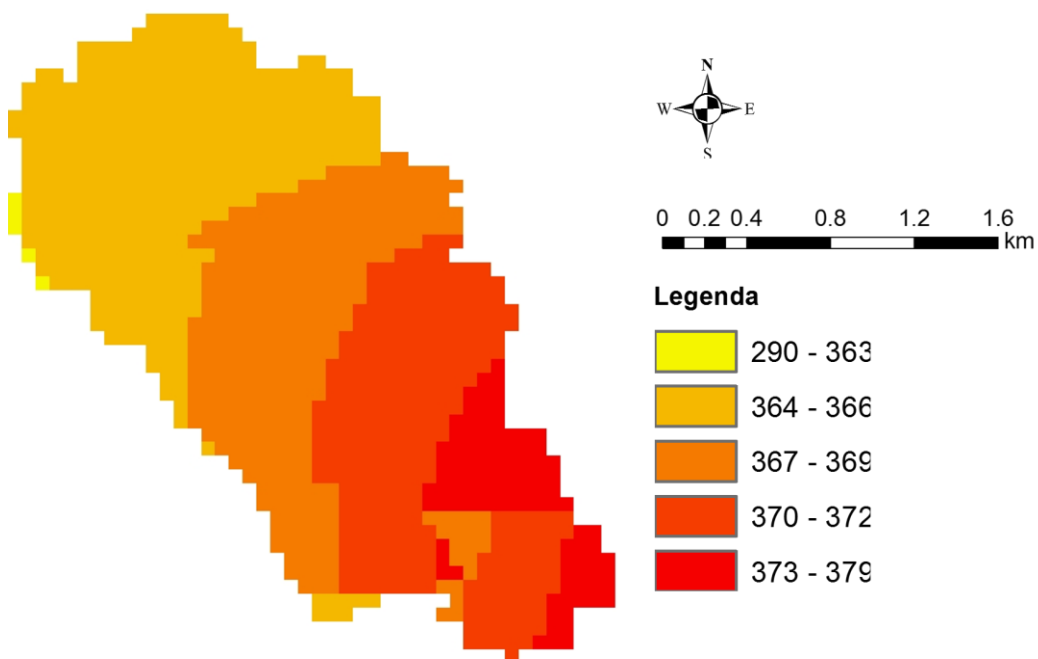


Figura 42: Mapa do factor de erosividade de precipitação (R), na bacia hidrográfica total da ribeira de S. Domingos.

Nos mapas das figuras 41 e 42 pode observar-se a distribuição do factor R na bacia hidrográfica a montante da barragem de S. Domingos e na bacia hidrográfica total. Os valores mais elevados de R ocorrem nas zonas de cotas mais elevadas, onde também se verifica a existência de declives mais acentuados, e diminui progressivamente medida que as cotas se tornam mais baixas e nas zonas mais proximais da linha de costa.

IV.7.3.3 Factor K

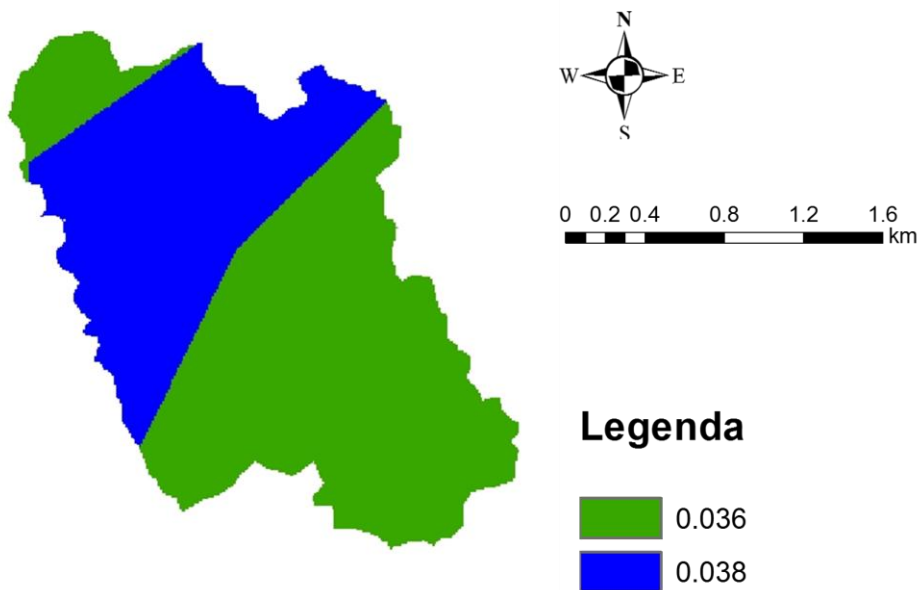


Figura 43: Factor de erodibilidade do solo (K) na bacia hidrográfica da ribeira de S. Domingos a montante da barragem.

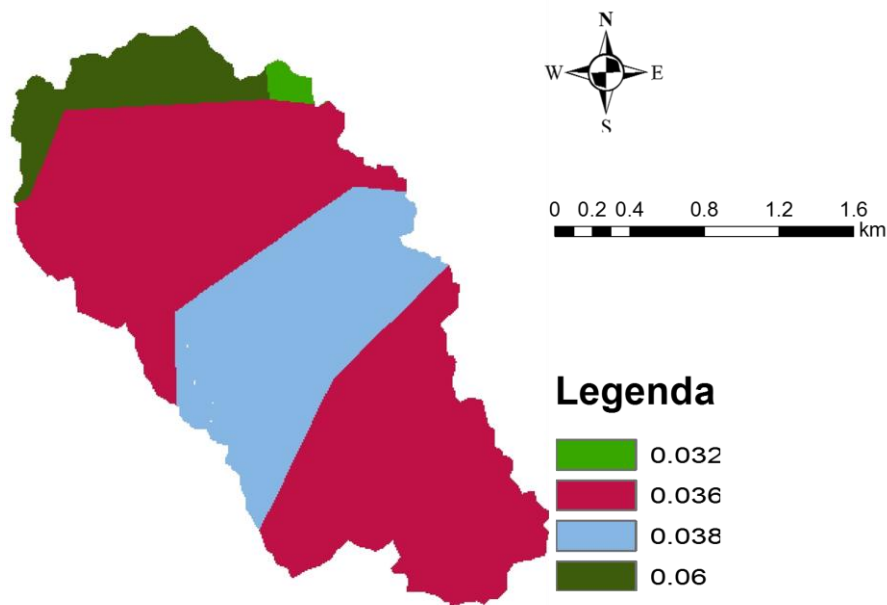


Figura 44: Factor de erodibilidade do solo (K) na bacia hidrográfica total da ribeira de S. Domingos.

Os resultados obtidos mostram uma região central, com erodibilidade menores, possível de relacionar com as estruturas diapíricas de Bolhos e da Serra d'El Rei. A baixa resolução da representação espacial não permite definir com rigor os contornos destas duas estruturas, pelo que o mapa de erodibilidade apenas conserva a sua localização e forma aproximadas. Para mais perto da costa, o índice de erodibilidade aumenta, encontrando-se valores máximos perto da faixa costeira, em associação com as acumulações arenosas recentes.

IV.7.3.4 Factor LS

É o factor topográfico, que resulta do produto de um descritor do comprimento por outro descritor do declive de encosta, cuja distribuição se representa nos mapas das figuras 45 e 46. Na figura 46, sobressai principalmente o contraste entre a região litoral da bacia hidrográfica total e os relevos interiores, com valores mais baixos no primeiro caso e mais elevados no segundo.

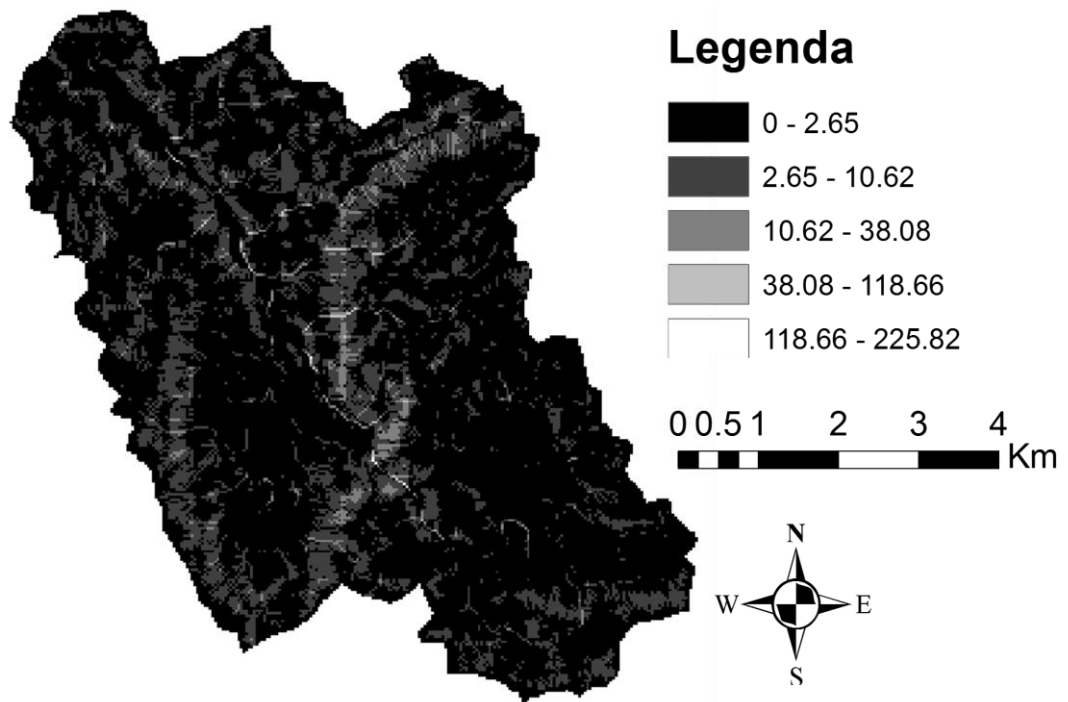


Figura 45: Factor Ls, para a bacia hidrográfica da ribeira de S. Domingos, a montante da barragem

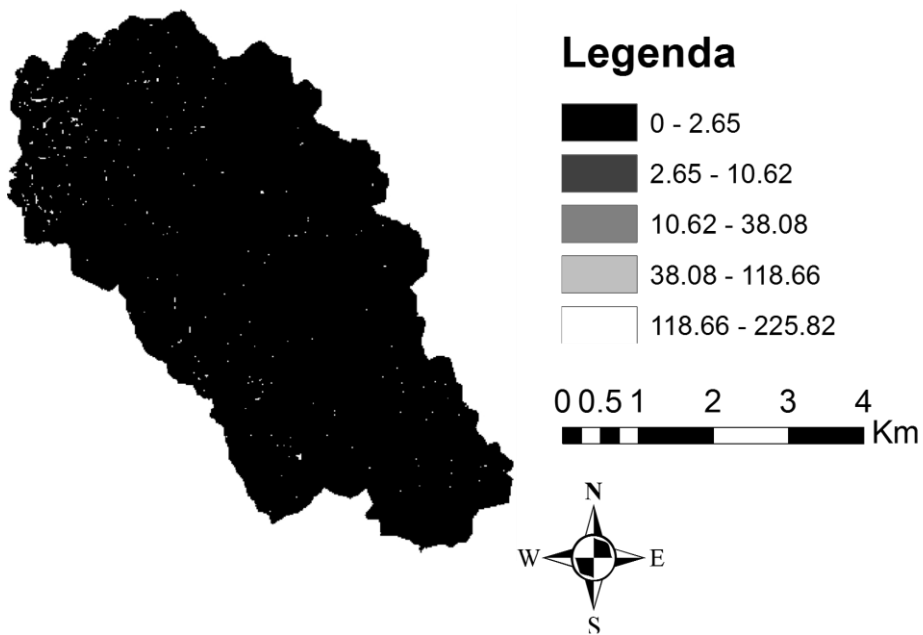


Figura 46: Factor Ls, para a bacia hidrográfica total da ribeira de S. Domingos.

IV.7.3.5 Factor C

Factor de coberto vegetal (figura 47), reflectindo a influência da densidade e do tipo de coberto vegetal na taxa de erosão.

Quando se consideram grandes zonas para avaliação da influência do factor C, pode-se simplificar os trabalhos de quantificação desta variável mapeando as tipologias de uso do solo e atribuindo-se a cada tipo de ocupação/uso do solo um valor definido de C variável entre 0 e 1. Um solo que esteja bem protegido tem um valor próximo de 0, enquanto um solo que esteja muito desprotegido apresentaria um valor para este factor muito próximo de 1.

Com esse intuito foi criada uma carta digital de ocupação de solo, na escala 1:1000000, através do projecto LandCover CORINE, na qual se usou um sistema de classificação por imagem de satélite (Landsat). Estas cartas existem em edições de 1985, 1986 e 1987. Posteriormente, foi ainda produzida uma carta do mesmo tipo à escala de 1:25000, por interpretação das fotografias aéreas estereoscópicas de falsa cor do vôo ACEL de 1990.

Neste trabalho utilizaram-se as cartas digitais do atlas do ambiente para o factor de coberto vegetal, com os resultados ilustrados nas figuras 47 e 48.

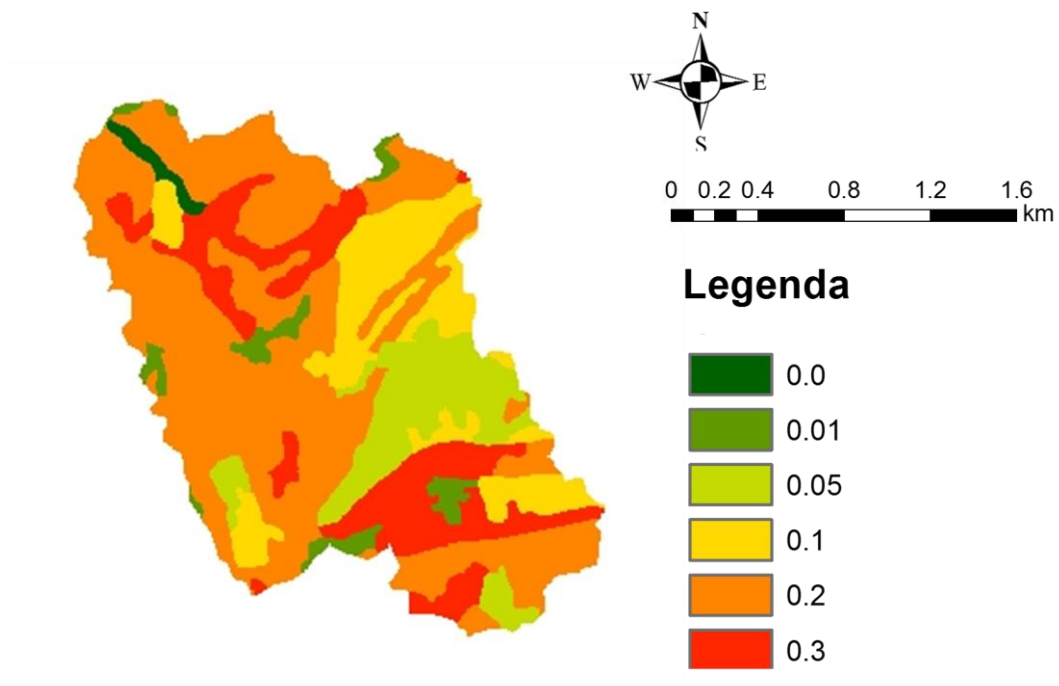


Figura 47: Mapa do factor C na bacia hidrográfica da ribeira de S. Domingos a montante da barragem.

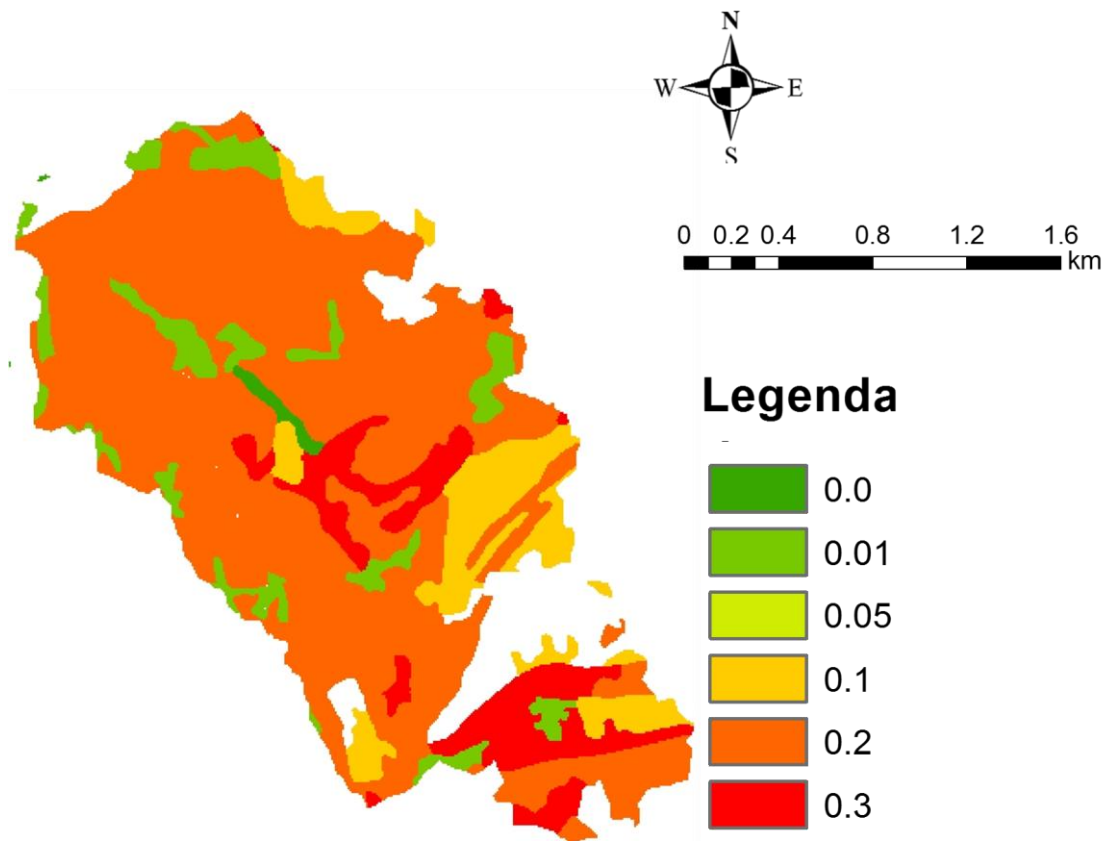


Figura 48: Mapa do factor C na bacia hidrográfica total da ribeira de S. Domingos.

IV.7.3.6 Factor P

No caso presente, e na ausência de informação sobre práticas de conservação de solo, optou-se por assumir o valor de 1 para a totalidade da superfície em erosão.

IV.7.3.6 Intensidade da erosão hídrica superficial

A aplicação da RUSLE às duas bacias consideradas neste trabalho produziu os valores de erosão específica representados na tabela 17.

Tabela 18: Valores de perda anual de solo específica e total.

Bacias	A (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Erosão total (t.ano ⁻¹)
Bacia a montante da barragem	4.7	17718.33
Bacia total	5.4	20375.24

Os valores obtidos estão em conformidade com a ordem de grandeza dos valores referenciados no relatório da ARH Tejo -Estimativas de descarga sólida fluvial (Cristina Lira *et al*)

IV.7.4 Factor de produção sedimentar e produção de areias/finos

O factor de produção sedimentar (Sediment Delivery Ratio – SDR) representa a fracção de sedimento retido no transporte sedimentar ao longo da área de uma bacia hidrográfica. A produção sedimentar diminui com o incremento da área da bacia drenada, ou seja, quanto maior for uma bacia, mais sedimento será depositado ao longo da mesma não chegando assim à zona terminal da bacia. Apesar de não haver

um método único para calcular o SDR, tem sido propostas várias fórmulas para o seu cálculo. O SDR pode ser afectado por diversos factores: origem do sedimento, textura, proximidade ao canal fluvial principal, densidade de canais, área da bacia, declive e comprimento de taludes. Uma pequena bacia com uma grande densidade canais possui um SDR maior que uma bacia grande, em que exista uma menor densidade de canais fluviais. Assim como uma bacia com declives mais acentuados terá valores mais altos de SDR que uma bacia de declives mais suaves.

O SDR pode ser calculado por diversas fórmulas, compiladas por Ouyang *et al.*, (1997):

a) Segundo Renfro (1975, *in Ouyang et al.*, 1997):

$\text{Log (SDR)} = 1.7935 - 0.14191 \times \log (A)$ em que A= área da bacia em km²

Para a bacia de S. Domingos a montante da barragem, com uma área de 36.4 km², o valor de SDR seria 3.6, um valor manifestamente impossível, visto que a produção sedimentar seria muito superior à intensidade da erosão.

b) Segundo Maner (1984, *in Ouyang et al.*, 1997):

$\log (\text{SDR}) = 2.943 - 0.824 \times \log (\text{Lm}/\text{Fr})$ em que:

Lm = comprimento máximo em linha recta medido paralelamente ao curso de água principal e Fr = diferença entre a cota média e a cota mínima da barragem.

Para a bacia de S. Domingos a montante da barragem, obteve-se Lm = 10489 m e Fr = 11.38, logo SDR de 3.1, um valor idêntico ao anterior, mas também impossível pela mesma razão.

c) Segundo Vanoni (1975, *in Ouyang et al.*, 1997)

$\text{SDR} = 0.42 \times A^{-0.125}$, em que:

A = área da bacia em milhas quadradas

Para a bacia de S. Domingos a montante da barragem, $SDR = 0.31$

- d) Usando a formula desenvolvida pelo USDA (1979, em Ouyang *et al.*, 1997), na qual:

$$SDR = 0.51 A^{-0.11} \text{ em que:}$$

A = área da bacia hidrográfica em milhas quadradas

Obter-se-ia $SDR = 0.38$.

- e) Usando ainda a fórmula de Mitchel *et al.* (1980, in Cardoso, 1984) usada nos estudo para a ARH Tejo, I.P. (citação bibliográfica? Lira et al.,2013)

$$SDR = - 0.052 \times \ln (A) + 0.374, \text{ na qual:}$$

A = área da bacia em Km^2

$SDR = 0.19$.

Os valores de SDR plausíveis calculados acima variam entre 0.19 e 0.38 e ensaiou-se uma verificação dos resultados da sua aplicação à bacia hidrográfica que drena para a barragem de S. Domingos sabendo que o sedimento depositado no fundo é exclusivamente vasa e que a espessura desta coluna sedimentar é uniforme e da ordem de 0.5m, de acordo com as observações de campo. Assumiu-se também que toda a vasa se depositou após a entrada em funcionamento da barragem. Tem-se então, usando o SDR calculado pelas fórmulas de USDA (0.38) e Mitchel (0.19):

$$Q_{sed} = A \times SDR \text{ (USDA)} = 4.67 \times 0.38 = 1.775 \text{ T.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$$

$$Q_{sed} = A \times SDR \text{ (Mitchel)} = 4.67 \times 0.19 = 0.887 \text{ T.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$$

Em que A é a intensidade da erosão hídrica específica na bacia, a montante da barragem obtida a partir da RUSLE, e Q_{sed} a descarga sedimentar específica na albufeira.

A descarga sedimentar total anual ($Q_{total\ sed}$) será:

$$Q_{\text{total sed}} (\text{USDA}) = Q_{\text{sed}} \times A_{\text{bacia}} = 1.775 \times 36.4 \times 10^2 = 6460 \text{ T.ano}^{-1}$$

$$Q_{\text{total sed}} (\text{Mitchel}) = Q_{\text{sed}} \times A_{\text{bacia}} = 0.887 \times 36.4 \times 10^2 = 3230 \text{ T.ano}^{-1}$$

Visto que o sedimento de fundo da albufeira é apenas formado por finos é necessário aplicar uma correcção textural aos valores de $Q_{\text{total sed}}$, tendo-se utilizado para tal a proporção média de finos nos materiais produzidos pelo sistema de erosão hídrica (veja-se o ponto IV.5 Produção de areia), estimada em 0.48 a partir dos dados de laboratório.

A massa de sedimentos finos depositados anualmente no fundo da albufeira será:

$$Q_{\text{total finos}} (\text{USDA}) = Q_{\text{total sed}} (\text{USDA}) \times 0.48 = 3100 \text{ t. ano}^{-1}$$

$Q_{\text{total finos}} (\text{Mitchel}) = Q_{\text{total sed}} (\text{Mitchel}) \times 0.48 = 1550 \text{ t. ano}^{-1}$. Com o intuito de realizar a conversão destas massas para volumes, usou-se o gráfico de Lane (1943, *in* Sousa, A (1995)) e, para sedimento integralmente vasoso (aprox. 1 T m^{-3}), obtiveram-se os volumes seguintes ($V_{\text{total finos}}$) $V_{\text{total finos}} (\text{USDA}) = 3100 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$

$$V_{\text{total finos}} (\text{Mitchel}) = 1550 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$$

Visto que a área de espelho de água da albufeira é de 780000 m^2 , a espessura de sedimento vasoso depositado anualmente no fundo pode ser estimada pela razão entre aqueles valores, daí resultando 5×10^{-3} e $2.5 \times 10^{-3} \text{ m/ano}$. Multiplicando estes valores pelo número de anos em que a barragem de S. Domingos funcionou (22 anos), obtém-se a espessura total de sedimento vasoso potencialmente depositado, de 11 a 6 cm, cinco a dez vezes inferior ao observado. Note-se que este cálculo assume 100% de eficiência da albufeira na captura de finos, facto que não é provável, uma vez que as descargas de água são acompanhadas de ejeção de finos para jusante da barragem.

Para aproximar o valor observado das estimativas resultantes da aplicação da RUSLE manipulando apenas o valor do SDR, seria necessário aumentar o SDR para valor superior à unidade, o que não é razoável. Por outro lado, é necessário considerar $\text{SDR}=1$ e assumir que a totalidade dos produtos da erosão hídrica são exclusivamente

vasosos para chegar a uma coluna de vasa acumulada na albufeira com 63 cm de espessura. Estes resultados indicam que a intensidade da erosão hídrica na bacia hidrográfica da Ribeira de São Domingos obtida neste trabalho, e em trabalhos anteriores, se encontra significativamente subestimada e que o valor de $5 \text{ T.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ corresponde a uma avaliação por defeito.

Fazendo o mesmo raciocínio para a bacia inteira até a foz situada na praia da Consolação, temos que calcular os valores de SDR novamente, visto que se trata de uma bacia de maior dimensão.

a) Segundo Renfro (1975, in Ouyang et al., 1997):

$\text{Log (SDR)} = 1.7935 - 0.14191 \times \text{log (A)}$ em que A = área da bacia em km^2

Para a bacia de S. Domingos até a foz, com uma área de 77 km^2 , o valor de SDR seria 33.6, um valor novamente impossível, visto que a produção sedimentar seria muito superior à intensidade da erosão.

b) Segundo Vanoni (1975, in Ouyang et al., 1997)

$\text{SDR} = 0.42 \times A^{-0.125}$, em que:

A = área da bacia em milhas quadradas

Para a bacia de S. Domingos a montante da barragem, $\text{SDR} = 0.27$

c) Usando a formula desenvolvida pelo USDA (1979, em Ouyang et al., 1997), na qual:

$\text{SDR} = 0.51 A^{-0.11}$ em que:

A = área da bacia hidrográfica em milhas quadradas

Obter-se-ia $\text{SDR} = 0.351$

d) Usando a fórmula de Mitchel et al. (1980, in Cardoso, 1984):

$\text{SDR} = -0.052 \times \text{ln (A)} + 0.374$, na qual:

A = área da bacia em km²

Resulta SDR = 0.148.

Os valores de SDR plausíveis calculados acima variam entre 0.148 e 0.351 e ensaiou-se uma verificação dos resultados da sua aplicação à bacia hidrográfica que drena para a praia da Consolação, sabendo que o sedimento depositado de interesse é exclusivamente areia. Tem-se então, usando o SDR calculado pelas fórmulas de USDA (0.351) e Mitchel (0.148):

$$Q_{sed} = A \times SDR \text{ (USDA)} = 5.4 \times 0.351 = 1.8954 \text{ T.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$$

$$Q_{sed} = A \times SDR \text{ (Mitchel)} = 5.4 \times 0.148 = 0.799 \text{ T.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$$

Em que A é a intensidade da erosão hídrica específica na bacia total obtida a partir da RUSLE, e Q_{sed} a descarga sedimentar específica no litoral.

A descarga sedimentar total anual (Q_{total sed}) será:

$$Q_{total \text{ sed}} \text{ (USDA)} = Q_{sed} \times A_{bacia} = 1.8954 \times 77 \times 10^2 = 14594.58 \text{ T.ano}^{-1}$$

$$Q_{total \text{ sed}} \text{ (Mitchel)} = Q_{sed} \times A_{bacia} = 0.799 \times 77 \times 10^2 = 6152.3 \text{ T.ano}^{-1}$$

Visto que o sedimento depositado na praia é apenas formado por areias é necessário aplicar uma correcção textural aos valores de Q_{total sed}, tendo-se utilizado para tal a proporção média de areias nos materiais produzidos pelo sistema de erosão hídrica (veja-se o ponto IV.5 Produção de areia), estimada em 0.52 a partir dos dados de laboratório.

A massa de sedimentos finos depositados anualmente no fundo da albufeira será:

$$Q_{total \text{ finos}} \text{ (USDA)} = Q_{total \text{ sed}} \text{ (USDA)} \times 0.52 = 7589.2 \text{ t. ano}^{-1}$$

$$Q_{\text{total finos (Mitchel)}} = Q_{\text{total sed (Mitchel)}} \times 0.52 = 3199.2 \text{ t. ano}^{-1}$$

Com o intuito de realizar a conversão destas massas para volumes, usou-se o gráfico de Lane (1943) e para sedimento integralmente arenoso (aprox. 1.4 T m^{-3}), obtiveram-se os volumes seguintes:

$$V_{\text{total areias (USDA)}} = 5420.8 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$$

$$V_{\text{total areias (Mitchel)}} = 2285.14 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$$

Dos cálculos anteriores a quantidade de areia que seria depositada na praia da Consolação antes da construção e da entrada em funcionamento da barragem seria de 2300 a $5420 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$. Considerando que as areias em equilíbrio com o forçamento oceanográfico na Praia da Consolação, são diferentes do ponto de vista textural das areias produzidas na área fonte e umas e outras apenas mostram 50% de compatibilidade textural, aqueles números seriam reduzidos para metade, ou seja 1150 a $2710 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$.

Note-se que estes valores são, à semelhança dos anteriores e pelas memsmas razões, estimativas por defeito, ou seja, na realidade, o aporte sedimentar de areias à praia seria mais elevado. Relativamente ao valor de deriva litoral potencial calculado para a zona costeira a sul de Peniche que ronda $1 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$ (de acordo com o relatório do Grutpo Trabalho do Litoral) é muito superior em ordem de grandeza aos valores debitados pela ribeira para a praia. Daqui resultaria uma condição de défice sedimentar do litoral a sul de Peniche que se deverá traduzir por tendência de erosão da linha de costa, visto que o fornecimento sedimentar de origem fluvial não terá sido suficiente para compensar a deriva litoral

CAPÍTULO VI- CONCLUSÕES

Este trabalho tem como objectivo essencial a caracterização da bacia hidrográfica da albufeira de barragem da Ribeira de São Domingos (Peniche), com o intuito de estudar a produção sedimentar resultante da erosão hídrica, através da aplicação da equação universal de perda de solo na versão revista (RUSLE), a acumulação desses materiais na albufeira sob a forma de sedimentos de fundo e das margens e também nas praias, relacionadas com a desembocadura da Ribeira de São Domingos, antes da construção daquela barragem.

Os materiais-fonte aflorantes na bacia hidrográfica têm diversidade litológica, incluindo essencialmente calcários, margas, arenitos e conglomerados. A partir dos trabalhos laboratoriais, concluiu-se que as camadas aflorantes têm potencial de produção de areia pela actividade dos processos da erosão hídrica superior a expectável a partir de uma análise qualitativa das cartas geológicas. Porém, o estudo das sequências litoestratigráficas reportadas nas notícias explicativas das cartas geológicas da área em estudo permitiu avaliar em cerca de 1:1 a proporção de areia: finos nos sedimentos produzidos pela erosão hídrica, valor que não se modifica substancialmente quando se incorporam no cálculo desta razão os resultados dos ensaios texturais. Os trabalhos de campo e o estudo dos materiais aflorantes na área fonte e nos locais preferenciais de deposição mostram que a albufeira de barragem funciona como um obstáculo eficaz ao transporte de materiais grosseiros. De facto, os sedimentos do fundo da albufeira são quase exclusivamente vasosos, enquanto nas margens da albufeira se depositam preferencialmente materiais arenosos. Tal significa que a construção daquela obra e o enchimento da albufeira prejudicaram o trânsito de areias rumo ao litoral e o aporte de areias à praia da Consolação. Em tempos remotos, este aporte de areias pode ter também contribuído para o enchimento sedimentar da região onde hoje existe a enseada do Baleal.

Foi também realizada uma caracterização dos sedimentos das praias da Consolação e do Baleal, devido a serem os locais de deposição de grande parte dos sedimentos

oriundos da bacia hidrográfica a jusante da barragem (antes da sua construção), tentando – se estabelecer uma correspondência entre os sedimentos depositados nestas praias litorais, e os sedimentos arenosos existentes na bacia em estudo.

Verificou-se que os sedimentos da praia da Consolação são bastante diferentes do ponto de vista granulométrico os sedimentos produzidos na bacia hidrográfica. Este facto pode-se dever a praia da Consolação ter sido originada devido a processos de deriva litoral de maior contribuição que os sedimentos oriundos da bacia, primeiro devido a posição original da foz da ribeira ser mais para Norte, sendo depois realocizada para desaguar na praia da Consolação.

Verificou-se também que os sedimentos depositados na praia do Baleal apresentam semelhanças granulométricas com sedimentos provenientes da bacia hidrográfica, sendo que as camadas que apresentam maior afinidade e que são responsáveis pelo fornecimento destes sedimentos serão: pertencem às unidades litoestratigráficas J^3_c , J^{3-4} e PQ.

O valor calculado para a erosão hídrica pela aplicação da RUSLE em ambiente Arcgis 10.0 para a bacia total, de 5.4 toneladas por hectare e por ano, é semelhante ao obtido em trabalhos anteriores.

Porém, a avaliação deste resultado face aos elementos disponíveis sobre a sedimentação de vasas nos fundos da albufeira de barragem mostra que se trata de uma estimativa por defeito.

Conclui-se também que o problema da quantificação da erosão hídrica e do factor de produção sedimentar, nesta bacia hidrográfica e nas bacias das restantes Ribeiras do Oeste, não está resolvido e que será necessário monitorizar a sedimentação na albufeira de São Domingos durante um intervalo de tempo alargado, para se conseguir calibrar estas duas variáveis. Esta calibração poderá beneficiar de monitorização directa da erosão ou utilização de mini - armadilhas sedimentares. A aplicação dos resultados obtidos através da RUSLE à descarga de areias no litoral conduz a valores mil vezes inferiores aos que caracterizam a deriva litoral potencial, de onde se infere que o troço costeiro a sul de Peniche (com relevo para a enseada da Consolação) deve enfermar de uma situação crónica de erosão.

BIBLIOGRAFIA

ARH (2013) – Estudo do litoral na área de intervenção da APA, I. P./ ARH do Tejo, Entregável 1.1.2.b do projeto “Consultoria para a Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização do Litoral abrangido pela área de Jurisdição da ARH do Tejo”, Estimativas da descarga sólida fluvial potencial, Administração da Região Hidrográfica do Tejo I.P., 22 p..

Bhattarai, R.; Dutta, D. (2008) - A comparative analysis of sediment yield simulation by empirical and process-oriented models in Thailand. *Hydrol. Sci. J.* 53 (6), pp. 1253–1269.

Calado, M. (1994) – Da ilha de Peniche. Edição de autor, 117 p..

Carvalho, C. (1998) – Gran-Graf V1.0. Programa de processamento de dados granulométricos (não publicado) Geo,FCUL, Lisboa, Portugal.

COBA (1987) - Estudos de 2ª fase da Barragem de S. Domingos. Relatório técnico (estudos de 2ª fase). Volume I, Memória descritiva, 290p..

Costa, J.B. (1991) - Caracterização e Constituição do Solo. Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian. 527p.

Flemming B.W. (2000) - A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis ternary diagrams. *Continental Shelf Research* 20, pp. 1125-1137.

Folk, R. L. & Ward, W.C (1957) – Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1), pp. 3-26.

França J. C.; Moitinho de Almeida, F.; Zbyszewski, G. (1960) – Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50 000. Notícia Explicativa da Folha 26-C Peniche. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 33 p..

França J. C.; Moitinho de Almeida, F.; Zbyszewski, G. (1961) – Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50 000. Notícia Explicativa da Folha 30-A Lourinhã. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 27 p..

Friedman, G.M. & Sanders, J.E. (1978) - Principles of Sedimentology. Wiley: New York, 792p.

Freitas C. (2005) – Geologia e ambiente – Recursos geológicos. Universidade Aberta número 293. 223p.

Friedman, G.M., (1962) - On sorting, sorting coefficients and the log normality of the grain-size distribution of sandstones. Journal of Geology, Vol. 70, No. 6, pp, 737-753.

Heiri, O.; Lotter, A. F.; Lemcke, G. (2001) – Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. Journal of Paleolimnology 25, pp. 101-110.

Kinnell, P.I.A. (2008) - Sediment delivery from hillslopes and the Universal Soil Loss Equation: some perceptions and misconceptions. Hydrol. Processes 22, pp. 3168-3175.

Kristensen, E. (1990) – Characterization of biogenic organic matter by stepwise thermogravimetry (STG). Biogeochemistry 9, pp. 135-159.
esults. Journal of Paleolimnology 25, pp. 101-110.

Lane, E. W. & Koeler, V. A. (1943) – Density of sedimentations Deposited in Reservoirs; Report N. 9, A study of methods used in measurements and analysis of sediment loads in streams. Hidraulic Lab., Univ. of Iowa.

Loh, P.S; Miller, A.E.J; Reeves, A.D; Harvey, S.M. Overnell, J. (2008) -Assessing the biodegradability of terrestrially-derived organic matter in Scottish sea loch sediments. *Hydrology and Earth System Sciences* 12, pp. 811- 823.

Ouyang *et al* (1997) The 22nd National Association of Environmental Professionals Conference Proceedings. May 19-23, 1997, Orlando, FL. pp 659-671.

Manuppella, G.; Antunes, M.T.; Pais, J.; Ramalho, M.; Rey, J. (1999) - Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50000. Notícia Explicativa da Folha 30-A Lourinhã. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 83 p.

Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; McCool, D.; Yoder, D.C. (coordinators) (1997) - Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Dept. of Agriculture, Agric. Handbook 703, 404 p..

Sousa, A.A 1995. Subsídios para um melhor conhecimento da erosão hídrica em bacias hidrográficas e do assoreamento de albufeiras -Arade e Funcho – dois casos portugueses. Tese de Mestrado. FCUL, Lisboa, 91pp.

Wentworth, C.K. (1922) - A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal of Geology*, 30 (5), pp. 377-392.

Wischmeier, W.H. A (1959) - Rainfall Erosion Index for a Universal Soil Loss Equation. *Soil Science of America Proceedings* 23, pp. 246-249.

Zou, X.M.; Ruan, H.H.; Fu, Y.;Yang, X.D.; Sha, L.Q. (2005) - Estimating soil labile organic carbon and potential turnover rates using a sequential fumigation–incubation procedure. *Soil Biology & Biochemistry* 37, pp. 1923–1928.

Sites Consultados

[1] <http://snirh.pt/>

[2] www.apambiente.pt/index.php?ref=19&subref=174