



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Rui Miguel Sousa Mota

**Estudo sedimentológico de duas sondagens
executadas em 2019 na margem direita do rio Mondego
(entre o Largo da Portagem e o açude-ponte de
Coimbra): interpretação da evolução fluvial**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Geociências (Ramo de Ambiente e Ordenamento), orientada pelo Professor Doutor Pedro Manuel Rodrigues Roque Proença e Cunha e pelo Professor Doutor Pedro Alexandre Morgado Dinis e apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Setembro, 2019

Resumo

A presente dissertação, tem como principal objetivo a caracterização e interpretação do registo sedimentar aluvionar da margem direita do rio Mondego, entre o açude-ponte de Coimbra e o Largo da Portagem, com base em duas sondagens com recolha de testemunho e c. 15 m de comprimento, executadas em 2019. Este registo é ulteriormente articulado com o atravessado por sondagens mais antigas e dados históricos, para se proceder a uma interpretação e análise da evolução fluvial e dos principais controlos naturais e antrópicos.

O trabalho foi dividido em 4 capítulos; (i) o primeiro contém a Introdução, com os objetivos do trabalho, um resumo histórico das intervenções realizadas no rio Mondego, a caracterização do clima, eustatismo e tectónica durante o Plistocénico e o Holocénico em Portugal central, e as metodologias utilizadas; (ii) o segundo capítulo, contém os resultados obtidos, consistindo na descrição detalhada das sondagens, análises granulométricas, e mineralógicas de amostras de areias e siltes/argilas, definição de fácies sedimentares e identificação de estruturas antrópicas; (iii) o terceiro capítulo compreende a discussão e interpretação dos dados, envolvendo a definição de perfis estratigráficos para ambas as sondagens, caracterizações paleoambientais, uma análise da influência dos controlos climáticos e antrópicos no assoreamento do rio e de riscos associados à ocupação das margens do rio; (iv) o quarto capítulo, é composto pelas conclusões.

De entre as principais conclusões deste trabalho, destaque para: (i) a identificação de quatro fases principais de enchimento fluvial, cada uma delas com uma sequência granocrescente; (ii) a influência das intervenções humanas sobre o seu assoreamento. Alerta-se para a necessidade de medidas para a restauração ambiental do rio Mondego acautelando que o crescimento da cidade se faz em harmonia com o rio.

Palavras-chave: arquitetura deposicional; aluviões; evolução fluvial; paleoclima; rio Mondego

Abstract

The present dissertation has as its main objective the characterization and interpretation of the sedimentary record of two wells of c. 15 m in length, carried out in 2019 in the right bank of the Mondego River, between the Coimbra bridge-dam and the Largo da Portagem. This record integrated with data from previous wells and historical data, for establishing the river evolution and to assess the roles of natural and anthropic sedimentary controls.

This work is divided in four chapters: (i) the first contains the introduction, with objectives of the work, a historical summary of the interventions carried out on the Mondego River, a general characterization of the climate, eustatism and tectonics during the Pleistocene and Holocene in central Portugal, and the methodologies used; (ii) the second chapter contains the results obtained, consisting of a detailed description of the wells, grain-size and mineralogical analyses of the sand and silt/clay samples, definition of sedimentary facies and identification of anthropic structures; (iii) the third chapter comprises the discussion and the interpretation of the data, involving the definition of the stratigraphic profiles for both wells, paleoenvironmental characterizations, an analysis of the influence of the natural and anthropic controls on river silting, and risks associated with the occupation of the river banks; the fourth chapter consists of the conclusions.

Among the main conclusions of this work we highlight: (i) the identification of four main river filling phases, each one with fining-upward trends; (ii) the influence of the anthropic interventions. We emphasize the need for measures for environmental restoration of the Mondego River, ensuring that the growth of this town is in harmony with the river.

Keywords: depositional architecture; alluviums; fluvial evolution; paleoclimate; Mondego River

Agradecimentos

Este é sem dúvida um dos marcos mais importantes da minha vida e da minha formação académica, que não teria sido concretizada sem as pessoas que me ajudaram direta e indiretamente ao longo deste percurso. Assim, deixo aqui algumas palavras, com sentimento de reconhecimento e agradecimento:

Primeiramente agradeço ao Professor Doutor Pedro Proença e Cunha, por ter aceite a solicitação para ser meu orientador científico no Mestrado em Geociências da UC e por me ter deixado realizar o trabalho conducente a esta dissertação no âmbito de uma Prestação de Serviços promovida pela UC (“Estudo Geoarqueológico de 2 sondagens de 15 m executadas na margem direita do Mondego, entre o Largo da Portagem e a ponte-açude de Coimbra”, para a empresa OPWAY Engenharia, S.A.), da sua responsabilidade e a que estava associado o Prof. Pedro Dinis e o arqueólogo Guilherme Cruz. Saliento a sua colaboração constante e o muito que me ensinou ao longo da licenciatura e mestrado.

Ao Professor Doutor Pedro Dinis, tenho que agradecer o seu trabalho como co-orientador científico, em particular nas tarefas laboratoriais, destacando sua disponibilidade, ajuda e paciência comigo.

Por solicitação do Prof. P. Proença e Cunha, este trabalho contou também com a colaboração científica de especialistas em diversas temáticas de investigação geoarqueológica, a seguir referidos: Isabel Anjinho - Mestre em História de Arte e Helena Moura – Prof^a da UC, pelo apoio na análise documental histórica associada ao rio Mondego; Maria Helena Gomes Catarino – Prof.^a da FLUC e ao João André Faria e Leitão – arqueólogo, que analisaram fragmentos de cerâmica encontrados nos testemunhos das duas novas sondagens, nomeadamente de faiança ratinha e cerâmica de época medieval; Alexandre Tavares – Prof. da FCUC, a disponibilização de informação sobre as sondagens analisadas sua tese de doutoramento.

Este trabalho foi realizado no âmbito da unidade de investigação MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente e utilizou meios laboratoriais do DCT-UC, quer no Laboratório de Sedimentologia, quer noutros laboratórios.

Gostaria também de agradecer à Margarida Porto e à Pu Yang (doutorandas em Geologia na UC), o apoio e companhia e amizade durante grande parte da elaboração da dissertação.

Um obrigado a todos os meus colegas que me acompanharam no percurso académico, durante a licenciatura e agora no mestrado, aproveito também para lhes desejar boa sorte no seu percurso profissional.

Gostava também de agradecer à minha família, em especial à mãe, pai e irmãos, por sempre me apoiarem em todas as minhas decisões, e estarem sempre prontos a ajudar, nos momentos mais difíceis e, acima de tudo, por acreditarem em mim.

Por último, um agradecimento muito especial à pessoa que praticamente esteve comigo desde o início desde percurso na U.C., que me apoiou, aconselhou e ajudou sempre que precisava, a minha namorada Daniella Reis, obrigado pela tua paciência, amizade e companheirismo, obrigado por estares sempre presente.

Índice

1.Introdução	1
1.1. Objetivos e relevância do estudo	1
1.2. Enquadramentos	2
1.2.1. Enquadramento Geográfico	2
1.2.2. Enquadramento da bacia hidrográfica do Mondego	3
1.2.3. Enquadramento geológico	4
1.3. Estudos prévios sobre a evolução e dinâmica sedimentar do rio Mondego, em Coimbra	7
1.4. Caracterização do clima, eustatismo e tectónica durante o Plistocénico e Holocénico, em Portugal central.....	11
1.5. Metodologias	14
1.5.1. Metodologias de campo	14
1.5.2. Metodologias de Laboratório.....	18
1.5.3. Trabalho de gabinete	21
2.Resultados	23
2.1. Descrição detalhada das duas sondagens realizadas em 2019	23
2.1.1. Descrição da sondagem 2019S2	23
2.1.2. Descrição da sondagem 2019S2	30
2.2. Granulometria dos sedimentos.....	36
2.2.1. Granulometria dos sedimentos argilo-arenosos	37
2.2.2. Granulometria dos sedimentos arenosos	38
2.2.3. Granulometria das cascalheiras	43
2.3. Composição mineralógica dos sedimentos.....	43
2.3.1. Determinação dos minerais de argila por difração de raios X.....	43
2.3.2. Mineralogia dos sedimentos areno-siltosos.....	44
2.3.3. Mineralogia das cascalheiras	45
2.4. fácies deposicionais	46

2.5. Estruturas antrópicas.....	46
3.Discussão e tratamento de dados	47
3.1. Sequência estratigráfica das duas sondagens.....	47
3.1.1. 2019S1	47
3.1.2. 2019S2	48
3.1.3. Correlação entre as sondagens 2019S1 e 2019S2	50
3.1.4 Interpretações paleoambientais	50
3.2. A arquitetura deposicional das aluviões.....	52
3.2.1. Interpretação das sequências deposicionais	58
3.3. Cronologia das aluviões do Mondego em Coimbra.....	60
3.4. Controlos naturais e antrópicos na dinâmica do Mondego.....	61
3.4.1. Naturais	61
3.4.2. Antrópicos.....	62
3.4.3. Relevância social do estudo dos registos holocénicos dos rios.....	64
4.Conclusões	65
5. Referências bibliográficas.....	67

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Amostras da Sondagem 2019S1.....	17
Tabela 2 - Amostras da Sondagem 2019S2.....	18
Tabela 3 – Percentagem total das granulometrias nas fração silto-argilosa, arenosa e cascalhenta.....	39
Tabela 4 - Percentagens das granulometrias das amostras analisadas por crivagem.	40
Tabela 5 - Resultados dos minerais e argila presentes nas amostras em que foram realizadas lâminas sedimentada.	44
Tabela 6 - Resultados de composição mineralógica dos sedimentos mais finos presentes nas amostras areno-siltosas. Dados obtidos através de DRX	44
Tabela 7 - Resultados de composição mineralógica por DRX de amostras areno-siltosas, arenosos presentes nas amostras. Dados obtidos através de DRX.	45
Tabela 8 - Composição mineralógica das cascalheiras na sondagem 2019S1	45
Tabela 9 - Composição mineralógica das argamassas hidráulicas	47

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização do concelho de Coimbra em Portugal continental.	2
Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do rio Mondego em Portugal continental. 4	
Figura 3 - Secção da carta geológica 19-D de 2005, mostrando a geologia na área de estudo.	6
Figura 4 - Retrato da cidade de Coimbra. Podemos observar a antiga ponte e os portos que havia na margem direita. (Hoefnagel, 1566).	8
Figura 5 - Cheias de 1948. Podemos ver que o rio subiu até quase a altura do tabuleiro da ponte e a margem esquerda foi inundada.	10
Figura 6 - Modelo de variação do nível médio da água do mar, na margem continental portuguesa, desde o último período glacial (Dias, 1985, 1987)	12
Figura 7 - Variação da temperatura durante o Plistocénico e Holocénico, indicando as fases de gelo de degelo (modificado de Sierget, 2001).	13
Figura 8 - Localização das sondagens 2019S1 e 2019S2. (adaptado de imagem Google earth).	15
Figura 9 - Execução final da sondagem 2019S2, a 28 de janeiro de 2019 (Foto: Pedro P. Cunha)	16
Figura 10 - Pormenor da execução da sondagem 2019S2, a 28 de janeiro de 2019 (Foto: Pedro P. Cunha).	16
Figura 11 - Total de material recolhido na sondagem 2019S1.	17
Figura 12 - Total de material recolhido na sondagem 2019S2.	17
Figura 13 - Coluna de crivos.	19
Figura 14 - Análise de amostra no granulometro LS-Coutler 230.	20
Figura 15 - Pipetagem de amostra para lamina, para realização de lâmina sedimentada.	21
Figura 16 - Amostra a serem em agitadores mecânicos.	21
Figura 17 - Intervalo entre os 0,00 m e o 1,50 m.	23
Figura 18 - Intervalo 1,50 m aos 3,00 m.	23
Figura 19 - Intervalo dos 3,00 m aos 4,50 m. As Amostras nos sacos, são o material colhido nos tubos.	24
Figura 20 - Cascalheira encontrada no intervalo dos 3,00 m aos 4,50 m.	24
Figura 21 - Areia muito grosseira com clastos de dolomia do intervalo dos 3,00 m aos 4,50 m.	24
Figura 22 - Argila cinzenta presente na base do intervalo dos 3,00 m aos 4,50 m.	25
Figura 23 - Seixos presentes no intervalo dos 4,50 m aos 6,00 m.	25

Figura 24 - Material presente no intervalo entre os 4,50 m e os 6,00 m. Tarolos, incluindo o dentro do saco, pertencem às amostras colhidas nos tubos.	26
Figura 25 - Intervalo dos 6,00 m aos 7,50 m de profundidade	26
Figura 26 - Intervalo 7,50 m e os 9,00 m da sondagem S1. Podemos observar a cascalheira e cerâmicas. que compõem a amostra.....	27
Figura 27 - Fragmento de cerâmica da cascalheira do intervalo dos 7,50 m aos 9,00 m da sondagem 2019S1.....	27
Figura 28 - Fragmentos de cerâmica vidrada da cascalheira do intervalo dos 7,50 m aos 9,00 m da sondagem 2019S1.	27
Figura 29 - Arenito argiloso da base do intervalo entre os 7,50 e os 9,00 m, da sondagem 2019S1.	27
Figura 30 - Intervalo dos 9,00 m aos 10,50 m de profundidade.....	28
Figura 31 - Fragmentos de cerâmica encontrados no intervalo dos 9,00 m aos 10,50 m.	28
Figura 32 - Intervalo dos 10,50 m aos 12,00 m.	29
Figura 33 - Intervalo dos 12,00 m aos 13,50 m.	29
Figura 34 - Fragmentos de cerâmica encontrados no intervalo dos 12,00 m aos 13,50 m.	29
Figura 35 - Intervalo dos 13,50 m aos 15,00 m.	30
Figura 36 - Intervalo dos 0,00 m ao 1,50 m.....	30
Figura 37 - Intervalo entre os 1,50 m e os 3,00 m.	31
Figura 38 - As figuras A, B, C e D são fragmentos de cerâmica encontrados no material retirado do tubo, entre os 1,50 m e os 3,00 m.....	31
Figura 39 - As figuras A e B, são fragmentos de cerâmica, nomeadamente faiança Ratinha, do séc. XIX.	32
Figura 40 - Base do intervalo dos 1,50 m aos 3,00 m.	32
Figura 41 - Fragmento de vidro antigo.	32
Figura 42 - Intervalo dos 3,00 m aos 4,00 m.	33
Figura 43 - Intervalo dos 4,00m aos 5,50m.	33
Figura 44 - intervalo dos 5,50 m aos 6,00 m.	33
Figura 45 - Intervalo dos 6,00 m aos 6,30 m.	34
Figura 46 - Intervalo dos 6,30 m aos 7,50 m.	34
Figura 47 - Intervalo dos 7,50 m aos 9,00 m.	35
Figura 48 - Intervalo dos 9,00 m aos 10,50 m.	35
Figura 49- Intervalo dos 10,50 m aos 12,00 m.	35
Figura 50 - Intervalo dos 12,00 m aos 13,50 m.	36
Figura 51 - Intervalo dos 13,50 m aos 15,00 m.	36

Figura 52 - Gráfico representando a curva granulométrica (de frequência) da amostra S1.C3.....	37
Figura 53 - Gráfico representando a curva granulométrica da amostra S2.C2.	38
Figura 54 - Curva granulométrica da amostra S2.2.....	38
Figura 55 - Gráfico representando a curva de distribuição granulométrica da amostra S1.C2.....	40
Figura 56 - Curva de distribuição granulométrica da amostra S1.C7.	41
Figura 57 - Curva de distribuição granulométrica da amostra S2.C10.....	41
Figura 58 - Gráfico representando a curva de distribuição granulométrica da amostra S2.C11.....	42
Figura 59- Curva de dispersão granulométrica da amostra S2.C12.	42
Figura 60 – Coluna estratigráfica da sondagem 2019S1.....	48
Figura 61 – Coluna estratigráfica da sondagem 2019S2.....	49
Figura 62 - Correlação estratigráfica entre as sondagens 2019S1 e 2019S2.....	51
Figura 63 - Localização dos perfis de sondagens realizadas em 2019 (a azul claro), as presentes em aTavares (1999) (a branco) e as de CoimbraPólis (2003) (a preto). Os traços com as respetivas cores das sondagens, representam os perfis realizados em cada uma delas.	52
Figura 64 - Painel de correlação das sondagens de 2019 com a sondagem 16 em Tavares, 1999.....	55
Figura 66 - Painel modificado de correlação das sondagens de CoimbraPolis 2003 com perfil da sondagem S14 a S10.	56
Figura 65 - Painel modificado de correlação das sondagens presentes em Tavares, 1999.	56
Figura 67 - Painel modificado de correlação das sondagens de CoimbraPolis 2003 com perfil da sondagem S3 a S12 e perfil S6 a S17.....	57
Figura 68 - Painel 3D com correlação das sondagens das sondagens presentes em Tavares (1999) (sondagens 2 a 15) e de CoimbraPolis (2003) (sondagens S3 a S7). A superfície com cor verde, representa a planície de inundação do rio que se encontra antropizada.....	59
Figura 69 – Fotografia da escavação realizada pelo arqueólogo Guilherme Cruz, junto da sondagem 2019S2, para confirmação da presença do muro superior identificado nesta sondagem. (fotografia feita a 7 de março de 2019 disponibilizada por Mónica Silva)	61
Figura 70 - Variação do clima nos ultimos 4,5 ka.	62
Figura 71 - Carta de Coimbra, onde é possível observar a antiga ponte manuelina e os três portos existentes a jusante (Isidoro Baptista ,1845).	63

Figura 72 - Ponte Manuelina assorreada, com os seus arcos já praticamente tapados pelos depósitos aluvionares..... 64

1.Introdução

1.1. Objetivos e relevância do estudo

O presente trabalho académico tem como principal objetivo a caracterização do registo sedimentar associado ao enchimento fluvial na margem direita do Mondego, entre o açude-ponte de Coimbra e o largo da portagem, com base no estudo litostratigráfico e sedimentológico de duas sondagens com c. 15 m de comprimento e executadas em Janeiro de 2019. Este estudo pretende fazer a interpretação dos paleoambientes registados na sucessão sedimentar e de eventuais estruturas antrópicas atravessadas.

Um outro objetivo é a interpretação da evolução fluvial histórica do Mondego em Coimbra, com base na correlação e interpretação de algumas das sondagens efetuadas até ao presente nas aluviões da área de estudo.

O rio Mondego é um importante arquivo continental, registando nos seus depósitos sedimentares, informações paleoambientais, nomeadamente as condições climáticas do passado e atuais, bem como sobre as populações que habitaram as suas margens, permitindo compreender a influência não só do clima e de outros controlos naturais na morfodinâmica do rio, mas também a influência do Homem desde as suas primeiras intervenções. Assim, pretende-se entender a sua dinâmica sob influência de diferentes controlos naturais e antrópicos, através da análise dos seus depósitos aluvionares. Contribui-se assim para um melhor planeamento e ordenamento do território, diminuindo os riscos associados às cheias e inundações que desde longa data têm afetado as populações que fazem uso das margens do rio.

Esta dissertação de mestrado foi inserida no âmbito de uma Prestação de Serviços promovida pela Universidade de Coimbra (UC) e intitulada “Estudo Geoarqueológico de 2 sondagens de 15 m executadas na margem direita do Mondego, entre o Largo da Portagem e a ponte-açude de Coimbra”, para a empresa OPWAY Engenharia, S.A.

Teve a responsabilidade do Prof. Pedro Proença e Cunha e a participação do Prof. Pedro Dinis; o arqueólogo Guilherme Cruz deu colaboração, por parte da empresa contratante). A Prestação de Serviços inseriu-se na “Empreitada de estabilização de muros do Mondego”, para a Câmara Municipal de Coimbra.

1.2. Enquadramentos

1.2.1. Enquadramento Geográfico

A área de estudo localiza-se no Município de Coimbra (fig.1), na margem direita do rio Mondego no troço de Coimbra, mais propriamente entre o Largo da Portagem e a açude-ponte, com as coordenadas $40^{\circ}12' 47''\text{N}, 8^{\circ} 26' 11''\text{W}$ e $40^{\circ} 12' 42''\text{N}, 8^{\circ} 25'48''\text{W}$.

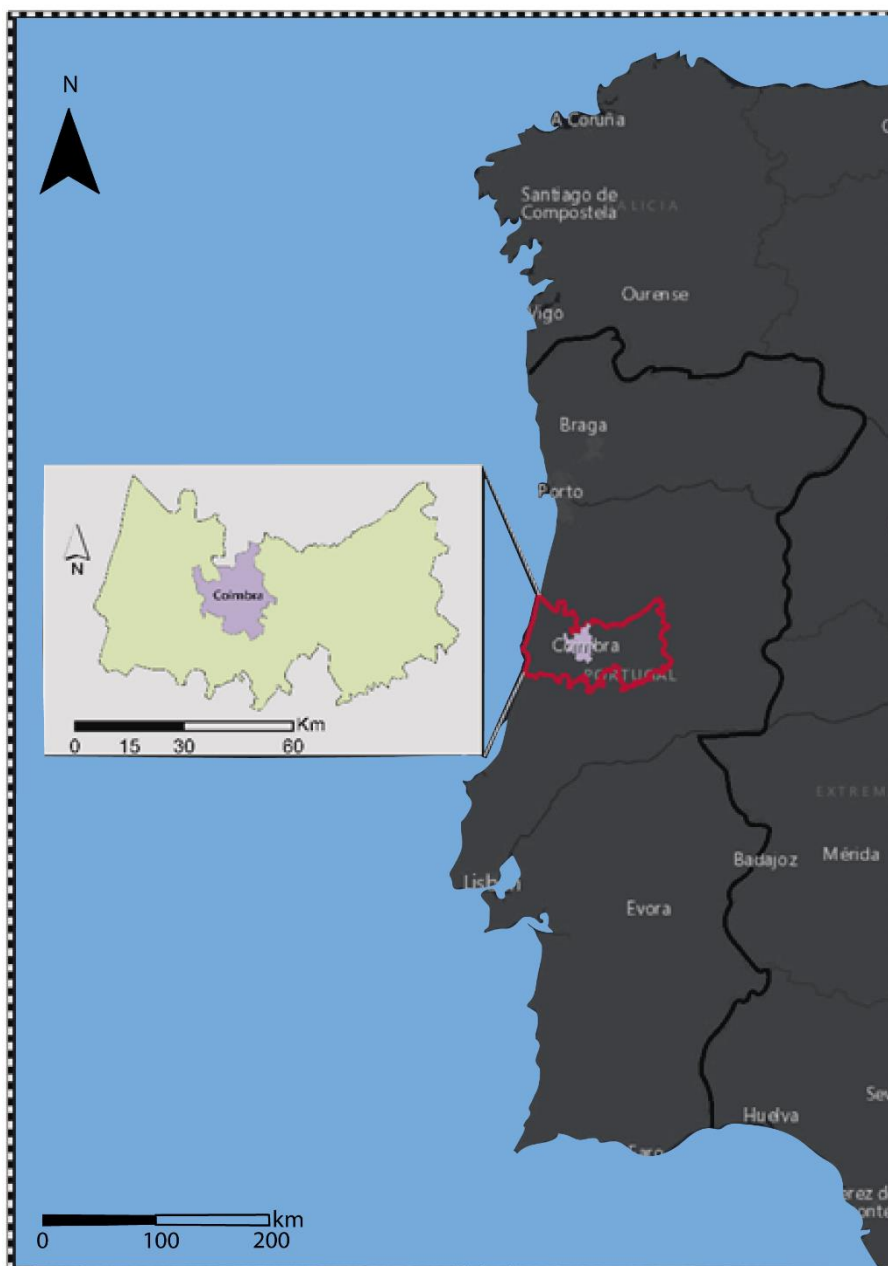


Figura 1 - Localização do concelho de Coimbra em Portugal continental.

1.2.2. Enquadramento da bacia hidrográfica do Mondego

A bacia hidrográfica do rio Mondego (fig. 2), com uma área de 6645 km² é a segunda maior bacia localizada inteiramente em Portugal. Apresenta uma forma alongada e orientação NE-SW, que se prolonga desde a Serra da Estrela (1425 m). O rio Mondego estende-se por um total de 234 km até à cidade de Figueira da Foz, onde desagua no Oceano Atlântico. Os seus principais afluentes são, na margem direita o rio Dão, Ançã e Foja, na margem esquerda, os rios Pranto, Arunca, Ceira e Alva. A bacia é limitada a Norte e a este pelas bacias do Vouga e Douro, e a Sul, pelas bacias dos rios Lis e Tejo (PGBH, 2011).

A bacia de drenagem do Mondego é limitada Norte e NW por uma série de elevações localizadas no planalto da Beira Alta, nomeadamente pelas serras da Lapa (953 m), do Caramulo (1071 m) e do Buçaco (549 m), cujas linhas de cumeada as separam das bacias do Douro e do Vouga; e, a S-SE é limitada pelas serras da Estrela (1991 m), do Açor (1409 m), da Lousã e de Sicó (553 m) que a separam das bacias hidrográficas dos rios Tejo e Liz (Soares, 1995). Pode ser dividida em três sub-bacias fundamentais, de acordo com o sistema fluvial natural e as obras hidráulicas realizadas (Lencastre & Soares, 2010):

- Sub-bacia dominada pelo sistema Agueira-Raiva-Fronhas (3750 km²);
- Sub-bacia intermédia, de Raiva a Coimbra (1207 km²);
- Sub-bacia a jusante de Coimbra (Campos do Baixo Mondego) (1714 km²).

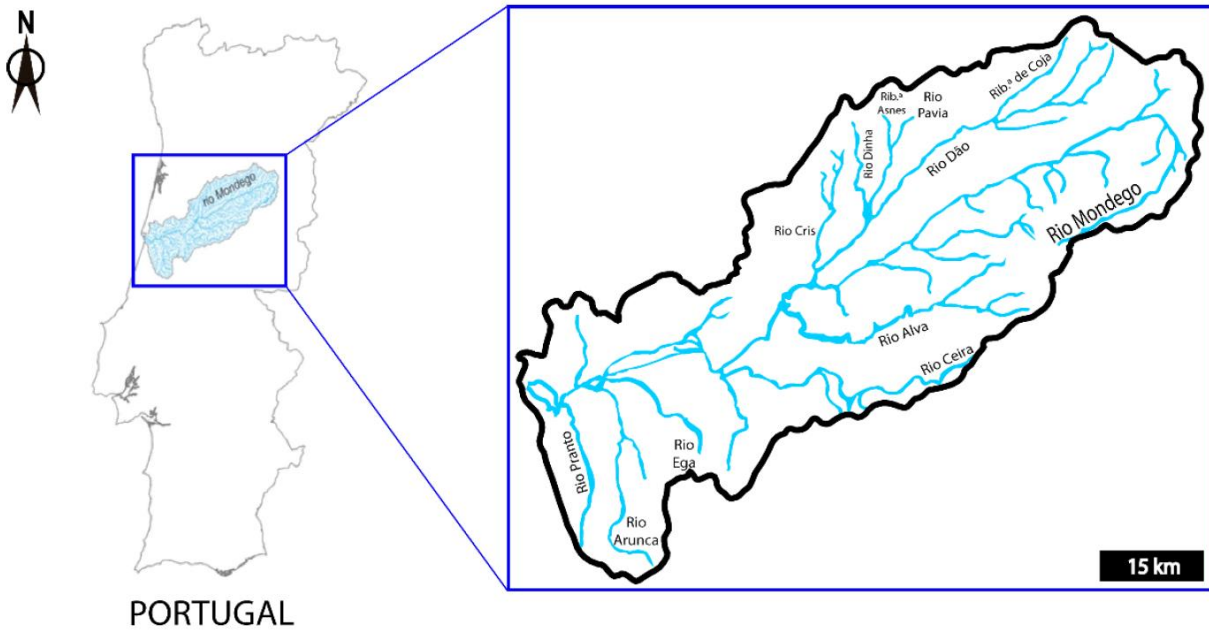


Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do rio Mondego em Portugal continental.

1.2.3. Enquadramento geológico

Desde a Serra da Estrela até cerca do meridiano de Coimbra, a bacia hidrográfica do Mondego desenvolve-se, praticamente em toda a extensão, pelo soco Varisco da Zona Centro-Ibérica, e para Oeste, até ao Oceano Atlântico, em terrenos de cobertura do Mesozóico e Cenozóico.

A montante de Coimbra destacam-se unidades metassedimentares pré-Câmbricas a Câmbricas. O Grupo das Beiras (antes designado de Complexo Xisto Grauváquico) está intruído por unidades magmáticas e é coberto em discordância angular por formações do Ordovícico-Silúrico (Soares et al., 2007). Estas unidades estão cobertas por sucessões sedimentares cenozóicas (e.g. Cunha, 1999, 2019)

A carta geológica 1/50 000 nº 19D (Coimbra; folha e respetiva notícia explicativa) (Soares et al., 1985, 1987) (fig. 3), caracteriza as unidades litostratigráficas da região, sumariadas nos seguintes parágrafos.

Em posições mais orientais observa-se a “Série Negra”, que é uma espessa sequência metasedimentar, composta por intercalações de filitos negros ou cinzentos escuros e metagrauvaques. Esta sequência do tipo turbidítica integra também massas de quartzo e intercalações raras de *cherts* negros e rochas carbonatadas

O Triássico está registado pelo Grupo de Silves e tem três formações (Soares et al., 1985):

- A Formação de Conraria, cobre em discordância as unidades ante-mesozoicas. É constituída por duas subunidades: uma na base caracterizada por arcoses e subarcoses grosseiras conglomeráticas imaturas; uma superior, composta por areno pelitos e pelitos laminados.
- A Formação de Castelo de Viegas, dispõe-se em descontinuidade sobre a Formação da Conraria. Inicia-se, por conglomerados por vezes muito grosseiros a grosseiros, compactos, que passam superiormente a arenitos e arenitos e areno-lutitos.
- A formação de Pereiros, é constituída da base para o topo, por dolomias grossas seguidas de grés, com corpos estratificados de arcose-arenitos médios a muito grosseiros, compactos submaduros a imaturos. No topo esta formação é composta por margas e dolomias, fazendo a transição entre o Triássico e o Jurássico Inferior.

O Jurássico está aqui representado nesta zona, pelo Grupo de Coimbra, estando presente, as formações de Coimbra, Vale das Fontes e São Gião.

- A Formação de Coimbra, constituída desde a base para o topo, por:
 - Camadas de Coimbra, constituídas por espessos corpos dolomíticos amarelos acastanhados, com estratificação e pseudo brechas.
 - Camadas de São Miguel, caracterizada por uma estratificação regular decamétrica, formada por calcários e calcários dolomíticos acinzentados ou acastanhados, estratificados com margas cinzentas.
- A Formação de Vale das Fontes é composta por margas cinzentas acastanhadas, alternadas com bancadas de calcário margoso cinzento, sendo particularmente rica em amonóides.
- A Formação de São Gião, é composta por calcários margosos acastanhados e acinzentados com a presença de amonoides.

O Cretácico, está presente neste setor através da Formação da Figueira da Foz, constituída por corpos detríticos espessos de arcosenitos a quartzarenitos grosseiros a muito grosseiros e, sobretudo na base, conglomerados ricos em clastos de quartzo e quartzito.

O Cenozóico, com particular representação do Pliocénico e Plistocénico, integra sobretudo sedimentos areno-cascalhentos. Do Holocénico, temos as aluviões do Mondego, compostos por depósitos arenosos, lutíticos e cascalhentos.

A área de estudo (fig. 3), apresenta:

- Na margem esquerda calcários, dolomíticos e dolomitos das Camadas de Coimbra. Também afloram as Formações de Pereiros, e de Castelo Viegas.
- Na margem direita podemos observar afloramentos de Areias Vermelhas do Estádio (Plistocénico) e de terraços, bem como arenitos da Formação de Castelo Viegas.

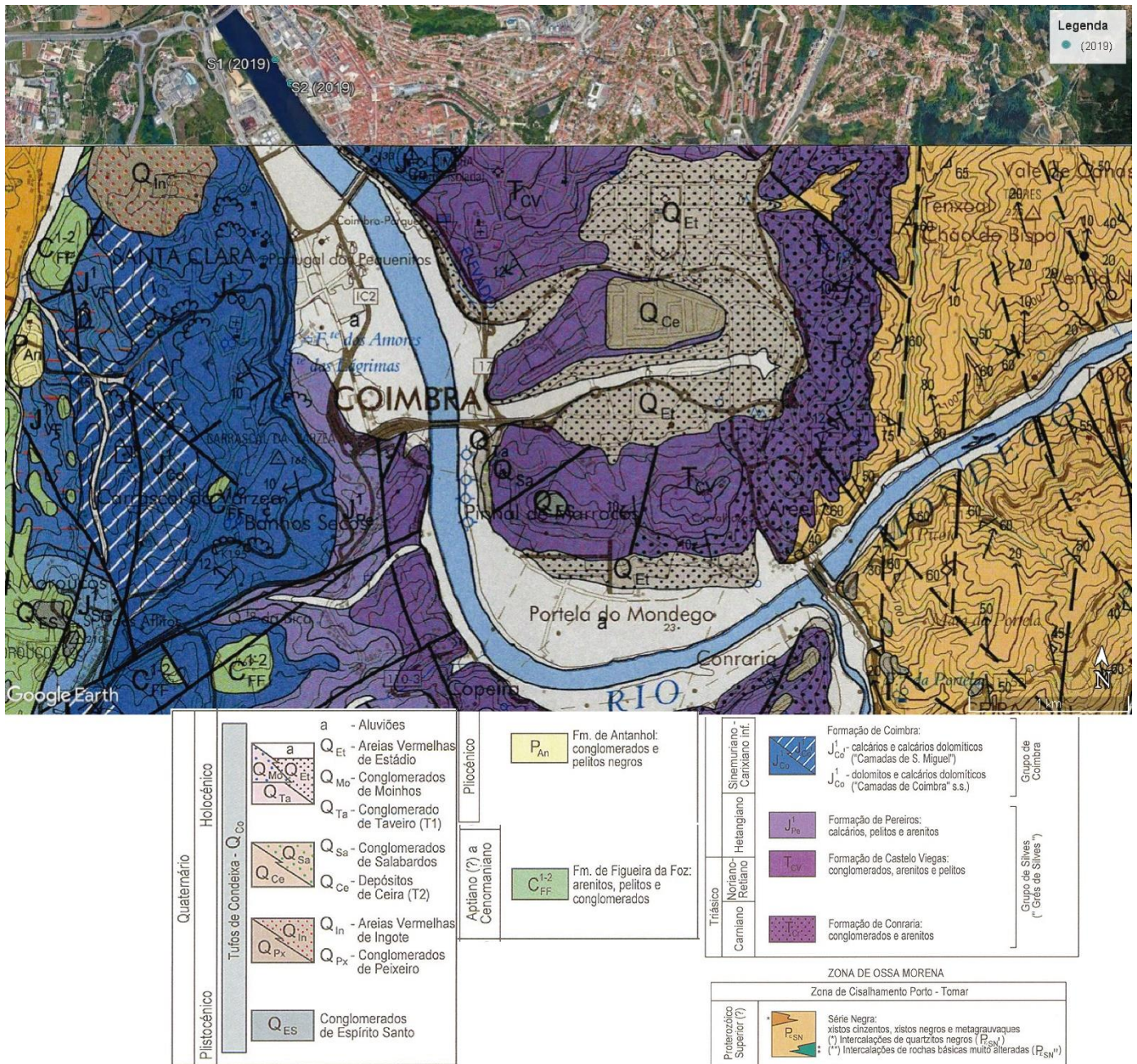


Figura 3 - Secção da carta geológica 19-D de 2005, mostrando a geologia na área de estudo.

1.3. Estudos prévios sobre a evolução e dinâmica sedimentar do rio Mondego, em Coimbra

Para além da relevância em se caracterizar a evolução morfo-sedimentar do rio Mondego no troço de Coimbra, é necessário conhecer as principais intervenções realizadas pelas civilizações que aqui habitaram, bem como as dificuldades passadas por estas, devido ao assoreamento do canal/canais e inundações das margens.

Até à chegada dos romanos ao território português, a fixação de populações em Coimbra “Aeminium”, como era chamada na época, era apenas estratégica, por motivos de defesa do território (Martins, 1940; Tavares 1999). Os romanos tinham a sua cidade na encosta da margem direita do Mondego, aglomerado populacional que até ao séc. XIV se manteve com a mesma estrutura geral (Alarcão, 2012: 18)

Segundo Alarcão (2012), apesar dos poucos registos, foram os romanos a realizar as primeiras intervenções no rio Mondego no troço de Coimbra, construindo uma ponte que ligava as duas margens.

Em 1131, D. Afonso Henriques, mandou realizar obras à ponte romana, aproveitando os seus pilares, passando a chamar-se ponte afonsina (fig. 4) (Alarcão 2012:18). Estas obras foram realizadas no ano em que começaram a construção da igreja de Santa Cruz (Gomes, 2007:115; Alarcão, 2008:157).

Nos séculos XII e XIII, o rio Mondego era navegável até Coimbra, existindo três portos, um dos quais chamado de Runa, correspondia ao Porto dos Oleiros no séc. XIX. Os três portos localizavam-se na margem direita do rio; dois deles ficariam na rua do Arnado e o terceiro provavelmente localizado onde, no séc. XIX, existiu o antigo Cais Velho (Alarcão 2012:21).

O desenvolvimento dos subúrbios da cidade na margem do rio (Alarcão, 1999) foi acompanhado com a construção do: (i) convento de Sant’ Ana, séc. XII, na margem direita; (ii) mosteiro de S. Domingos, no séc. III, na margem direita; (iii) convento de S. Francisco, no séc. XIII, na margem esquerda; (iv) convento de Santa Clara, no séc. XIV, na margem esquerda (ex. Tavares, 1999; Alarcão 2012:21). Estes conventos foram afetados pelas grandes cheias de: (i) 1285 (destruindo parte do convento de Sant’ Ana); (ii) 1287; (iii) 1331, que afetaram os conventos de S. Domingos e São Francisco.

Com o passar do tempo, a ponte sobre o Mondego foi sofrendo intervenções, começando no séc. XIV (reinado de D. Dinis) (Coelho, 1983: 406). Com as grandes

cheias que terão afetado a ponte no séc. XIV, D. Manuel mandou reconstruir a ponte em 1511, alterando-a acima do tabuleiro da ponte afonsina (Estevão Cabral 1791: 14). O nível do leito do rio subiu c. 0,50 m por século, até 1513 (Alarcão, 2012:105). Devido ao progressivo assoreamento, os arcos da pequena secção da ponte começaram a dificultar muito o escoamento de cheia, atuando como barragem.

No início do séc. XV, a desflorestação e arroteamento de terrenos na bacia hidrográfica, vieram a acentuar o assoreamento do rio.

A partir do séc. XVI registaram-se importantes cheias com inundações, que chegaram a inundar o mosteiro de Santa Clara. Com o contínuo assoreamento do rio, que fez o nível do leito aumentar 1,43 m entre 1513 e 1872 (Alarcão, 2012: 100-102), a ponte teve de sofrer constantes intervenções (Campos 1867; Carvalho 1943, 1945; Brito, 1947; Oliveira 1972, II: 10-12).

Em Coimbra, o contínuo assoreamento do rio Mondego, bem como as alterações da morfologia fluvial, sempre geraram grandes problemas às populações que habitaram as suas margens, tendo sido construído na margem direita, junto à cidade, um paredão (muro hidráulico), com a construção da ponte Manuelina (séc. XVI) (Alarcão, 2012: 69-70).



Figura 4 - Retrato da cidade de Coimbra. Podemos observar a antiga ponte e os portos que havia na margem direita. (Hoefnagel, 1566).

No início do séc. XVII, frequentemente a igreja de Santa Clara e a zona Arnado eram inundadas (Campos, 1867:20). Na zona do Arnado formavam-se lagos, tendo sido nessa época, realizados entulhamentos, com refugos das oficinas de oleiros (Alarcão, 2012:103).

É importante salientar as obras hidráulicas realizadas na rede de drenagem do Mondego efetuadas desde o séc. XVIII (de Celorico da Beira à Figueira da Foz) como o encanamento artificial do rio a jusante de Coimbra com o projeto do padre Estevão Cabral (Cabral, 1791).

Em 1873 a ponte manuelina foi demolida, depois de não ter resistido a séculos de danos causados pelo rio Mondego, esta foi substituída pela ponte de ferro projetada por Matias de Macedo (Simões 1888:12), tendo a ponte ficado concluída em 1875 (Campos, 1877: 27; Figueiredo, 1886: 83). Esta nova ponte tinha um comprimento menor, pois a ponte manuelina teve a sua secção soterrada na margem esquerda.

A ponte metálica também era afetada pelas cheias, como a de 30 de janeiro de 1948 (fig. 5), a maior cheia registada em Coimbra no séc. XX (Marques et al., 2005).

Com o progressivo assoreamento do leito, em 1954 a ponte metálica foi substituída pela atual ponte de Santa Clara (Arquivo Coimbrã, 12, 1954: 309-310).

As obras do Plano geral do aproveitamento hidráulico e regularização do leito do Mondego (1962) (ex. Lourenço et al., 2017) provocaram grandes alterações na morfodinâmica sedimentar do Mondego (ex. Dinis & Cunha, 1998).

Mais recentemente outras intervenções foram realizadas neste troço: o Açude-ponte, que teve o seu concurso lançado a 1974 e início de atividade em 1981; a ponte Rainha Santa Isabel, que teve a sua inauguração a 2004 bem como a ponte Pedonal, que teve a sua inauguração a 2006.

Em 1995, o canal do Mondego encontrava-se significativamente assoreado (Cunha, 2002). Em janeiro de 2001, uma grande cheia ocorreu no Mondego, tendo-se quase alcançado o limite de rotura das obras hidráulicas existentes a jusante (Cunha, 2002).



Figura 5 - Cheias de 1948. Podemos ver que o rio subiu até quase a altura do tabuleiro da ponte e a margem esquerda foi inundada.

Em 2018 realizou-se o desassoreamento do rio Mondego entre as pontes Rainha Santa Isabel e o Açude-ponte, totalizando um volume de 1,07 hm³. Em 2019, estão a realizar-se Obras de estabilização do muro da margem direita do rio, entre as pontes Santa Clara e o Açude-ponte.

Na zona da Boavista (Coimbra) os corpos aluvionares têm espessura na ordem dos 20 m, na zona da ponte Santa Clara têm c. 25-33 m e na zona do Açude-ponte chegam aos 50 m (Tavares, 1999).

As “Aluviões do Mondego” constituem um importante sistema aquífero, sustentando grande parte do abastecimento à região de Coimbra (Almeida et al., 2000). Esta unidade é resultante dos sedimentos que se acumularam devido à dinâmica fluvial, constituídos por corpos arenosos geralmente constituídos por areias grosseiras a médias, corpos cascalhentos com seixos e calhaus, corpos arenosos finos e siltes, podendo ser exclusivamente siltosos (Tavares, 1999; Mendonça & Dias, 1999). As aluviões formam aquíferos com elevadas permeabilidades intersticiais, sendo que esses aquíferos

facilitam a sua conexão à água do rio Mondego. Na zona da Boavista estas aluviões atingem espessuras de 22 metros caracterizados por espessos depósitos areias e areão, passando depósitos com mais de 30 metros de espessura no Largo da Portagem, estes caracterizados pelos espessos depósitos de areia grosseira (Tavares, 1999).

1.4. Caracterização do clima, eustatismo e tectónica durante o Plistocénico e Holocénico, em Portugal central

O clima tem um papel fundamental na geodinâmica externa (Tavares, 1999), sendo este um dos principais agentes da morfodinâmica do rio. Vivemos presentemente num período interglacial (fig. 7) o Holocénico. Este já foi considerado um período de clima estável (McManus et al., 1999). No entanto, estudos ao longo dos anos, mais detalhados e com a utilização de paleoproxies em sedimentos marinhos (Bianchi and McCave, 1999; Cacho et al., 2001; Frigola et al., 2007) núcleos de gelo (O'Brien et al., 1995), bem como análises de depósitos de poeiras (Jackson et al., 2005) revelam a ocorrência de uma variabilidade climática suborbital há escala milenar durante os 12 ka, como podemos observar na figura 7 (Bianchi and McCave, 1999; Bond et al., 1997, 2001; Cacho et al., 2001; Dokken and Jansen, 1999; Frigola et al., 2007; Lorenz et al., 2006; Sarnthein et al., 2003).

Como podemos observar na figura 7 tivemos várias flutuações na temperatura da superfície do oceano desde o início do Holocénico, desde os 12 ka até cerca dos 10.5 ka tivemos um período de grande arrefecimento chamado “Younger Days”, originando a descida dos oceanos, até -60m da cota atual (Fig. 6), provocando incisão dos rios nos continentes e promovendo a erosão dos vales. No baixo Tejo, sedimentos datados dessa área, correspondem a depósitos de canal (Vis et al., 2008).

Antes dos 10 ka temos um aumento de temperatura e conseqüente aumento do nível médio da água do mar (fig. 6), esse aumento do nível do mar a partir dos 9 ka originou um importante assoreamento dos estuários dos rios (Rodrigues et al., 2009) e conseqüentemente preenchendo os vales com depósitos aluvionares, de montante para jusante.



Figura 6 - Modelo de variação do nível médio da água do mar, na margem continental portuguesa, desde o último período glacial (Dias, 1985, 1987)

Há 8.2 ka existiu (fig. 6) um evento de arrefecimento detetado no Atlântico em sedimentos marinhos profundos por diferentes proxies climáticos. Este evento é normalmente atribuído à consequente desaceleração da formação de Águas Profundas no Atlântico Norte (Alley et al., 1997; Alley and Ágústsdóttir, 2005; Barber et al., 1999; Clark et al., 2002; Mayewski et al., 2004). A introdução de grandes quantidades de água doce, com origem na drenagem dos lagos glaciares Ahassiz-Objibway, na baía do Hudson no Atlântico Norte originou uma importante diminuição da temperatura da superfície do oceano (Alley et al., 1997; Clark et al., 2001; Kleiven et al., 2008). Essa grande introdução de água doce, foi causada pelas elevadas temperaturas, as quais foram registadas em sedimentos marinhos na margem ocidental da península ibérica entre os 10 ka e os 8.2 ka, havendo registos em terra de uma área de floresta de pinhal

ao longo do litoral (Queiroz, 1999) e a existência de carvalhos em altitudes elevadas, na Serra da Estrala (Van der Knaap & Van Leeuwen, 1985).

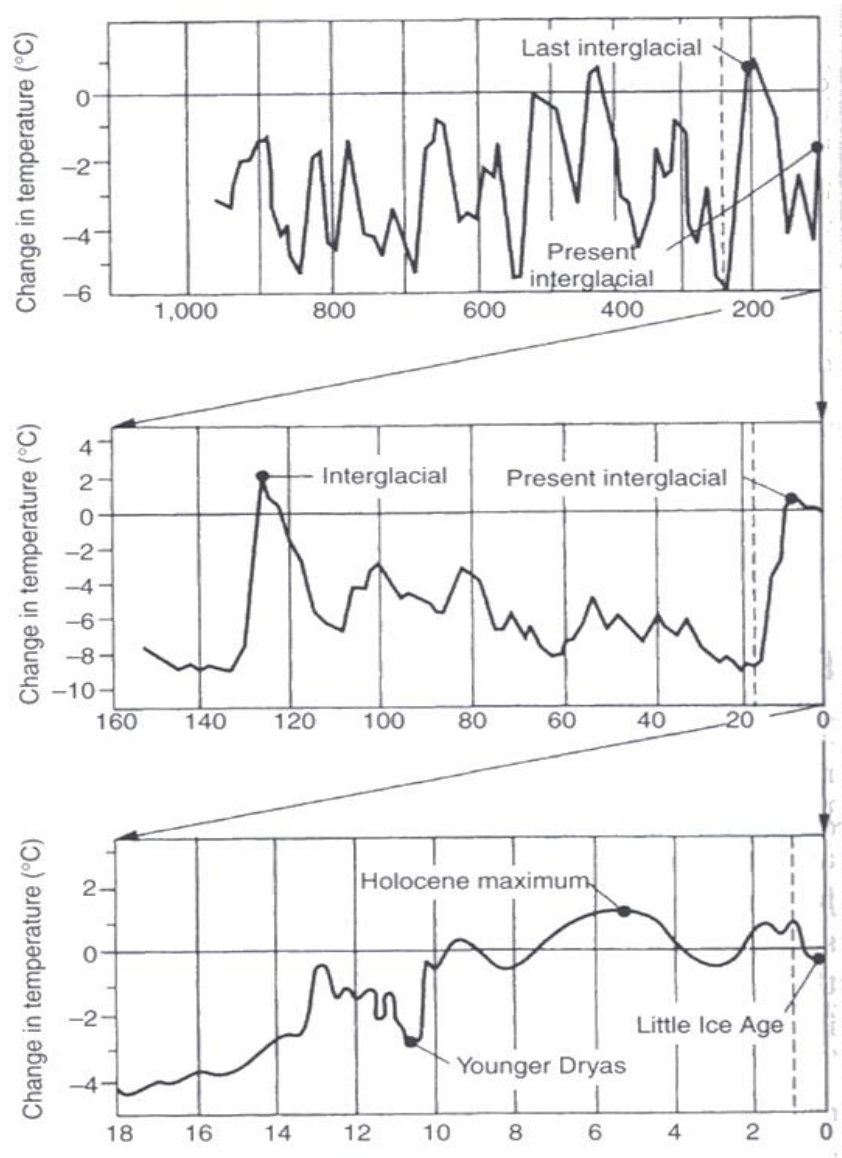


Figura 7 - Variação da temperatura durante o Plistocénico e Holocénico, indicando as fases de gelo e degelo (modificado de Sierget, 2001)

Após o evento de arrefecimento dos 8.2 ka, ocorreu um período de aquecimento, designado como o máximo holocénico (fig. 7), fazendo o nível do mar aumentar, seguido de período de ligeiro arrefecimento. Durante os últimos 2 ka, tivemos um período quente romano e o Período Quente Medieval seguido da Pequena Idade do Gelo, após este

último evento temos vindo a registar até aos dias de hoje um aumento de temperatura, com pequenas variações.

Durante o Plistocénico e Holocénico, Portugal continental tem tido um progressivo soerguimento tectónico. A estimativa do soerguimento regional e diferencial tem sido feito usando os registos do Pliocénico e Plistocénico como referências geomórficas (Cunha, 2018). Para o caso do Baixo Tejo esses estudos permitiram determinar que para os últimos c. 155 ka as taxas de incisão de curto-termo apresentam valores (0,09 a 0,41 m/ka), aproximadamente, duplos dos calculados para o intervalo c. 155 a 900 ka (0,04 a 0,28 m/ka), traduzindo uma intensificação da compressão intraplaca e contribuindo para os episódios de escavamento fluvial (etapa de incisão), só contrariados por períodos de alto nível do mar (controlo eustático) e decréscimo da competência fluvial (controlo climático) (Cunha et al., 2016). Na região que enquadra a área de estudo, o principal sistema de falhas ativas é o associado à zona de falha Verín-Penacova, com orientação geral NNE-SSW (Cabral, 1995; Sequeira et al., 1997). Na área urbana de Coimbra várias foram as falhas identificadas a afetar o Cenozóico, muitas delas consideradas ativas (ex. Tavares, 1999; Soares et al., 2005, 2007).

1.5. Metodologias

1.5.1. Metodologias de campo

No âmbito das “Obras de estabilização da Margem direita do rio Mondego, entre a Ponte de Santa Clara e a Ponte Açude (fig. 8) a empresa Opway Engenharia encomendou a execução de duas sondagens geológicas, a primeira realizada durante os dias 23 e 24 de janeiro de 2019, com o código 2019S11 (fig.11) e a segunda no dia 28 de janeiro de 2019, com o código 2019S2 (fig.12). Ambas as sondagens foram realizadas por rotação e injeção de água, com recolha de sedimentos (manga PVC com 11 cm de diâmetro).



Figura 8 - Localização das sondagens 2019S1 e 2019S2. (adaptado de imagem Google earth).

A primeira sondagem, foi realizada sem o nosso acompanhamento por não se ter feito a comunicação da sua realização.

A realização da segunda sondagem (fig. 9) foi nos comunicada, quando já estava a decorrer, tendo apenas sido possível acompanhar os últimos 3 m de sondagem (12, 00 m aos 15, 00 m). Importante referir que ela foi realizada com injeção de água a alta pressão, apesar do solo estar saturado em água e do nível freático estar elevado, devido às condições meteorológicas. Esta água poderá ter removido parte da fração granulométrica mais fina. Na figura 10 observa-se água com sedimentos finos a sair do buraco da sondagem durante perfuração. Verificamos também que a força da água era capaz de trazer consigo areia, que se depositava logo no topo do furo.



Figura 9 - Execução final da sondagem 2019S2, a 28 de janeiro de 2019
(Foto: Pedro P. Cunha)



Figura 10 - Pormenor da execução da sondagem 2019S2, a 28 de janeiro de 2019 (Foto: Pedro P. Cunha).

Parte do material que saiu foi recolhido em compartimentos de caixa amostradora, para além do material foi recolhido diretamente para os tubos PVC selados, que foram posteriormente abertos e seu material colocado na caixa de amostragem (fig. 11 e 12),

nos intervalos correspondentes à sua profundidade. No total foram colhidas 13 amostras, quatro na sondagem 2019S1 (Tabela 1) e nove amostras da sondagem 2019S2 (Tabela 2), para caracterização sedimentológica laboratorial.



Figura 11 - Total de material recolhido na sondagem 2019S1.



Figura 12 - Total de material recolhido na sondagem 2019S2.

Tabela 1 - Amostras da Sondagem 2019S1

Profundidade (m)	2019S1
1,50 - 3,00	S1.C2
3,00 - 4,50	S1.C3
7,50 - 9,00	S1.C6
9,00 - 10,50	S1.C7

Tabela 2 - Amostras da Sondagem 2019S2

Profundidade (m)	Sondagem 2 (Caixa)	
1,50 - 3,00	S2.C2	
3,00 - 4,00	S2.C3	
6,30 - 7,50	S2.C7	
10,50 - 12,00	S2.C10	
12,00 - 13,50	S2.C11	S2.1 e S2.2
13,50 - 15,00	S2.C12	S2.T12

As amostras S2.1 e S2.2 foram colhidas no campo, durante a realização da sondagem, já a amostra S2.T12, foi retirada num dos tubos aberto num espaço sem luz, de modo a seleccionar material para datação por luminescência (OSL), tendo apenas sido colhida esta amostra para esse fim por todos os outros tubos PVC não apresentarem material arenoso.

A primeira etapa do trabalho realizado, já na Litoteca do DCT-UC, consistiu, essencialmente, numa descrição e interpretação do material recolhido nas duas sondagens e na recolha de amostras de ambas as sondagens para análises laboratoriais (texturais e composicionais).

1.5.2. Metodologias de Laboratório

Os trabalhos de laboratório foram realizados no Laboratório de Sedimentologia (LabSed) e em alguns outros laboratórios do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra (DCT-FCTUC), como a preparação de amostras e a DRX. No LabSed foram realizadas: (i) análises granulométricas, com recurso a crivagem numa coluna com incremento de $\frac{1}{2} \Phi$, complementada por difração laser; (ii) DRX de lâminas sedimento $<2 \mu\text{m}$ para identificação de minerais de argila; (iii) DRX de amostras total, para identificação de minerais.

Granulometrias

Uma vez que as amostras apresentavam quantidades muito variáveis de partículas silto-argilosas e de cascalho, a granulometria foi tratada de duas formas diferentes.

As amostras areno- cascalhentas (S1.C2, S1.C7, S2.C10, S2.C11 e S2.C12), foram inicialmente colocadas a secar a 40° C na estufa. Depois de secas, foram pesadas e realizou-se crivagem a $\frac{1}{2} \Phi$, de modo a obter as suas granulometrias (fig.13).



Figura 13 - Coluna de crivos.

As amostras com quantidade significativa de material silto-argiloso (S1.C3, S2.C2 e S2.2), foram inicialmente secas. Depois da passagem em um crivo de 2 mm, para certificar que não havia material >2 mm foram colocadas no granulómetro laser LS 230 (fig. 14). Cada amostra foi analisada três vezes para garantir uma melhor representatividade dos dados obtidos.

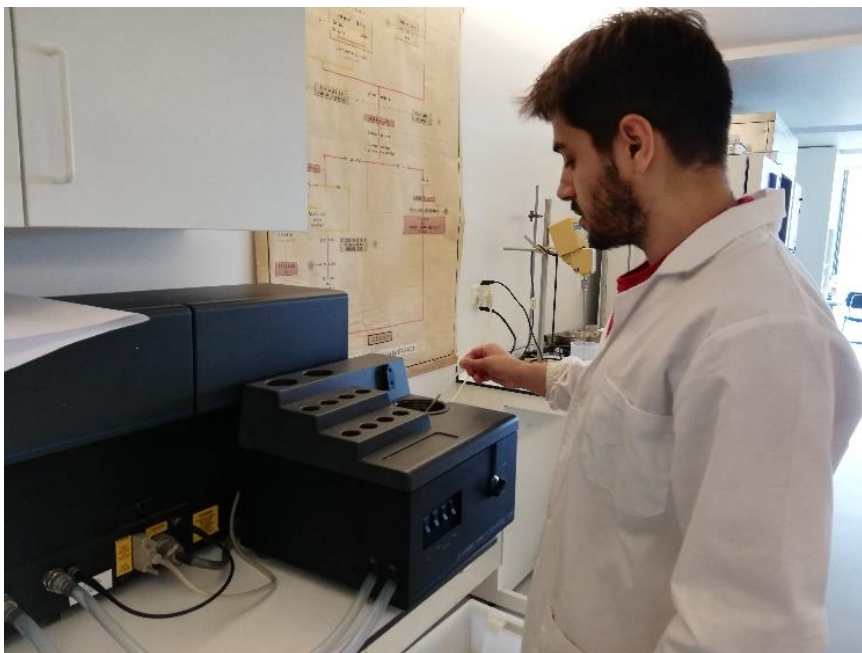


Figura 14 - Análise de amostra no granulometro LS-Coutler 230.

Lâminas sedimentadas <2 μm

Foram obtidas lâminas sedimentadas (fig.15) para as amostras S1.C3, S2.C2 e S2.1 e S2.2. Os sedimentos passaram por via húmida e deixados a agitar, em agitadores mecânicos (fig.16), de modo a dispersar os grãos.

- Nos casos de floculação da amostra, foi medida o pH, e adicionada amónia diluída (NH_3) até a suspensão aproximar-se de um pH de 7 (neutro).
- Após atingida a boa suspensão, foi realizada uma separação do material <2 μm por centrifugação a 2 minutos e 30 segundos a 1 000 rpm.
- Parte do material suspenso (<2 μm) foi despejado em um copo devidamente etiquetado, o sedimento encostado às paredes do tubo, com material mais grosseiro, foi descartado.
- A fração argilosa assim separada foi posteriormente concentrada por centrifugação (10 minutos a 10 000 rpm).
- Após obter a concentração, recorreu-se a uma pipeta para deixar a fração argilosa sedimentar numa lâmina devidamente identificada.



Figura 15 - Pipetagem de amostra para lamina, para realização de lâmina sedimentada.



Figura 16 - Amostra a serem em agitadores mecânicos.

1.5.3. Trabalho de gabinete

Os trabalhos de gabinete incluíram pesquisa bibliográfica, tratamento dos dados laboratoriais e realização de colunas estratigráficas das sondagens.

Os dados laboratoriais foram tratados em folhas de cálculo com o software Microsoft Excel, de modo a calcular as proporções minerais (em amostra total e na fração argilosa), as percentagens de cada fração granulométrica e obter a distribuição granulométricas.

Por último com, base na descrição detalhada de cada sondagem, foram desenhadas as colunas litostratigráficas das sondagens 2019S1 e 2019S2, bem como as sondagens realizadas em estudos anterior, bem como feita a respetiva correlação.

2.Resultados

2.1. Descrição detalhada das duas sondagens realizadas em 2019

2.1.1. Descrição da sondagem 2019S2

A Sondagem 2019S1, realizada a partir dos 20,47 m de altitude até à profundidade de 15 m, com recolha de amostra a cada 1,5 m de profundidade apresenta:

- Dos 0,00 m aos 0,10 m (fig.17), observa-se o asfalto de estrada.
- Dos 0,10 cm aos 1,50 m, existe gravilha de enchimento de rua, composta por clastos calcário margoso.



Figura 17 - Intervalo entre os 0,00 m e o 1,50 m.

- Dos 1,50 m aos 3,00 m (fig. 18), existe uma areia grosseira. A areia apresenta uma coloração clara, tendo na sua composição quartzo, feldspato, micas e fragmentos líticos.



Figura 18 - Intervalo 1,50 m aos 3,00 m.

- Dos 3,00 m aos 4,50 m (fig. 19) uma cascalheira (fig. 20) de enchimento de rua, composta por seixos de dolomia, clacário dolomítico e quartzo leitoso. De seguida há uma areia muito grosseira com clastos de dolomia (fig. 21).



Figura 19 - Intervalo dos 3,00 m aos 4,50 m. As Amostras nos sacos, são o material colhido nos tubos.



Figura 20 - Cascalheira encontrada no intervalo dos 3,00 m aos 4,50 m.



Figura 21 - Areia muito grosseira com clastos de dolomia do intervalo dos 3,00 m aos 4,50 m.

- Na base deste intervalo, temos uma argila cinzenta (fig. 22). Junto com o material fino, existem alguns seixos subrolados de quartzo, dolomia e filádio.



Figura 22 - Argila cinzenta presente na base do intervalo dos 3,00 m aos 4,50 m.

- Dos 4,50 m aos 6,00 m (fig. 23), no topo há a presença de seixos de filitos, calcite, calcário dolomítico, quartzito e quartzo. Após os seixos observados, temos a restante profundidade preenchida com pedra aparelhada de calcário dolomítico sem argamassa (fig. 24):



Figura 23 - Seixos presentes no intervalo dos 4,50 m aos 6,00 m.



Figura 24 - Material presente no intervalo entre os 4,50 m e os 6,00 m. Tarolos, incluindo o dentro do saco, pertencem às amostras colhidas nos tubos.

- Dos 6,00 m aos 7,50 m (fig. 25), há semelhança do que encontramos no intervalo anterior, encontramos apenas pedra aparelhada sem argamassa.



Figura 25 - Intervalo dos 6,00 m aos 7,50 m de profundidade

- Dos 7,50 m aos 9,00 m (fig. 26), observa-se uma cascalheira composta por clastos de quartzo, feldspato, quartzito e filádio. Na cascalheira foram encontrados fragmentos de cerâmica, malcozida e sem torno (fig. 26 e 27). Alguns dos fragmentos apresentam vidroado castanho (fig. 28). A base é composta por um arenito argiloso, bege claro com seixos e fragmentos de cerâmica (fig. 29).



Figura 26 - Intervalo 7,50 m e os 9,00 m da sondagem S1. Podemos observar a cascalheira e cerâmicas. que compõem a amostra.



Figura 27 - Fragmento de cerâmica da cascalheira do intervalo dos 7,50 m aos 9,00 m da sondagem 2019S1.



Figura 28 - Fragmentos de cerâmica vidrada da cascalheira do intervalo dos 7,50 m aos 9,00 m da sondagem 2019S1.



Figura 29 - Arenito argiloso da base do intervalo entre os 7,50 e os 9,00 m, da sondagem 2019S1.

- Dos 9,00 m aos 10,50 m (fig. 30), apenas foi encontrada areia muito grosseira com cor castanha clara, tendo na sua composição quartzo, feldspato, micas e fragmentos líticos. Ocorrem pequenos fragmentos de cerâmica (fig. 31), com a mesma granulometria dos sedimentos.



Figura 30 - Intervalo dos 9,00 m aos 10,50 m de profundidade.



Figura 31 - Fragmentos de cerâmica encontrados no intervalo dos 9,00 m aos 10,50 m.

- Dos 10,50 m aos 12,00 m (fig. 32), observa-se uma cascalheira de clastos de quartzito, quartzo e feldspato (subrolados), bem como xisto e metagrauvaque.



Figura 32 - Intervalo dos 10,50 m aos 12,00 m.

- Dos 12,00 m aos 13,50 m (fig. 33), existe uma cascalheira com clastos subrolados de quartzito, quartzo branco, feldspato, e clastos de xisto e metagrauvaque. Existem também fragmentos de cerâmica (fig. 34).



Figura 33 - Intervalo dos 12,00 m aos 13,50 m.



Figura 34 - Fragmentos de cerâmica encontrados no intervalo dos 12,00 m aos 13,50 m.

- Dos 13,50 m aos 15,00 m (fig. 35), existe uma cascalheira semelhante à do nível anterior. Sem recuperação de matriz.



Figura 35 - Intervalo dos 13,50 m aos 15,00 m.

2.1.2. Descrição da sondagem 2019S2

A Sondagem 2019S2, realizada da cota de 21,61 m até 15,00 m, com recolha de amostragem a cada 1,50 m de profundidade, apresenta:

- Dos 0,00 m aos 0,10 m existe asfalto de estrada (fig. 36).
- Dos 0,10 m aos 1,00 m de profundidade, existe gravilha de enchimento de rua, com uma composição de calcário margoso.
- De 1,00 m a 1,50 m, existe areia grosseira com cor castanha cara, constituída por quartzo, feldspato e fragmentos líticos.



Figura 36 - Intervalo dos 0,00 m ao 1,50 m.

- Dos 1,50 m aos 3,00 m (fig. 37), no topo, temos uma cascalheira, composta por seixos de dolomia, calcário margoso, feldspato, quartzito e filitos. Contém também, fragmentos de cerâmica (fig. 38), incluindo faiança Ratinha do séc. XIX (fig. 39). Foi ainda encontrado um fragmento de vidro antigo (fig. 41). De seguida há uma areia argilosa negra, orgânica (terra), com cerâmicas e seixos rolados. A base deste intervalo, é composta por uma argila arenosa cinzenta, com seixos subrolados de quartzo e dolomia (fig. 40)



Figura 37 - Intervalo entre os 1,50 m e os 3,00 m.

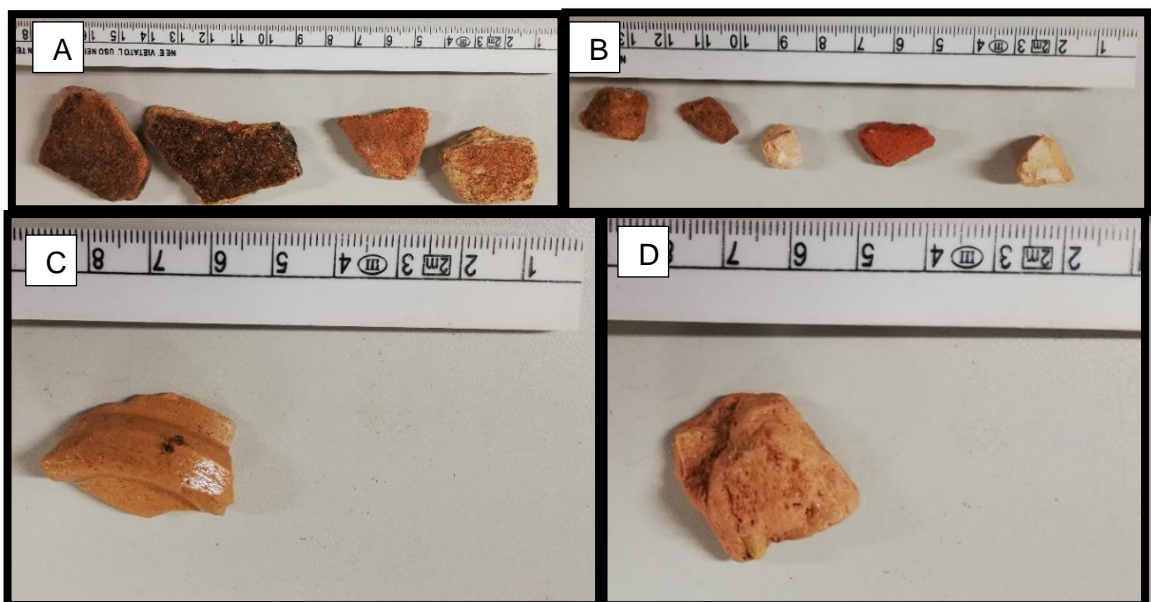


Figura 38 - As figuras A, B, C e D são fragmentos de cerâmica encontrados no material retirado do tubo, entre os 1,50 m e os 3,00 m.

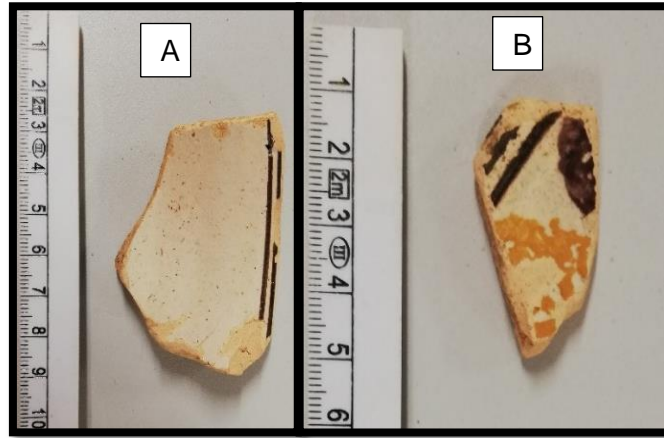


Figura 39 - As figuras A e B, são fragmentos de cerâmica, nomeadamente faiança Ratinha, do séc. XIX.



Figura 40 - Base do intervalo dos 1,50 m aos 3,00 m.



Figura 41 - Fragmento de vidro antigo.

- Intervalo dos 3,00 m aos 4,00 m (fig. 42), existe no topo uma cascalheira composta por seixos de calcário dolomítico, quartzito e quartzo branco. Abaixo do nível de seixos, existem clastos de calcário dolomítico, ligados por uma argamassa arenosa hidráulica. A argamassa contém fragmentos de cerâmica.



Figura 42 - Intervalo dos 3,00 m aos 4,00 m.

- Dos 4,00 m aos 5,00 m (fig. 43), existe continuação do nível estratigráfico anterior, com calcário dolomítico, mas sem argamassa.



Figura 43 - Intervalo dos 4,00m aos 5,50m.

- Dos 5,50 m aos 6,00 m (fig. 44), é a continuação do intervalo anterior, com mais clastos de calcário dolomítico, ligados por argamassa hidráulica. Neste intervalo também foi retirada amostra diretamente do amostrador para um tubo. Este intervalo tem material na caixa de amostragem.



Figura 44 - intervalo dos 5,50 m aos 6,00 m.

- Dos 6,00 m aos 6,30 m (Fig.45), encontramos fragmentos de calcário dolomítico, ligados por argamassa arenosa de cal hidráulica.



Figura 45 - Intervalo dos 6,00 m aos 6,30 m.

- Dos 6,30 m aos 7,50 m (fig. 46), no topo há clastos de calcário dolomítico ligados por argamassas arenosas hidráulicas, por baixo destes, existem fragmentos de dolomia amarela alaranjada. Na base, temos a presença de areias grosseiras.



Figura 46 - Intervalo dos 6,30 m aos 7,50 m.

- Dos 7,50 m aos 9,00 m (fig. 47), também existe pedra aparelhada, mas sem argamassa.



Figura 47 - Intervalo dos 7,50 m aos 9,00 m.

- Dos 9,00 m aos 10,50 m, também existe pedra aparelhada e fragmentos de cerâmica (fig.48).



Figura 48 - Intervalo dos 9,00 m aos 10,50 m.

- Dos 10,50 m aos 12,00 m (fig. 49), observam-se areias grosseiras com cor amarela acastanhada, tendo na sua composição quartzo, feldspato, micas e fragmentos líticos.



Figura 49- Intervalo dos 10,50 m aos 12,00 m.

- Dos 12,00 m aos 13,50 m, encontrou-se no topo deste intervalo um clasto de quartzo branco com 8 cm de eixo maior. No restante intervalo observa-se uma areia muito grosseira de cor amarela acastanhada, tendo na sua composição quartzo, feldspato, micas e fragmentos líticos (fig. 50).



Figura 50 - Intervalo dos 12,00 m aos 13,50 m.

- Dos 13,50 m aos 15,00 m, em todo o intervalo apenas observaram-se areias médias, de cor amarela clara (fig. 51).



Figura 51 - Intervalo dos 13,50 m aos 15,00 m.

2.2. Granulometria dos sedimentos

2.2.1. Granulometria dos sedimentos argilo-arenosos

Com base nas amostras analisadas pelo granulómetro laser, podemos verificar que a amostra S1.C3 (fig. 52) apresenta uma média granulométrica de 103,5 μm (areia fina). A amostra apresenta um desvio padrão de 8,4 (extremamente mal calibrada) e uma assimetria muito negativa (-0,5). A amostra é constituída por 10,38% de argila, 32,7% de silte e 56,9% de areia; apresenta distribuição bimodal, com uma moda entre os 11 e 35 μm e outra entre os 88 e 700 μm , sendo esta última a mais relevante.

A amostra S2.C2 (fig. 53), tem uma média granulométrica de 63,5 μm , estando no limite entre o silte grosseiro e a areia muito fina sendo extremamente mal calibrada (desvio padrão de 8,1), com uma assimetria muito negativa (- 4,4). Consiste em 12,5% de argila, 34,5% de silte e 53,21% de areia, tendo uma curva de distribuição granulométrica bimodal com modas entre 7,8 e os 63 μm e outra entre 177 e os 710 μm .

Ao contrário das anteriores a amostra S2.2 (fig. 54), que corresponde a profundidade dos 12,00 m aos 13,50 m da sondagem 2019S2. Este depósito corresponde uma areia média (média de 245,5 μm), muito mal calibrada (desvio padrão de 2,74), assimetria muito negativa de (-2,49). Apresentando 1,4% de argila, 5,1% de silte e 93,5% de areia. O gráfico de distribuição granulométrica apresenta uma distribuição unimodal com moda entre os 100 e os 1000 μm .

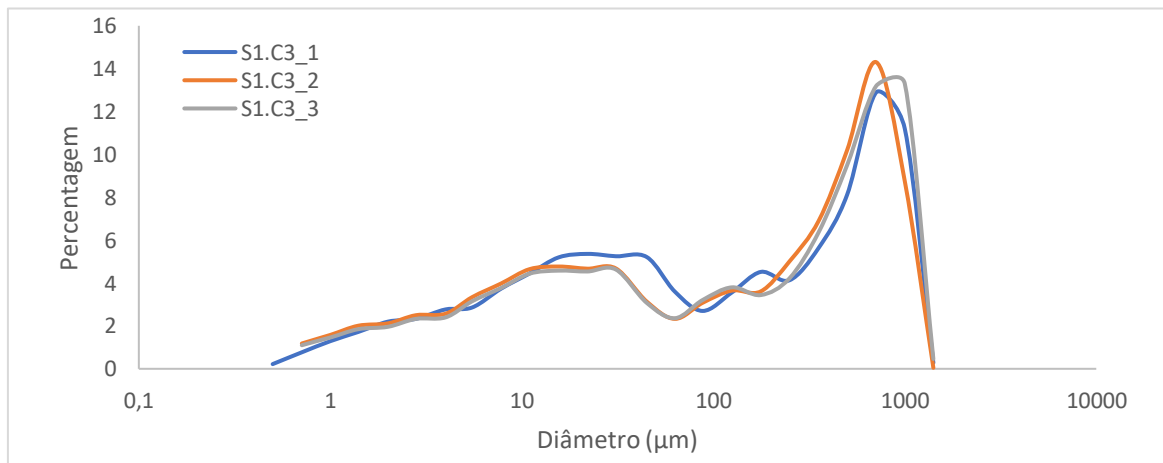


Figura 52 - Gráfico representando a curva granulométrica (de frequência) da amostra S1.C3.

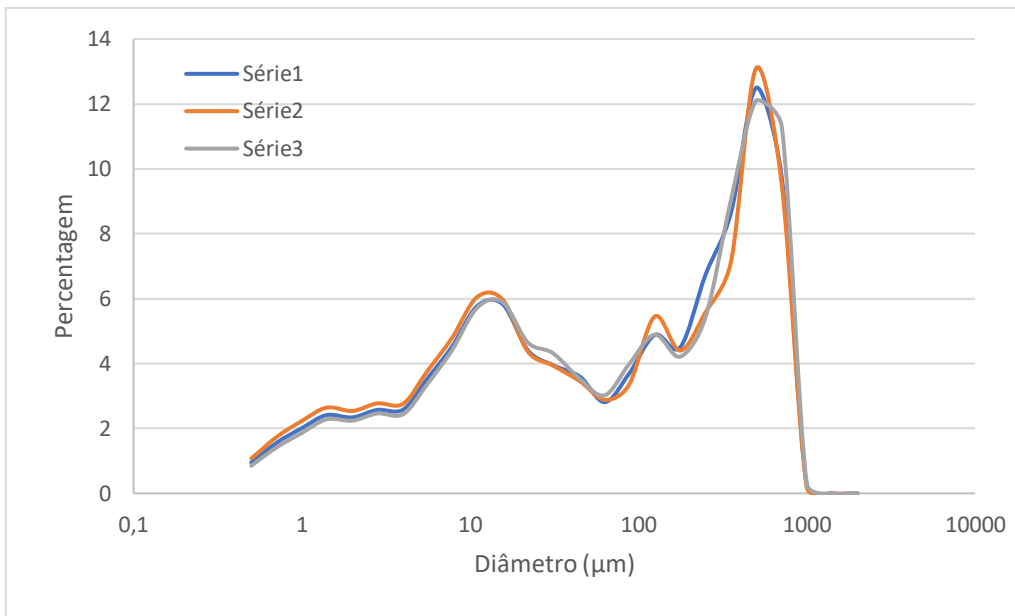


Figura 53 - Gráfico representando a curva granulométrica da amostra S2.C2.

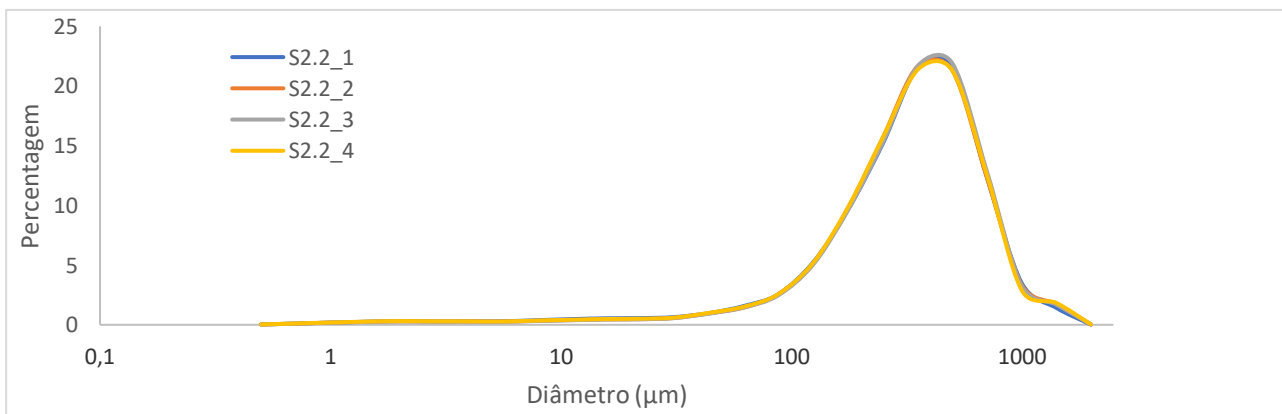


Figura 54 - Curva granulométrica da amostra S2.2.

2.2.2. Granulometria dos sedimentos arenosos

Na sondagem 2019S1 temos:

- A amostra S1.C2, é um depósito de areia muito grosseira, sendo composta por 87,9% de areia (Tabela 3), tendo sua curva de distribuição granulométrica (fig. 55) apenas uma moda, entre os 500 e os 2000 μm (Tabela 4), dentro da fração da areia.
- Semelhante á amostra anterior, na amostra S1.C7 é um depósito de areias grosseiras, na sua composição podemos verificar que esta é constituída por 97,7% de areia (Tabela 3), tem uma curva de distribuição granulométrica (fig. 56) unimodal, com moda entre os 250 e os 1000 μm (tabela 4).

Na sondagem 2019S2:

- A amostra S2.C10, corresponde a um depósito de areias grosseiras, com 98,5% de areia na sua composição (tabela 3), unimodal (fig. 57), apresentado uma moda na sua curva de distribuição granulométrica entre os 250 e os 1400 μm (tabela 4).
- Na amostra S2.C11, é um depósito de areia grosseira a muito grosseira constituída por 99,3 % de areia (tabela 3), com apenas uma moda (fig. 58) entre os 355 e os 1400 μm (Tabela 4).
- Ao contrário das outras amostras na S2.C12, temos um depósito de areia média constituída por 98,8 % de areia (tabela 3), unimodal (fig. 59) com a moda entre os 125 e os 500 μm (Tabela 4).

As curvas de distribuição bimodais indicam que os solos foram remexidos, havendo uma mistura de populações granulométricas diferentes.

Tabela 3 – Percentagem total das granulometrias nas fracção silto-argilosa, arenosa e cascalhenta.

Amostra	Percentagens				
	Sondagem 1		Sondagem 2		
	S1.C2	C1.C7	S2.C10	S2.C11	S2.C12
<63 μm)	0,3	1,5	0,5	0,2	1,1
63 μm - 2mm	87,9	97,7	98,5	99,3	98,8
>2mm	11,8	0,8	1,0	0,5	0,1
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabela 4 - Percentagens das granulometrias das amostras analisadas por crivagem.

	S1.C2 %	S1.C7 %	S2.C10 %	S2.C11 %	S2.C12 %
4000 μm	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
2800 μm	2,0	0,1	0,2	0,0	0,0
2000 μm	9,8	0,6	0,7	0,5	0,0
1400 μm	21,9	4,1	3,2	12,0	0,1
1000 μm	24,6	13,7	19,3	33,6	0,5
710 μm	19,8	17,5	28,5	27,6	1,6
500 μm	11,7	19,8	23,1	14,1	7,1
355 μm	5,3	17,6	10,5	5,9	24,1
250 μm	2,5	13,3	6,8	2,6	33,7
180 μm	1,1	6,8	3,7	1,3	19,7
125 μm	0,6	3,1	2,1	1,1	8,8
90 μm	0,2	1,1	0,8	0,6	2,1
63 μm	0,2	0,8	0,4	0,5	1,1
Base (<63 μm)	0,3	1,5	0,5	0,2	1,1
Total	100	100	100,0	100,0	100,0

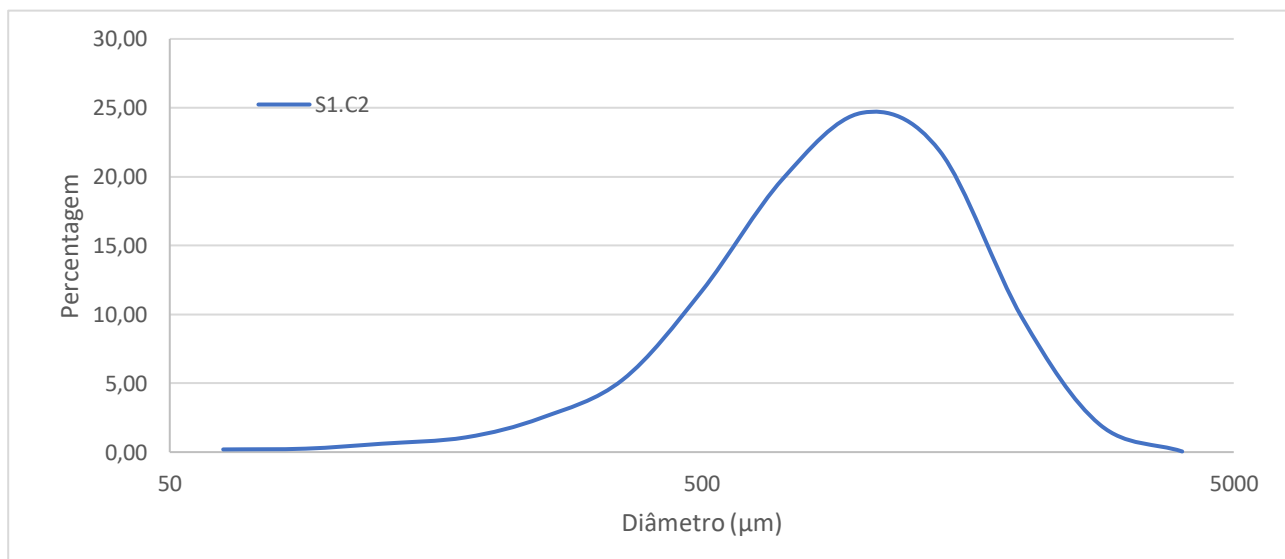


Figura 55 - Gráfico representando a curva de distribuição granulométrica da amostra S1.C2.

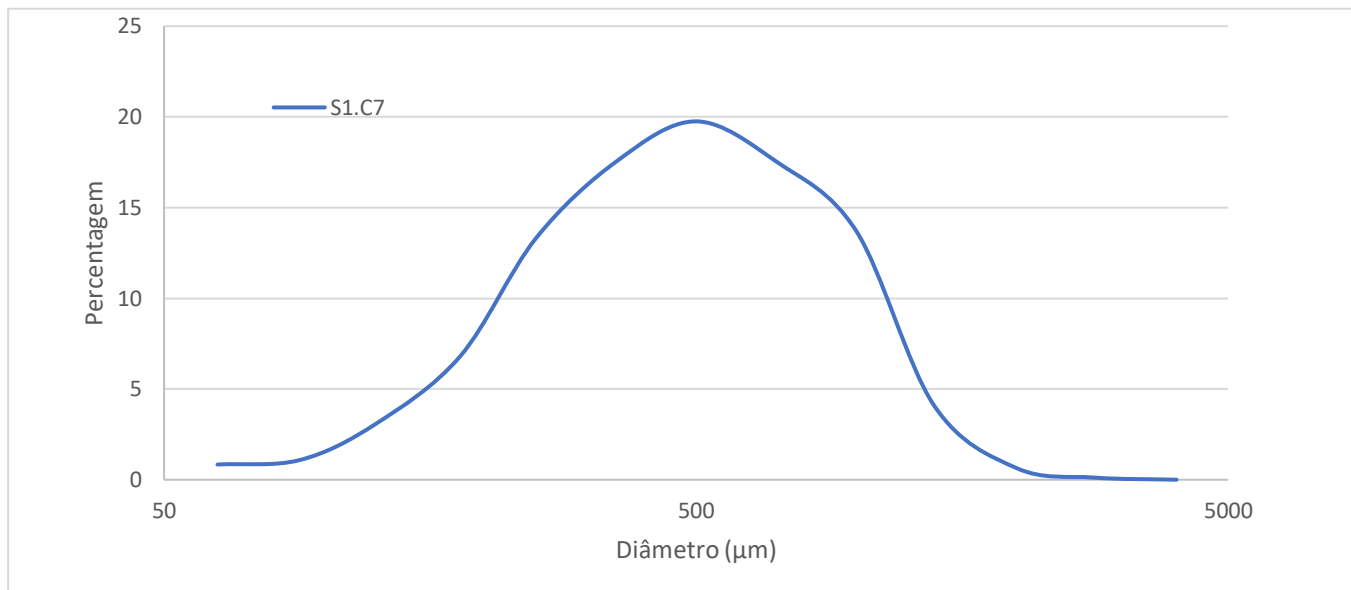


Figura 56 - Curva de distribuição granulométrica da amostra S1.C7.

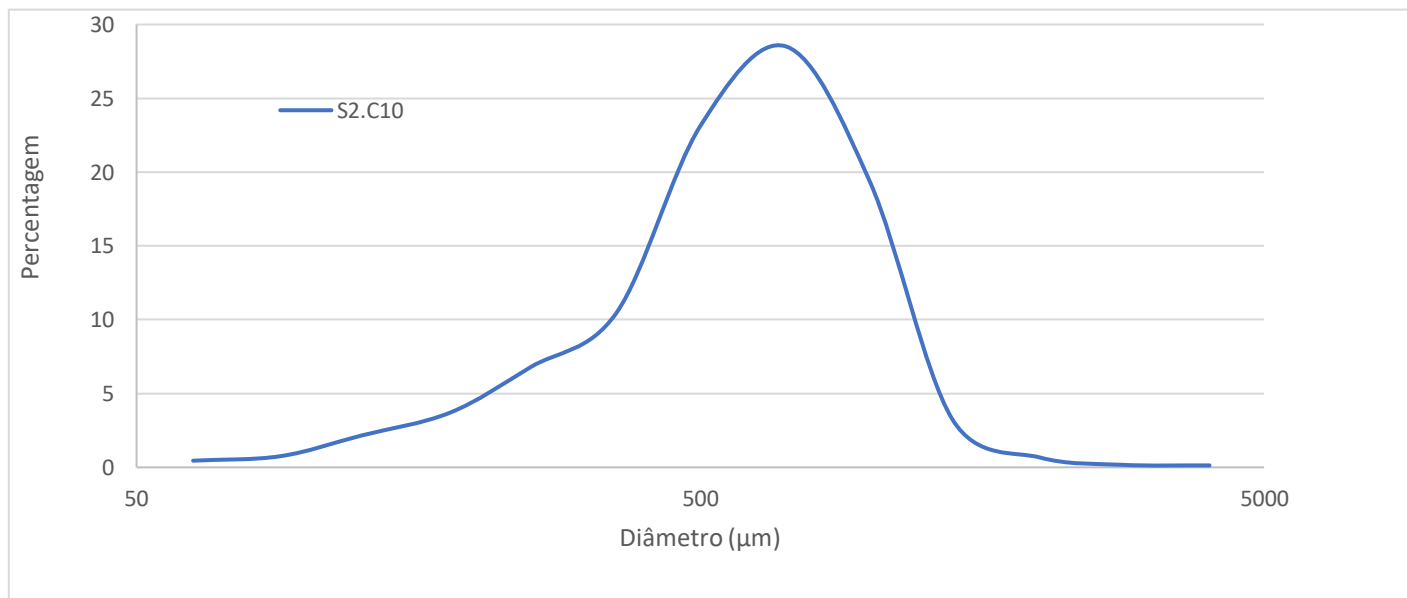


Figura 57 - Curva de distribuição granulométrica da amostra S2.C10.

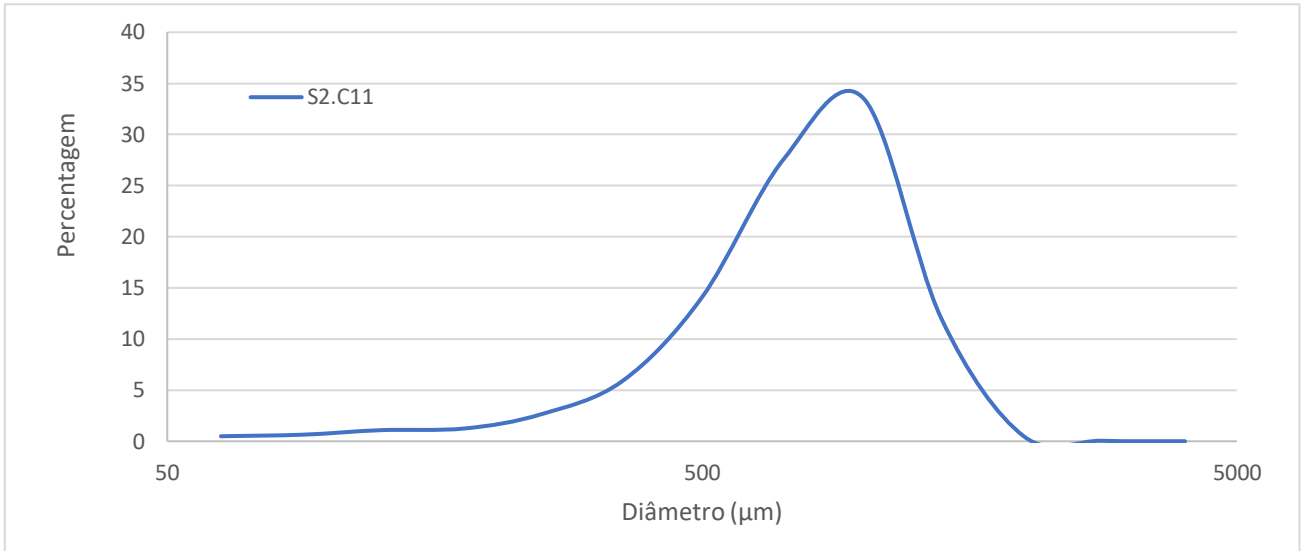


Figura 58 - Gráfico representando a curva de distribuição granulométrica da amostra S2.C11.

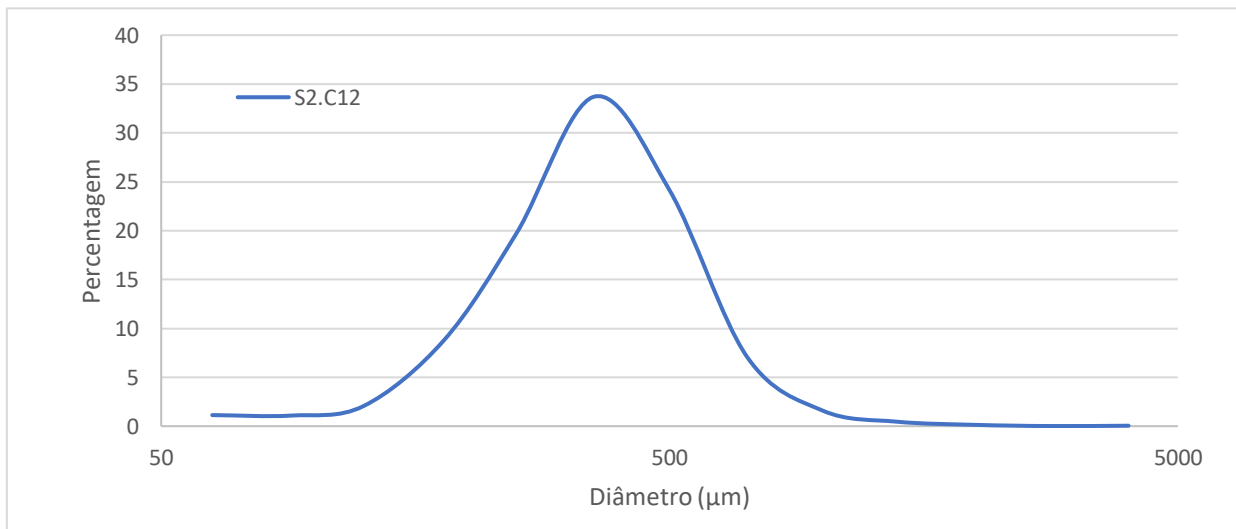


Figura 59- Curva de dispersão granulométrica da amostra S2.C12.

2.2.3. Granulometria das cascalheiras

Os depósitos fluviais cascalhentos, estão presentes na base da sondagem 2019S1, começando nos 7,50 m aos 9,00 m, com uma cascalheira composta por clastos subrolados apresentando um MPS=3 cm, sem suporte de matriz. Para o intervalo dos 10,5 m a 12,00 m há uma cascalheira com clastos rolados; MPS= 6,5 cm sem matriz, no intervalo seguinte continuamos com uma cascalheira com o MPS=5 cm (12,00 m aos 13,50 m) e no ultimo intervalo temos a continuação de cascalheira com um MPS= 4 cm.

Esta variação de “maximum pebble size” (MPS), mostra um aumento do fluxo energético do rio para jusante, junto da ponte açude, onde se localiza a sondagem 2019S1.

2.3. Composição mineralógica dos sedimentos

2.3.1. Determinação dos minerais de argila por difração de raios X

Os resultados da identificação e semi-quantificação dos minerais de argila, mostram uma predominância da ilite, exceto na amostra S2.1 que apresenta, mais caulinite. Os valores mais expressos da ilite estão nas amostras S1.C3 (78%) e S2.C2 (80%).

As amostras S1.1 e S2.2, são da mesma profundidade, dos 12,00 m aos 13,50 m, a primeira foi sedimento recolhido na água que saía da sondagem durante a sua perfuração e a S2.2 da areia que saía com a água e se depositava junto do furo, no mesmo intervalo.

Nestas duas sondagens, podemos observar que há uma maior concentração da ilite, possivelmente, devido há separação granulométrica causada pela água, sendo que o sedimento mais fino é mais rico em ilite. Comparando com as restantes amostras de sedimento mais fino, vemos a mesma tendência.

A amostra S2.2 (12,00 m aos 13,50 m), é um sedimento arenoso, apesar de conter um valor significativo de clorite, este é rico em caulinite. Esta quantidade de caulinite num sedimento arenoso, poderá representar a alteração do feldspato e não apresentar um dado um para interpretação do climática.

Tabela 5 - Resultados dos minerais e argila presentes nas amostras em que foram realizadas lâminas sedimentada.

Amostras	Esmectite	Clorite	Vermiculite	Ilite	caulinite	Associação Mineral
S1.C3	0	13	0	78	9	Ick
S2.C2	0	7	0	80	13	Ikc
S2.1	0	20	0	35	45	Kic
S2.2	0	29	0	52	19	Ick

2.3.2. Mineralogia dos sedimentos areno-siltosos

Os depósitos areno-argilosos analisados (S1.C3, S1.C6 e S2.C2) são interpretados como depósitos de origem antrópica. Os depósitos mais superficiais S1.C3 e S2.C2, têm uma composição semelhante com quartzo, dolomite e feldspato.

A amostra S1.C6, embora também classificada como integrando um antigo possível piso antrópico, apresenta uma composição diferente, composta quase maioritariamente por quartzo e feldspato.

Tabela 6 - Resultados de composição mineralógica dos sedimentos mais finos presentes nas amostras areno-siltosas. Dados obtidos através de DRX

Amostras	Qtz (%)	Felds- K (%)	Felds- Na (%)	Filossilicatos (%)	Calcite (%)	Dolomite (%)	Outros (%)
S1.C3	36	17	1	2	4	40	0
S1.C6	76	21	2	5	0	1	0
S2.C2	61	16	3	5	0	15	0

Os depósitos de areia, apresentam todos a mesma composição, com a presença de quartzo e feldspato, características de uma arcose. A presença deste tipo de minerais deve-se há geologia na qual o rio corre, em grande parte do seu percurso sobre substrato granítico.

Tabela 7 - Resultados de composição mineralógica por DRX de amostras areno-siltosas, arenosos presentes nas amostras. Dados obtidos através de DRX.

Amostras	Qtz (%)	Felds- K (%)	Felds- Na (%)	Filossilicatos (%)	Calcite (%)	Dolomite (%)	Outros (%)
S1.C2	67	27	4	2	0	1	0
S1.C7	72	21	2	5	0	1	0
S2.C10	82	14	1	2	0	0	0
S2.C11	81	15	3	2	0	0	0
S2.C12	72	20	5	3	1	0	0

2.3.3. Mineralogia das cascalheiras

Os depósitos cascalhentos, apresentam uma composição relacionada com as unidades geológicas atravessadas pelo rio e seus afluentes.

Estes são constituídos maioritariamente por quartzo, filádio, feldspato e quartzito. As amostras apresentam uma distribuição mineralógica mais homogénea para a base (Tabela 8).

Tabela 8 - Composição mineralógica das cascalheiras na sondagem 2019S1

	Sondagem 2019S1			
	Qtz Branco (%)	Filádio (%)	Feldspato (%)	Quartzito (%)
7,50- 9,00	50	20	25	5
10,50-12,00	54	24	11	11
12,00-13,50	39	25	17	19
13,00-15,00	37	35	18	9

2.4. Fácies deposicionais

Nos depósitos aluvionares das duas sondagens predominam três litologias: conglomerática, arenosas e argilo-arenosas.

As fácies conglomeráticas, são encontrados predominantemente na base da sondagem 2019S1 (fig. 60). São cascalheiras com suporte clástico, com MPS entre os 4,5 cm e os 6,5 cm, constituídas maioritariamente por clastos de quartzito, feldspato e quartzo branco. Interpretam-se como depósitos de fundo de canal associados a fluxos com elevada competência que não favorecem a deposição de materiais arenosos.

Podemos encontrar fácies arenosas em ambas as sondagens, e correspondem a depósitos fluviais de canal (fig. 60 e 61). Estas areias são de cor amarela acastanhada, de granulometria média a grosseira, compostas na sua maioria por quartzo e feldspato (Tabela 5). Registam o enchimento de canais eventualmente ligados à migração de dunas ou barras maioritariamente arenosos. Na impossibilidade de se identificarem estruturas deposicionais, não se pode proceder a uma melhor caracterização destas formas de fundo.

Encontramos fácies argilo-arenosas nas duas sondagens, com maior representação na sondagem 2019S2, correspondentes a depósitos de planície de inundação fluvial (Fig. 61). Estes sedimentos são de uma cor mais escura e de granulometria mais fina, contendo na sua composição matéria orgânica e minerais como quartzo.

O conjunto associado à dinâmica fluvial é denominado por depósitos cascalhentos, observando-se um corpo arenoso a marcar a separação entre as duas fases de enchimento de grão mais grosseiro (fig. 60). Este corpo arenoso parece articular-se com as cascalheiras inferiores numa sequência granodecrescente.

2.5. Estruturas antrópicas

Nos testemunhos das sondagens (fig. 56 e 57) identificam-se estruturas e materiais antrópicos, e outros materiais depositados pelo homem.

Na sondagem 2019S1, temos a presença do que consideramos ser um muro entre os 4,5 m e os 7,5 m de profundidade, provavelmente relacionado com um cais seguido de pavimento, seguido de aterro até ao nível da estrada.

Na sondagem 2019S2, identificamos dois muros, um dos 7,5 m aos 10,5 m, depois um depósito fluvial, e novamente outro muro entre os 3,5 m e os 6,5 m de profundidade, este com a presença de argamassa hidráulica. Sobre este muro superior temos depósitos de aterro até ao pavimento atual da estrada.

O muro superior, identificado na sondagem 2019S2, apresentava argamassa no topo e na base, tendo sido retiradas duas amostras a S2.C3 (topo) e S2.C7 (base). Os resultados mineralógicos mostram uma diferença entre as duas amostras, principalmente na quantidade de quartzo e dolomite.

Na amostra S2.C3 temos 46% de quartzo e 37% de dolomite enquanto que na amostra S2.C7 temos 83% de quartzo e apenas 1 % de dolomite (Tabela 9). Estes valores podem mostrar diferenças nos materiais usados na argamassa.

Tabela 9 - Composição mineralógica das argamassas hidráulicas

Amostras	Sondagem 2019S2						
	Qtz (%)	Felds- K (%)	Felds- Na (%)	Filossilicatos (%)	Calcite (%)	Dolomite (%)	Outros (%)
S2.C3	46	15	0	1	1	37	0
S2.C7	83	9	2	3	2	1	0

3. Discussão e tratamento de dados

3.1. Sequência estratigráfica das duas sondagens

3.1.1. 2019S1

Com base na descrição da sondagem 2019S1 e granulometrias, realizou-se um perfil estratigráfico. Neste, identifica-se uma estrutura antrópica, provavelmente relacionada com um cais seguido de pavimento, cobrindo um conjunto areno-cascalhentos relacionados com o enchimento fluvial. O conjunto associado à dinâmica fluvial é dominado por depósitos cascalhentos, observando-se um corpo arenoso a marcar a separação entre as duas fases de enchimento de grão mais grosseiro. Este corpo

arenoso parece articular-se com as cascalheiras inferiores numa sequência grano decrescente (fig. 60).

Sondagem 2019S1- Mondego, margem direita, Coimbra

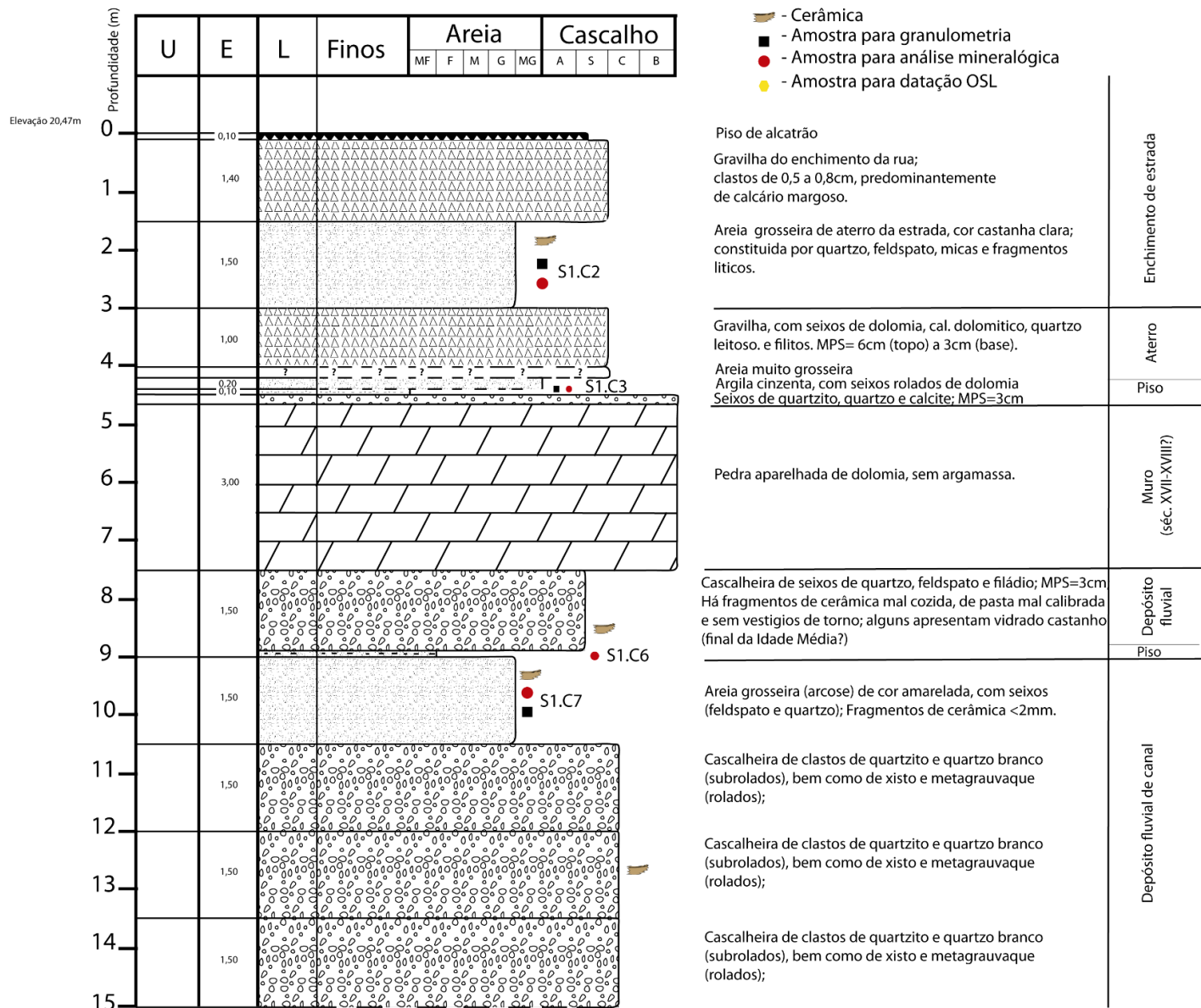


Figura 60 – Coluna estratigráfica da sondagem 2019S1.

3.1.2. 2019S2

Através da descrição da sondagem 2019S2 e das análises granulométricas, realizou-se também um perfil estratigráfico. Identifica-se no perfil duas estruturas antrópicas, provavelmente relacionadas com muros ou cais seguido de pavimento, como na sondagem 2019S1, a primeira estrutura cobre conjuntos arenoso e a segunda estrutura,

numa cota superior a primeira, sobre um depósito argilo-arenoso relacionados com o enchimento fluvial. Os conjuntos associados à dinâmica fluvial, observando-se o que poderá ser um corpo conglomerático a marcar a separação entre as duas fases de enchimento de grão menos grosseiro este corpo conglomerático, mostra que a deposição é granodrecrescente. O depósito argilo-arenoso sobre o primeiro muro mostra que o material poderá ter-se depositado num período de inundação (fig.61).

Sondagem 2019S2 - Mondego, margem direita, Coimbra

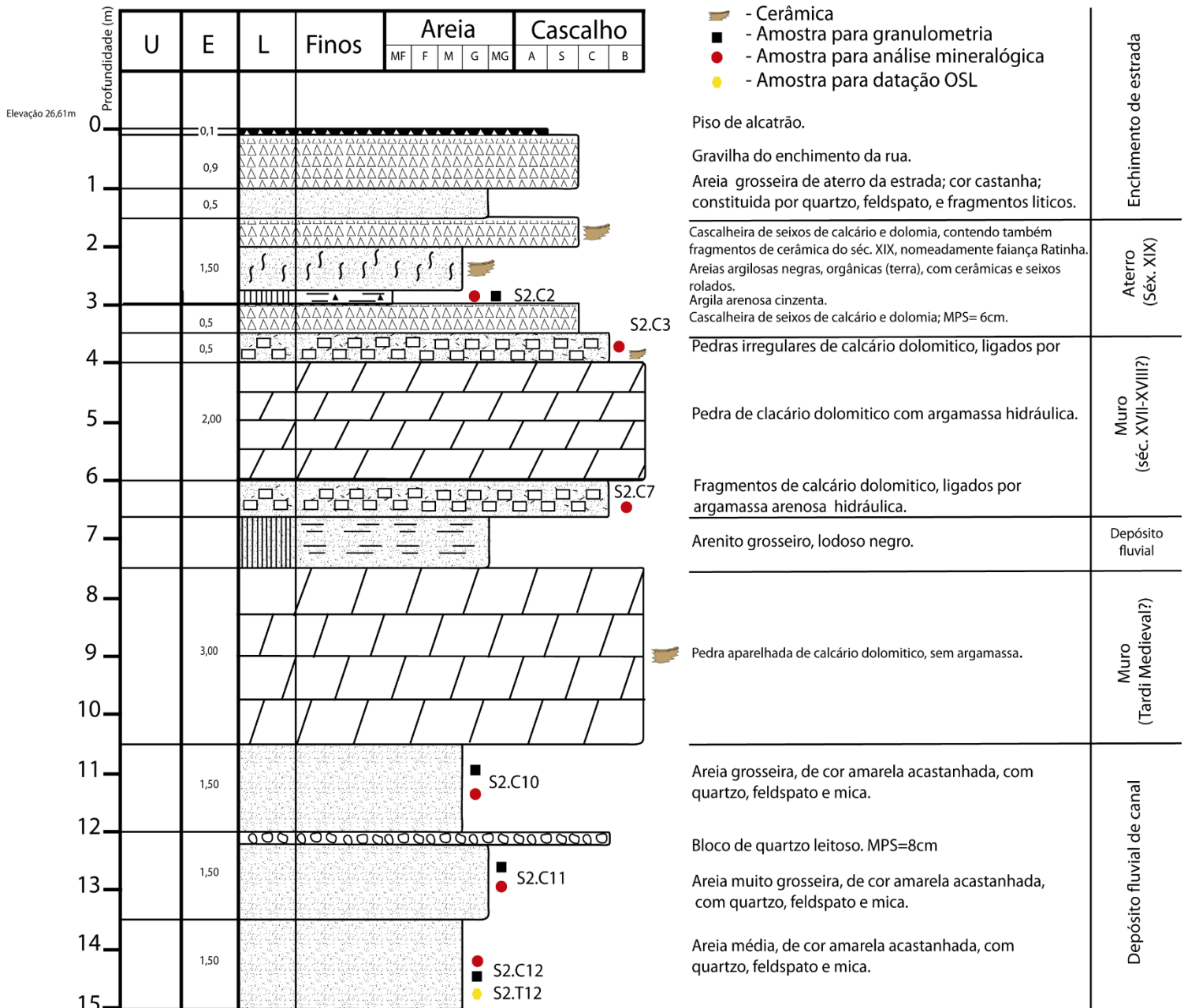


Figura 61 – Coluna estratigráfica da sondagem 2019S2.

3.1.3. Correlação entre as sondagens 2019S1 e 2019S2

É possível a correlação das estruturas e depósitos antrópicos de ambas as sondagens. Como vemos na figura 62, a sondagem 2019S1 foi realizada aos 20,47 m de altitude e a sondagem 2019S2 aos 21,61 m, havendo, pois, uma diferença de cota entre as duas sondagens de 1,14 m (descida para jusante).

É possível correlacionar o muro identificado na sondagem 2019S1 com o muro que aparece entre os 3,5 m e os 6,5 m da sondagem 2019S2, havendo uma diferença de cota de c. 1 m.

Foi possível também correlacionar os depósitos de aterro que se encontram sobre os muros, ambos com a mesma sequência de material depositado; a sondagem 2019S2, mais elevada (a montante), os depósitos aparecem a profundidades menores, quando comparados com a sondagem 2019S1.

3.1.4 Interpretações paleoambientais

Com base na variação de fácies, observada na sondagem 2019S1, consideramos que os depósitos de canal fluvial anteriores à instalação do muro se relacionam com fluxos de alta competência.

Na sondagem 2019S2, o depósito fluvial de enchimento de canal apresenta menor calibre e reconhece-se um muro adicional, mais antigo. Acima da construção antrópica da base os depósitos fluviais são interpretados como de inundação. Os materiais de aterro do topo da sucessão são mais espessos na sondagem 2019S2 do que na 2019S1.

No conjunto, a sondagem 2019S2, posicionada mais a montante, mais próxima do centro histórico de Coimbra, parece registar condições fluviais de menor energia, do que a sondagem 2019S1.

Jusante ————— Montante
Aproximadamente 180m

Sondagem 2019S2 - Mondego, margem direita, Coimbra

Sondagem 2019S1 Mondego, margem direita, Coimbra

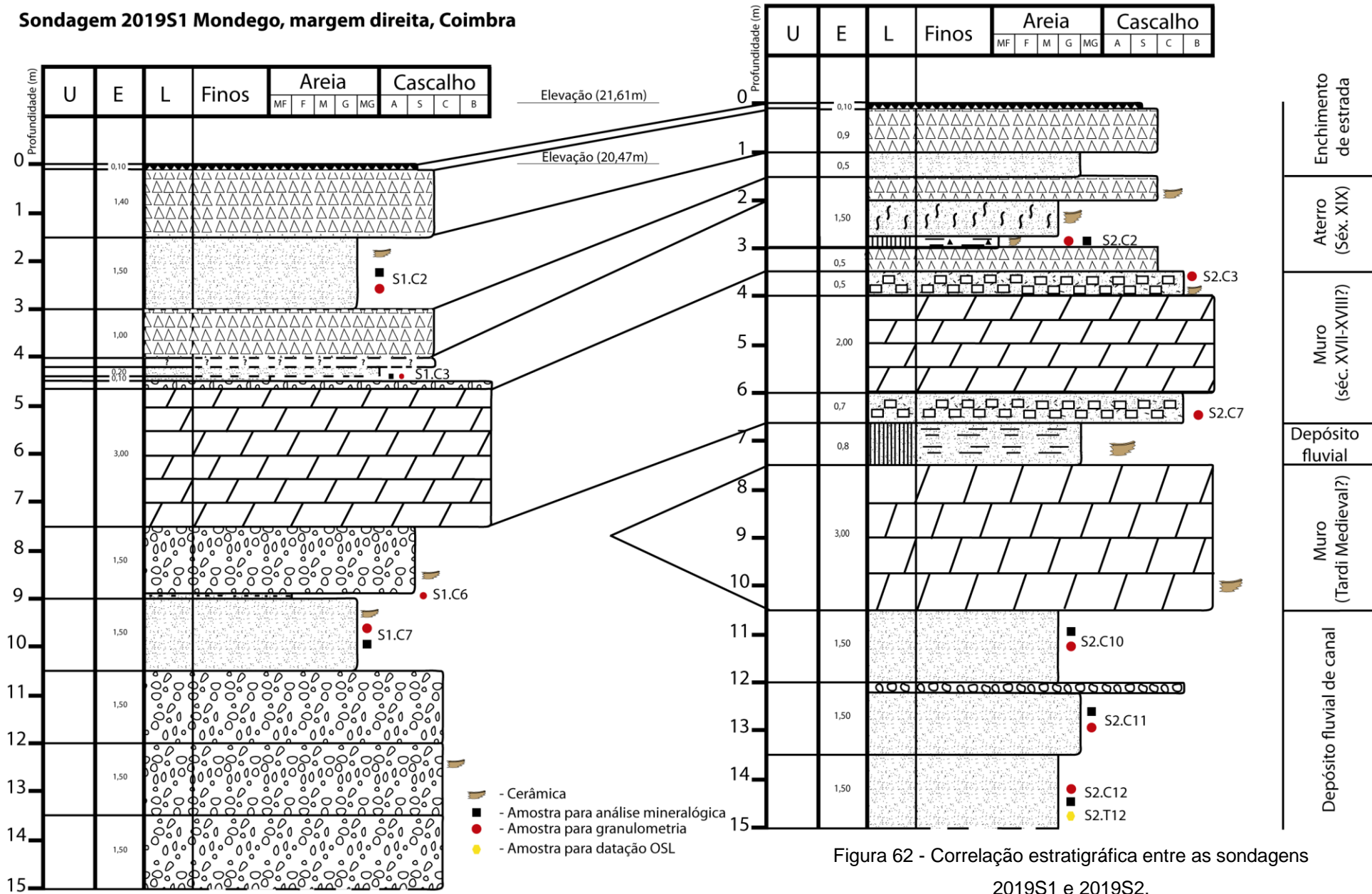


Figura 62 - Correlação estratigráfica entre as sondagens 2019S1 e 2019S2.

3.2. A arquitetura deposicional das aluviões

Para uma melhor compreensão do enchimento aluvionar em Coimbra, foram criados painéis de correlação das sondagens 2019S1 e 2019S2 com sondagens de que não se conhece a data de execução e apresentadas em Tavares (1999) e com as realizadas em 2003, no âmbito da CoimbraPolis. A figura 63, apresenta a localização deste conjunto de sondagens.



Figura 63 - Localização dos perfis de sondagens realizadas em 2019 (a azul claro), as presentes em aTavares (1999) (a branco) e as de CoimbraPólis (2003) (a preto). Os traços com as respetivas cores das sondagens, representam os perfis realizados em cada uma delas.

A figura 64 mostra a correlação entre as sondagens analisadas em detalhe neste trabalho com a sondagem 16 em Tavares (1999), que se encontra mais a sul (montante), junto à ponte de Santa Clara. Este perfil tem um comprimento de 960m desde a sondagem 2019S1 á sondagem 16.

Na base do enchimento do vale do rio Mondego, na sondagem 16 de Tavares (1999) reconhecem-se na base depósitos de areia, seguidos de areia media que evolui para uma areia muito grosseira para o topo. Não se observam, portanto, evidências dos cais atravessados pelas sondagens 2019S1 e 2019S2.

Podemos correlacionar os depósitos de areia muito grosseira da sondagem 16 de Tavares (1999) com os identificados nas sondagens 2019S1 e 2019S2. Para jusante estes corpos tornam-se menos espessos. Os depósitos do topo, nas sondagens de 2019, são interpretados como aterro, sendo de admitir a mesma génese para os observados em Tavares (1999). Os depósitos fluviais de areia muito grosseira, da base, correlacionam-se, provavelmente, com os da base da sondagem 16.

As sondagens incluídas da figura 65, que representam o perfil desde o convento de Santa Clara até á margem direita do rio Mondego. Na margem direita do rio Mondego podemos observar a partir da sondagem 10 espessos depósitos aluvionares, compostos por areias muito grosseiras, alternadas com areias médias e areias siltosas.

Junto à igreja de Santa Clara, sondagens 1 a 3, o substrato localiza-se entre os 18,3 m e os 16,2 m de profundidade. Entre as sondagens 5 e 10 os calcários jurássicos encontrados na base dos depósitos aluvionares localizam-se entre os 24,4 m e os 28,4 m de profundidade. Entre as sondagens 12 e 15, o substrato encontra-se entre os 28,6 m e 33,0 m de profundidade observando-se um aumento da espessura das aluviões. No encosto da margem direita a o substrato localiza-se a 22,5 m de profundidade.

Reconhecem-se várias sequências de enchimento (fig. 65):

- A sequência 1 (S1), caracterizada pelos areões com seixos e calhaus depositados sobre o substrato com areias e silte arenoso no topo;
- A sequência 2 (S2), caracterizada por grandes depósitos de areia com várias subunidades.
- A sequência 3 (S3), constituídos pelos espessos depósitos arenosos da margem direita da base até ao topo.

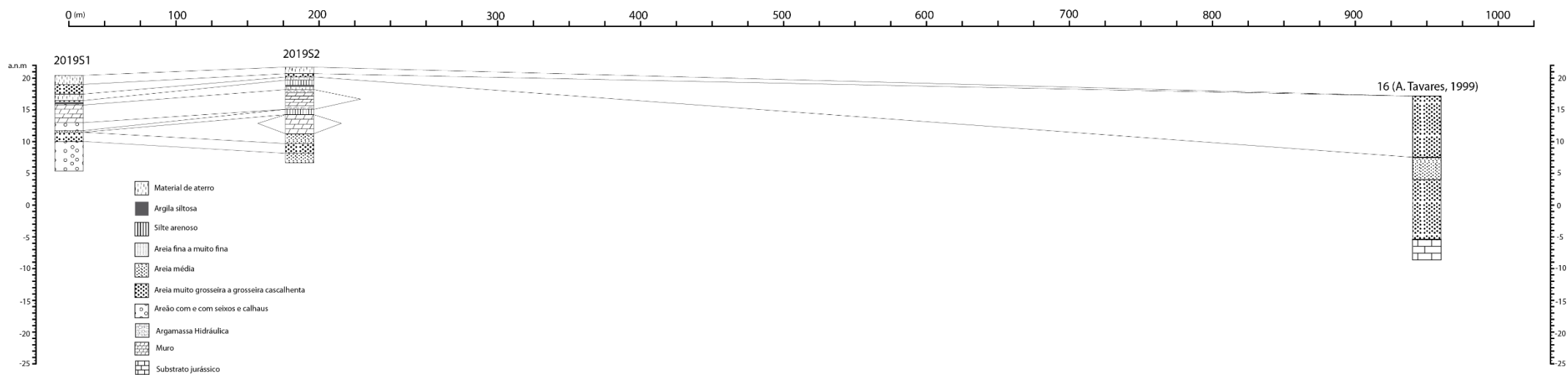
Nas sondagens de CoimbraPolis (2003), realizadas ao longo da margem esquerda, também podemos identificar três sequências de enchimento.

O painel representado na figura 66 corresponde a um perfil Oeste - Este, da sondagem S14 à sondagem S10. Na figura 67 dois painéis, o primeiro com um corte SSW-NNE que vai desde a sondagem S12 à S3, o segundo apresenta direções Oeste - Este, com as sondagens S17 a S6. Os cortes aqui estão representados na figura 62.

As três sequências sedimentares identificadas são, da base para o topo:

- A sequência 1, assenta na base sobre o substrato jurássico, comporta areões que evoluem verticalmente para sedimentos arenosos e silte arenosos.
- A sequência 2, intermédia, apresenta uma sequência granodecrescente.
- A sequência 3, no topo é constituída sobretudo por areia fina ou silte arenoso, e em alguns casos é possível identificar na base areões.

Como base no registo das sondagens de Tavares (1999) e das estudadas neste trabalho, as sequências de enchimento, descritas em CoimbraPolis, podemos identificar três sequências sedimentares.



1

2

3

4

Figura 64 - Painel de correlação das sondagens de 2019 com a sondagem 16 em Tavares, 1999.

Estudo de duas sondagens em 2019 na margem direita do rio Mondego (entre o açude-ponte de Coimbra e o Largo da Portagem)

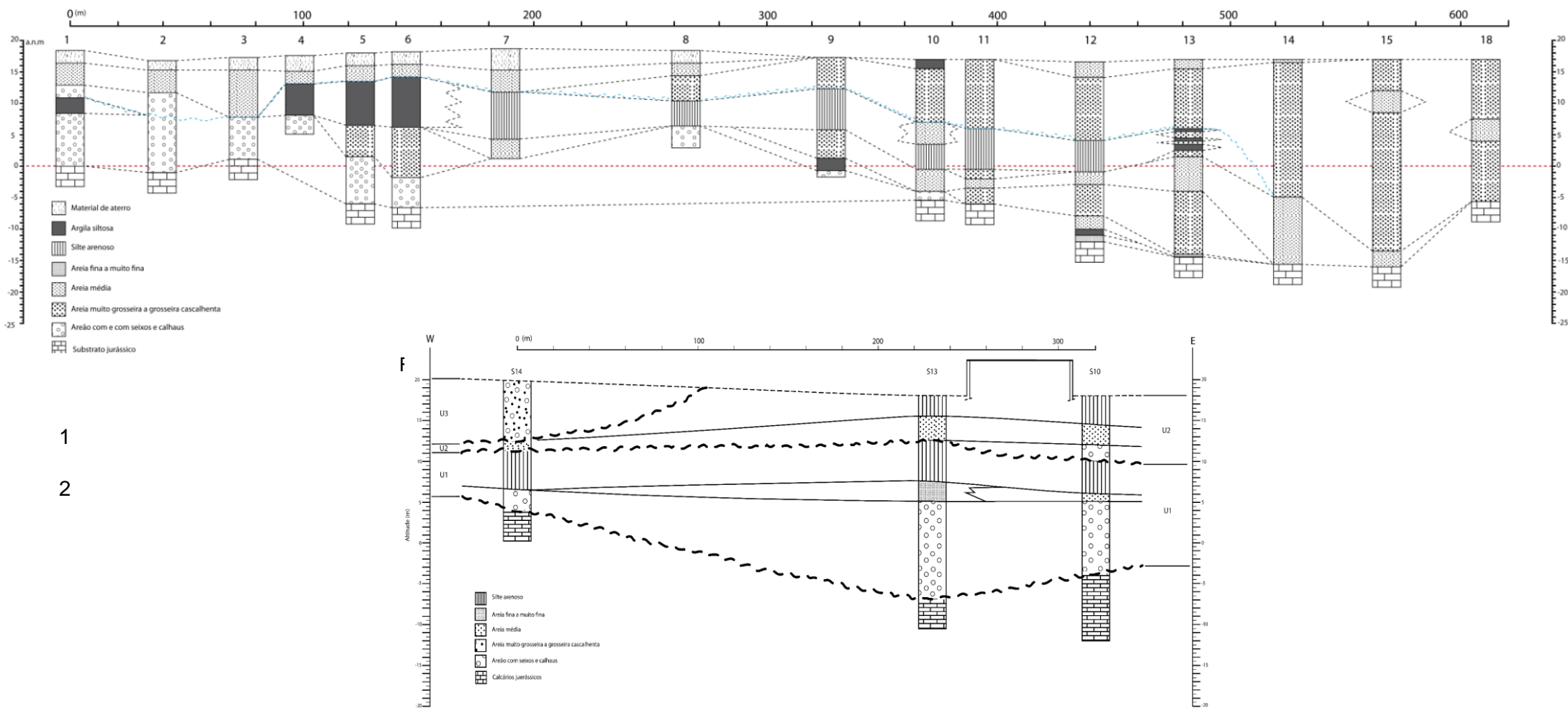


Figura 65 - Painel modificado de correlação das sondagens de CoimbraPolis 2003 com perfil da sondagem S14 a S10.

Estudo de duas sondagens em 2019 na margem direita do rio Mondego (entre o açude-ponte de Coimbra e o Largo da Portagem)

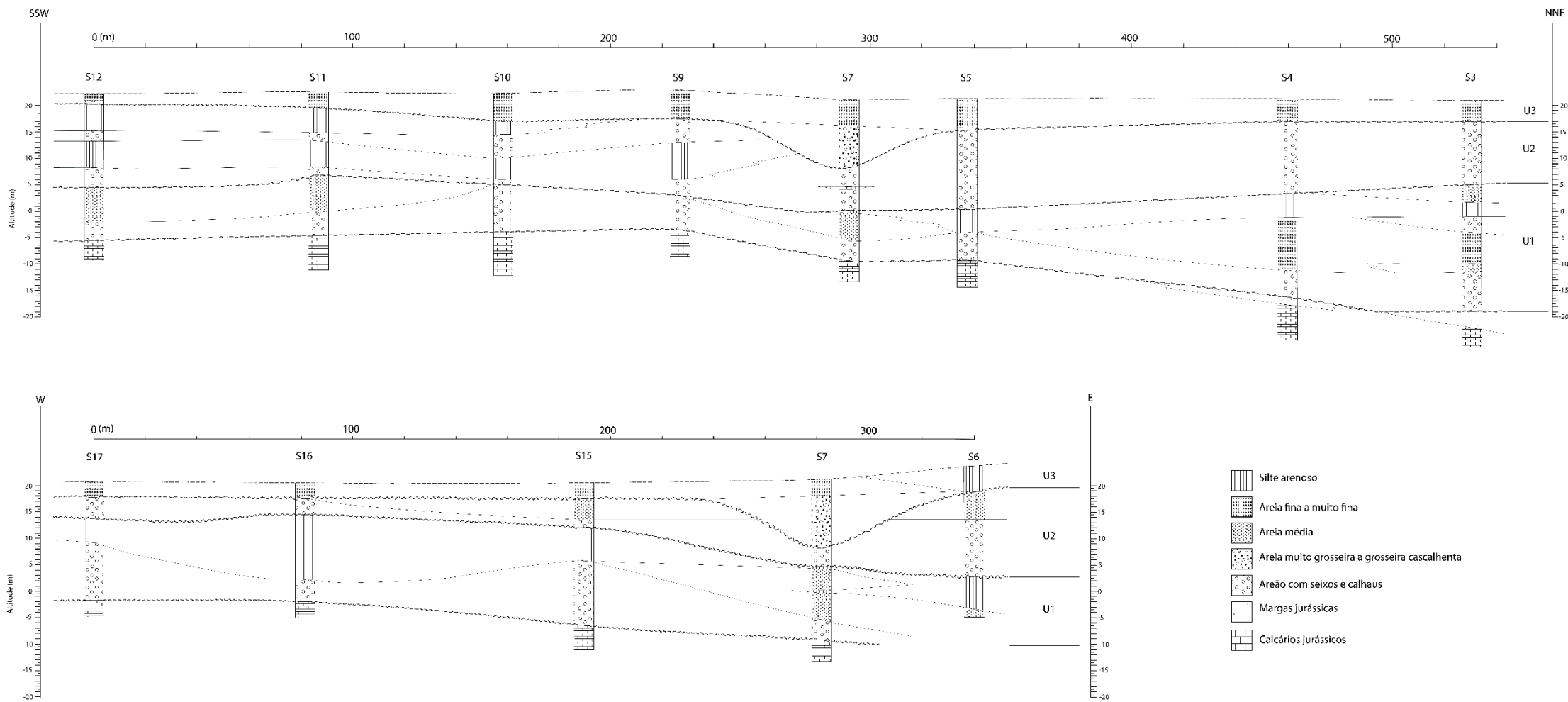


Figura 67 - Painel modificado de correlação das sondagens de CoimbraPolis 2003 com perfil da sondagem S3 a S12 e perfil S6 a S17.

3.2.1. Interpretação das sequências deposicionais

Com base nos perfis das sondagens presentes em Tavares 1999 (sondagens 7 a 16) e CoimbraPolis (2003) (sondagens S3 a S10), foi construído um painel de correlação 3D (fig.68).

No painel (fig.68), identificamos várias superfícies de base de paleovale que marcam várias sequências de enchimento. Não foi considerado o enchimento do Mondego após a criação do canal artificial.

Identificou-se mais uma sequência de sedimentação aluvionar, passando assim a haver quatro sequências de enchimento, sem contar com o enchimento atual do canal artificial, denominadas de S1, S2, S3 e S4.

A sequência S1, deposita-se sobre um paleovale escavado no substrato jurássico, contem na base depósitos de fácies cascalhentas, passando a fácies arenosas e silte-arenosas para o topo, em sequência granodecrescente. Há por vezes intercalação de corpos arenosos.

A sequência S2, aparece num paleovale escavado sobre a sequência S1. É composta essencialmente por fácies cascalhenta, contendo em alguns casos, depósitos arenosos no topo.

A sequência S3, aparece num paleovale muito inciso sobre os conjuntos anteriores. É constituído predominantemente por areias, com quatro subunidades, com a base arenosa e topo siltearenoso.

A sequência S4, deposita-se sobre um paleovale profundo, que corta a sequência S3. Este é constituída por espessos depósitos arenosos a W, no encosto da margem direita, chegando a ter 30 m de espessura.

Apesar de não ter sido possível criar um painel 3D, com os depósitos das sondagens realizadas em 2019, devido há distância a que se encontram, podemos relacionar os depósitos arenosos da sondagem 2019S2 e cascalhentos da 2019S1 com a metade estratigraficamente superior da sequência S4.

Na parte mais recente há o enchimento do canal artificial do rio Mondego, por areias grosseiras. Aqui as margens de aterro parecem ser afetadas pelo enchimento fluvial. A distribuição granulométrica bimodal das amostras C1.C2 e S2.C2 suporta esta possibilidade.

Este enchimento não evidêcia uma simples sucessão granodrecrescente, de longo termo durante o Holocénico, controlada pela subida do mar. Pelo contrário, evidenciam-se várias sequências granodrecrescente que poderão ter controlo climático e sugerem o enchimento de um grande paleovale em diferentes fases separadas por períodos de significativa incisão dos depósitos. Isto tem grandes implicações na análise dos futuros riscos relacionados com a dinâmica do Mondego, na área de Coimbra.

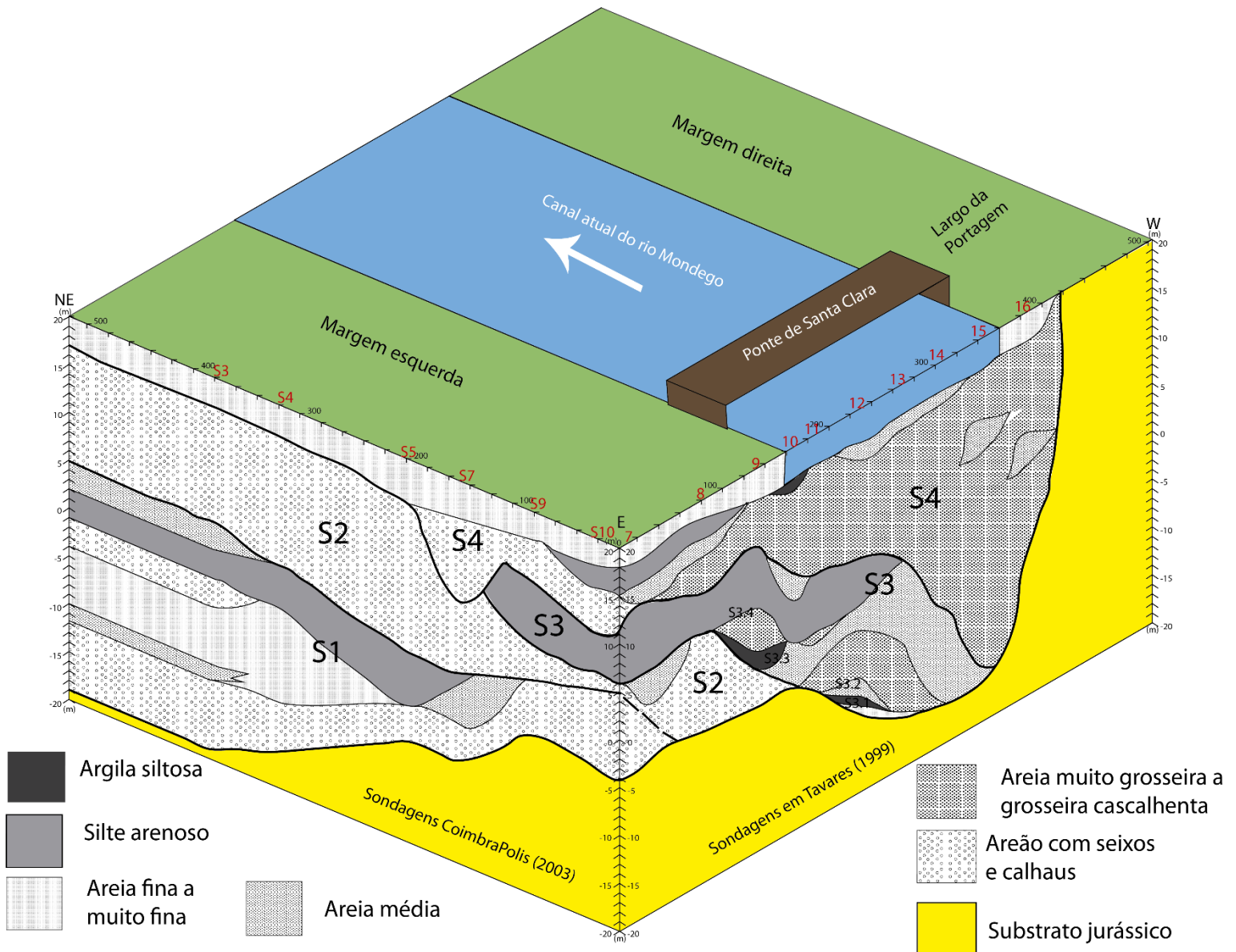


Figura 68 - Paineil 3D com correlação das sondagens das sondagens presentes em Tavares (1999) (sondagens 7 a 16) e de CoimbraPolis (2003) (sondagens S3 a S10). A superfície com cor verde, representa a planície de inundação do rio que se encontra antropizada.

3.3. Cronologia das aluviões do Mondego em Coimbra

Tendo em conta que é provável que as aluviões do Mondego em Coimbra registem os últimos 10 ka, apesar de não existirem até ao momento nenhuma datações absolutas nas aluviões é muito provável que a sequencia S4 compreenda os últimos 2 ka.

Com base nos fragmentos de cerâmicas encontrados nas sondagens 2019S1 e 2019S2, bem como da análise de documentação histórica, foi possível estabelecer uma proposta de cronologia para o enchimento sedimentar das duas sondagens analisadas, que se situam na parte superior da sequência S4.

Na sondagem 2019S2 foram encontrados, no depósito de aterro, fragmentos de Faiança Ratinha, típica do séc. XIX. Logo por baixo deste aterro há um muro com argamassa hidráulica, cujas características sugerem datar-se do séc. XVII a XVIII. Logo que foram identificados os muros antigos nas duas sondagens em estudo pela sua equipa, o Prof. Pedro P. Cunha informou disso a empresa OPWAY e o arqueólogo Guilherme Cruz, para que tal fosse comunicado à tutela.

Pouco tempo após essa comunicação, o arqueólogo Guilherme Cruz realizou uma escavação arqueológica junto da sondagem 2019S2 para determinar se se tratava mesmo de um muro, o que se confirmou (fig. 69).

Por baixo do muro superior há um depósito fluvial de areia lodosa, possivelmente registando uma grande cheia e cobrindo um muro mais antigo. Este muro mais antigo poderá ser de um período tardi-medieval (séc. XV). Por baixo do muro mais antigo encontram-se areias de depósitos aluvionares.



Figura 69 – Fotografia da escavação realizada pelo arqueólogo Guilherme Cruz, junto da sondagem 2019S2, para confirmação da presença do muro superior identificado nesta sondagem. (fotografia feita a 7 de março de 2019 disponibilizada por Mónica Silva)

3.4. Controlos naturais e antrópicos na dinâmica do Mondego

3.4.1. Naturais

Como referido anteriormente, as várias sequências sedimentares do enchimento aluvionar estudado foram determinadas pela influência conjunta dos controlos eustático, climático e tectónico. Contudo, em tempos mais recentes e mais curtas durações dos períodos de análise é mais expressivo o controlo climático. As flutuações climáticas (fig. 70) apresentam um papel fundamental na deposição de depósitos fluviais, em particular dos identificados nas sondagens feitas nas aluviões do rio Mondego.

Na Europa, durante os séculos XII e XIII, tivemos o chamado *optimum* climático, com invernos mais quentes e com menos precipitação, levando a uma diminuição da capacidade de transporte do rio, diminuindo a erosão e aumentando o assoreamento. Entre o séc. XV e o séc. XVIII decorreu a “Pequena Idade do Gelo”, um período mais seco e frio, podendo estar refletido nas amostras analisadas, S1.C3 e S2.C2, em que a ilite predomina. Após a Pequena Idade do Gelo até aos dias de hoje temos essencialmente um período de aquecimento, promovendo o assoreamento.

Existem taxas de assoreamento calculadas (com muita incerteza): (i) no intervalo 1220-1513, de 0,50 m por século; (ii) no intervalo 1513-1872, com uma taxa de assoreamento na zona da portagem de 1,43 m por século (Alarcão, 2012: 102-103).

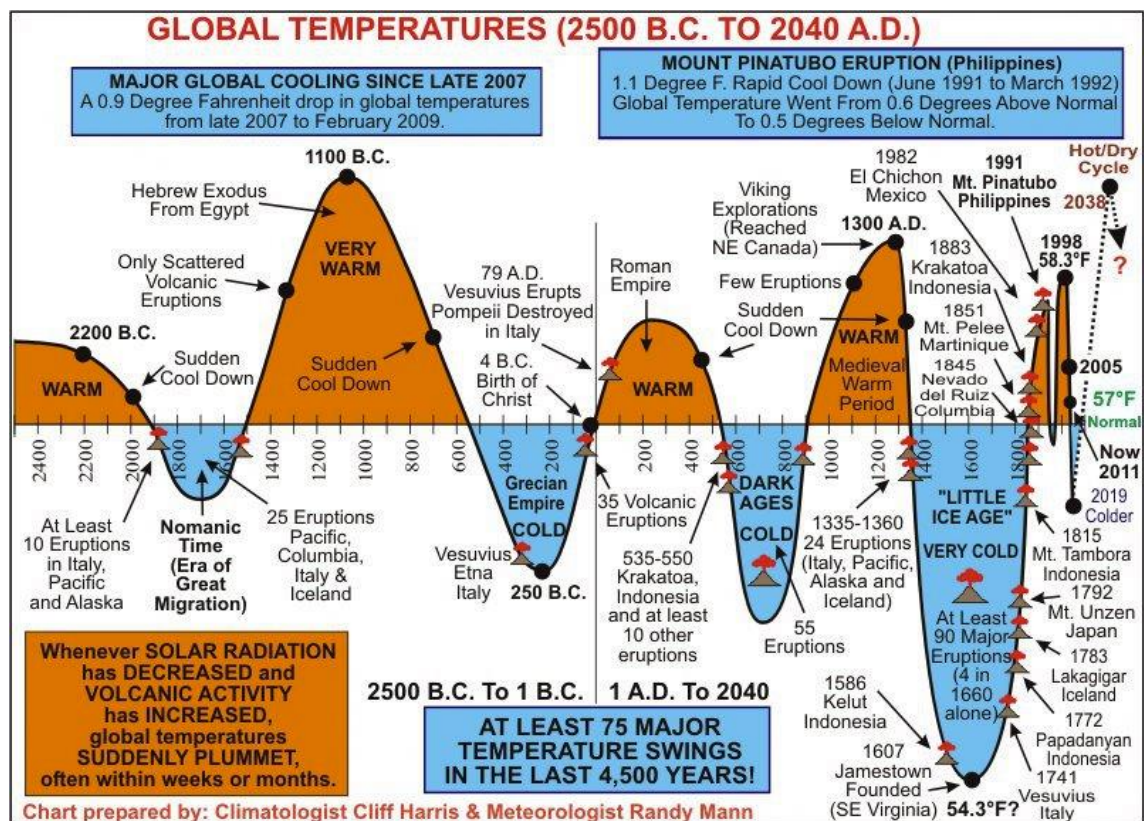


Figura 70 - Variação do clima nos últimos 4,5 ka.

3.4.2. Antrópicos

Não é só o clima o controlo natural que tem um papel fundamental no assoreamento deste setor do rio, imprimindo ciclos na tendência geral de assoreamento determinada pela subida e alto nível do mar durante o Holocénico, mas as intervenções antrópicas

também tiveram uma forte influência. Durante os séculos em que as margens do Mondego foram habitadas, realizaram-se inúmeras intervenções no rio. Designadamente, a construção de pontes, muros hidráulicos e a desflorestação dos campos a montante da cidade (Alarcão, 2012).

Desde a Época Romana, altura da construção da primeira ponte, para além da natural tendência ao assoreamento, as pontes terão feito algum efeito barragem. O assoreamento causado pela ponte Manuelina (fig. 71) durante as grandes cheias, promovendo o assoreamento a montante (fig. 72).

As análises granulométricas efetuadas mostram uma variação granulométrica dos depósitos à mesma profundidade, passando de cascalheiras de um canal com fluxo



Figura 71 - Carta de Coimbra, onde é possível observar a antiga ponte manuelina e os três portos existentes a jusante (Isidoro Baptista , 1845).

bastante energético a areias grosseiras a médias mais a montante na sondagem 2019S2, junto do largo da portagem.

Segundo Cunha et al. (2018), análise dos sedimentos a montante da ponte e a jusante, reflete a mesma diferença granulométrica, também evidenciada pelos levantamentos topo-hidrográficos. Assim, o efeito barragem determinou que desde a Portela até ao Açude-ponte o enchimento sedimentar forme um delta.

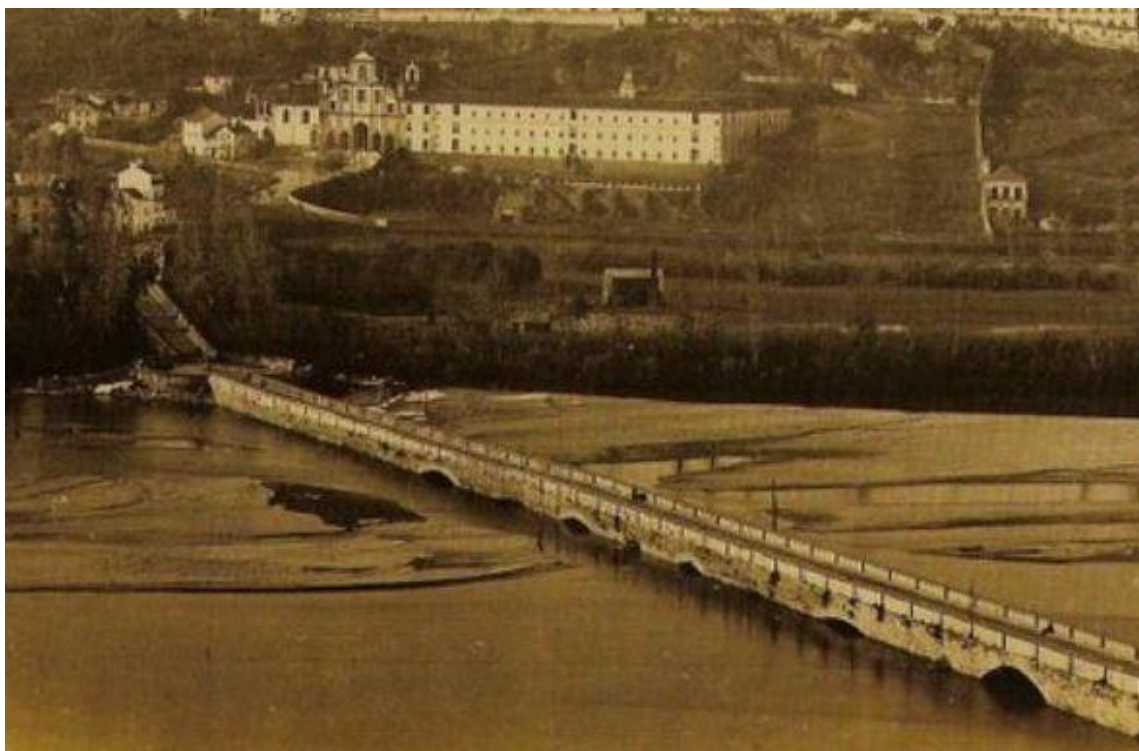


Figura 72 - Ponte Manuelina assoreada, com os seus arcos já praticamente tapados pelos depósitos aluvionares.

3.4.3. Relevância social do estudo dos registos holocénicos dos rios

A ocupação antrópica das margens e planícies de inundação, em particular no caso do rio Mondego, altera a dinâmica fluvial e aumenta o risco às populações expostas (Cunha et al., 2002; 2018). Intervenções no rio que agravam o assoreamento, por sua vez agravam os efeitos das cheias (Lourenço et al., 2017). Com um melhor planeamento, com a diminuição da pressão sobre as margens do rio, bem como diminuição da

ocupação da sua planície de inundação é possível diminuir o risco associado às cheias. Tem que haver um investimento na restauração ambiental do rio, diminuindo a influência do homem na sua dinâmica (Cunha et al., 2018).

O estudo dos arquivos continentais constituídos pelos registos sedimentares dos enchimentos holocénicos de rios, envolvendo a estratigrafia, sedimentologia, bem como pormenorizada e precisa datação absoluta, permite caracterizar as variações eustáticas e climáticas do passado geológico recente por forma a melhor compreender as problemáticas ambientais do presente e ajudar na planificação do futuro.

4. Conclusões

O estudo geológico e arqueológico pormenorizado das duas sondagens realizadas em 2019 na margem direita do Mondego, em Coimbra, permitiu uma identificação e interpretação dos processos e ambientes sedimentares, bem como das estruturas antrópicas atravessadas. Contudo, a qualidade do registo obtido por perfuração carotada poderia ter sido melhor se não tivesse sido feito com excessivo uso de água durante a realização das sondagens, levando à perda de frações arenosas e finos.

Foi possível identificar quatro sequências de enchimento fluvial através da correlação e comparação das duas sondagens com outras realizadas anteriormente. Cada sequência granodécrescente contém, geralmente, cascalheiras na base seguidas de areias e finos de inundação no topo.

Foi possível identificar dois muros de proteção contra cheias, um possivelmente do séc. XV, e um mais recente, provavelmente, do séc. XVII-XVIII. Entre os dois muros, destaca-se o registo de uma grande cheia, através dos depósitos areno-argilosos que cobrem o muro mais antigo. Através das argamassas e dos fragmentos de cerâmica encontrados, foi possível estabelecer que os sedimentos identificados na base das sondagens 2019S1 e 2019S2 são anteriores ao séc. XV.

As construções hidráulicas recentes no rio Mondego, continuam a condicionar a dinâmica sedimentar; nomeadamente o represamento leva ao assoreamento a montante e à erosão a jusante. Por outro lado, as evidências de episódios de cheias de grande magnitude devem ser levadas em consideração na análise de riscos fluviais futuros.

Há que diminuir a pressão sobre o rio, principalmente no que respeita às construções nas suas planícies de inundação, diminuindo a vulnerabilidade e o risco a cheias e inundações, bem como investir na restauração da qualidade ambiental. É, pois, necessário haver um planeamento do território que permita a cidade crescer, não contra o rio, mas em harmonia com ele.

5. Referências bibliográficas

Alarcão, J. (2012) - As Pontes que se afogaram no Rio. Coimbra, Ed. Ordem dos Engenheiros da Região Centro, Coimbra.

Alarcão, J. (2012) - Coimbra: a montagem do cenário urbano. Coimbra: Imprensa Universidade

Alarcão, J. D. (1999). A Evolução Urbanística de Coimbra: das origens a 1940.

Alley, R. B., P. A. Mayewski, T. Sowers, M. Stuiver, K. C. Taylor, and P. U. Clark (1997) - Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago, *Geology*, 25, 483 – 486, doi:10.1130/0091-7613(1997)0252.3.CO;2.

Alley, R. B., and A. M. A'gu'stsdo'ttir (2005) - The 8k event: Cause and consequences of a major Holocene abrupt climate change, *Quat. Sci. Rev.*, 24, 1123 – 1149, doi:10.1016/j.quascirev.2004.12.004.

Almeida, C.; Mendonça, J. J. L.; Jesus, M. R. & Gomes, A. J. (2000) - "Sistemas Aquíferos de Portugal Continental". INAG/CGUL. Lisboa, 661 p.

ARH do Centro, I. P. (2011) - Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis integradas na Região Hidrográfica 4 – Parte 2 | Caracterização Geral e Diagnóstico – 1.3 Caracterização Geológica e Geomorfológica. Administração da Região Hidrográfica do Centro, I.P. Abril de 2011;

Barber, D. C., et al. (1999) - Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catactrophic drainage of Laurentide lakes, *Nature*, 400, 344 – 348, doi:10.1038/22504.

Bianchi, G. G., and I. N. McCave (1999) - Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland, *Nature*, 397, 515 – 517, doi:10.1038/17362.

Bond, G., W. Showers, M. Cheseby, R. Lotti, P. Almasi, P. deMenocal, P. Priore, H. Cullen, I. Hajdas, and G. Bonani (1997) - A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates, *Science*, 278, 1257 – 1266, doi:10.1126/science.278.5341.1257.

Bond, G., B. Kromer, J. Beer, R. Muscheler, M. N. Evans, W. Showers, S. Hoffmann, R. Lotti-Bond, I. Hajdas, and G. Bonani (2001) - Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene, *Science*, 294, 2130 – 2136, doi:10.1126/science.1065680.

Brito, A. Da Rocha (1947) - "Felipe Tércio e a ponte real de Coimbra em 1845". Arquivo Coimbrão, Coimbra, 10:1-48

Cabral, Estevão (1791) - "Memória sobre os danos do Mondego no campo de Coimbra, e seu remédio". Memórias Económicas da Academia Real das Ciências de Lisboa, Lisboa, 3: 141-165 (reimpresso em Lisboa, pelo Banco de Portugal, em 1991)

Cabral, J. (1995) - Neotectónica de Portugal continental. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro Portugal 31, 265 p.

Cacho, I., J. O. Grimalt, M. Canals, L. Sbaiffi, N. J. Shackleton, J. Schoenfeld, and R. Zahn (2001) - Variability of the western Mediterranean Sea surface temperature during the last 25,000 years and its connection with the Northern Hemisphere climatic changes, *Paleoceanography*, 16, 40 – 52, doi:10.1029/2000PA000502.

Campos, J. C. Aires (1867) - Catálogo dos objectos existentes no Museu de Archeologia do Instituto de Coimbra. Coimbra: Imprensa Litteraria

Campos, J. C. Aires (1867) - Índices e summarios dos livros e documentos mais antigos e importantes do Archivo da Câmara Municipal de Coimbra. Segunda parte do inventário do mesmo Archivo. Fasc. I. Coimbra: Imprensa da Universidade

Campos, J. C. Aires (1872) - Indices e summarios dos livros e documentos mais antigos e importantes do Archivo da Câmara Municipal de Coimbra. Segunda parte do inventário do mesmo Archivo. Fasc. III. Coimbra

Carvalho, José Branquinho de (1943) - "Cartas originais dos reis (1480- 1571)". Arquivo Coimbrão, Coimbra, 7:77-128

Carvalho, José Branquinho de (1943) - "Cartas originais dos reis ". Arquivo Coimbrão, Coimbra, 8:49-133

Clark, P. U., S. J. Marshall, G. K. C. Clarke, S. W. Hostetler, J. M. Licciardi, and J. T. Teller (2001) - Freshwater forcing of abrupt climate change during the last glaciation, *Science*, 293, 283 – 287, doi:10.1126/science.1062517.

Clark, P. U., N. G. Pisias, T. F. Stocker, and A. J. Weaver (2002) - The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change, *Nature*, 415, 863 – 869, doi:10.1038/415863a.

Coelho, Maria Helena da Cruz (1983) - O baixo Mondego nos finais da Idade Média, 2 vols. Lisboa: Imprensa Nacional/Casa da Moeda

CoimbraPolis (2003) – Plano de Pormenor do Eixo Portagem / Av. João das Regras. Reconhecimento geológico-geotécnico Proc.21403

Cunha, L., Soares, A. F., Tavares, A., Almeida, A. C., & Santos, J. G. (1999) - Intervenções recentes e avaliações de impactes ambientais no Baixo Mondego. *Cadernos de Geografia*, pp. pp. 39-52.

Cunha, P. P., Dinis, J. (1998) - Impactos antrópicos recente sistema sedimentar do estuário do rio Mondego.

Cunha, P. P. (1999) - Unidades litostratigráficas do Terciário na região de Miranda do Corvo-Viseu (Bacia do Mondego - Portugal). *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, Lisboa, tomo 86, pp. 143-196.

Cunha, P.P. (2002) - Vulnerabilidade e risco resultante da ocupação de uma planície aluvial o exemplo das cheias do rio Mondego (Portugal central), no inverno de 2000/2001. *Territorium*, 9, 13-36.

Cunha, P. P.; Martins, A. A.; Gouveia, M. P. (2016) - As escadarias de terraços do Ródão à Chamusca (Baixo Tejo) – caracterização e interpretação de dados sedimentares, tectónicos, climáticos e do Paleolítico / The terrace staircases of the Lower Tagus River (Ródão to Chamusca) – characterization and interpretation of the sedimentary, tectonic, climatic and Palaeolithic data. *Estudos do Quaternário*, vol. 14, pp. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.30893/eq.v0i14.116>

Cunha, P. P. (2018) - Active tectonics in mainland Portugal as evidenced by faults, Plio-Pleistocene sedimentary record and relief. *IX Simposium on the Iberian Atlantic Margin - MIA2018 (Book of Proceedings)*, Coimbra, 4-7 September 2018. ISBN: 978-989-98914-3-2, pp. 21-22.

Cunha, P.P., Coimbra, R., Mota, R., Domingues, J., Barroso, A., Pereira, P., Costa, C., Borges, P., Filipe, S. (2018) - Anthropogenic influence on fluvial sedimentary regime: the current state of the Mondego River at Coimbra (central Portugal) Influência antrópica no regime sedimentar fluvial: a situação actual do Rio Mondego em Coimbra (Portugal). - *MIA2018 (Book of Proceedings)*, Coimbra, 4-7 September 2018.

Cunha, P. P. (2019) - Cenozoic Basins of Western Iberia: Mondego, Lower Tejo and Alvalade basins. *In: C. Quesada and J. T. Oliveira (eds). The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach. Regional Geology Reviews*, Springer International Publishing, Vol. 4 – Cenozoic Basins, Chapter 4, pp. 105-130. DOI: 10.1007/978-3-030-11190-8; Hardcover ISBN 978-3-030-11190-8; 184 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11190-8>)

Dias, J. A. (1985) - Registos da migração da linha de costa nos últimos 18 000 anos na plataforma continental portuguesa setentrional. *Actas da I Reunião do Quaternário Ibérico*, 1, 281-195.

Dias, J. M. A. (1987) - Dinâmica sedimentar e evolução recente da plataforma continental portuguesa setentrional. *Unpublished Ph. D. Thesis, University of Lisbon, Lisbon, 384p.*

Dokken, T. M., and E. Jansen (1999) - Rapid changes in the mechanism of ocean convection during the last glacial period, *Nature*, 401, 458 – 461, doi:10.1038/46753.

Figueiredo, A. C. Borges de (1886) - Coimbra antiga e moderna. Lisboa: Livraria ferreira

Frigola, J., A. Moreno, I. Cacho, M. Canals, F. J. Sierro, J. A. Flores, J. O. Grimalt, D. A. Hodell, and J. H. Curtis (2007) - Holocene climate variability in the western Mediterranean region from a deepwater record, *Paleoceanography*, 22, PA2209, doi:10.1029/2006PA001307

Gomes, Saul António (2007) - In limine concriptionis. Documentos chancelaria e cultura no mosteiro de Santa Cruz (séculos XII a XIV). Viseu: Palimage Editores

Jackson, M. G., N. Oskarson, R. G. Trønnnes, J. F. McManus, D. Oppo, K. Grovøld, S. R. Hart, and J. P. Sachs (2005) - Holocene loess deposition in Iceland: Evidence for millennial scale atmosphere-ocean coupling in the North-Atlantic, *Geology*, 33, 509 – 512, doi:10.1130/G21489.1

Kleiven, H. K. F., C. Kissel, C. Laj, U. S. Ninnemann, T. O. Richter, and E. Cortijo (2008) - Reduced North Atlantic deep water coeval with the glacial lake Agassiz freshwater outburst, *Science*, 319, 60 – 64, doi:10.1126/science.1148924.

Lencastre, A., & Franco, F. M. (2010) - Lições de Hidrologia. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Lourenço, L., Velez, F., Cunha, P.P., Lima, I.P., Lima, J., Tavares, A. (2017) - Flood risk in the Lower Mondego. Guidebook of the study trip 3. IV Intern. Congr. on Risks, Riscos (Ed.), ISBN: 978-989-96253-8-9, 75 p.

Lorenz, S. J., J.-H. Kim, N. Rimbu, and R. R. Schneider (2006) - Orbitally driven insolation forcing on Holocene climate trends: Evidence from alkenone data and climate modeling, *Paleoceanography*, 21, PA1002, doi:10.1029/2005PA001152.

Marques, J. A. S., Mendes, P. A., & Santos, F. S. (2005). Cheias em áreas urbanas: a zona de intervenção do programa polis em Coimbra. *Territorium*, (12), 29-53.

Martins, Alfredo Fernandes (1940) - O esforço do homem na bacia do Mondego, Ensaio geográfico. Coimbra: sem editor

Mayewski, P. A., et al. (2004) - Holocene climate variability, *Quat. Res.*, 62, 243 – 255, doi:10.1016/j.yqres.2004.07.001

McManus, J. F., D. W. Oppo, and J. L. Cullen (1999) - A 0.5-million-year record of millennial-scale climate variability in the North Atlantic, *Science*, 283, 971 – 975, doi:10.1126/science.283.5404.971

Mendonça, J. L., & Dias, J. F. (1999) - Sistemas aquíferos aluvionares da bacia hidrográfica do rio Mondego. *Recursos Hídricos*, 21(2), 63-70.

O'Brien, S. R., P. A. Mayewski, L. D. Meeker, D. A. Meese, M. S. Twickler, and S. I. Whitlow (1995) - Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core, *Science*, 270, 1962 – 1964, doi:10.1126/science.270.5244.1962

Oliveira, António de (1953) - A vida económica e a social de Coimbra de 1537 a 1640. Primeira parte. 2 vols. Coimbra: Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra

Queiroz, P. F. (1999), *Ecologia Histórica Da Paisagem do Nordeste Alentejano*, 300 pp., Univ. de Lisboa, Lisbon

Rodrigues, T., Grimalt, J. O., Abrantes, F. G., Flores, J. A., & Lebreiro, S. M. (2009) - Holocene interdependences of changes in sea surface temperature, productivity, and fluvial inputs in the Iberian continental shelf (Tagus mud patch). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(7).

Sarnthein, M., S. Van Kreveld, H. Erlenkeuser, P. M. Grootes, M. Kucera, U. Pflaumann, and M. Schulz (2003) - Centennial-to-millennial-scale periodicities of Holocene climate and sediment injections off the western Barents shelf, 75N, *Boreas*, 32(3), 447 – 461, doi:10.1080/03009480310003351.

Sequeira, A.; Cunha, P. P.; Sousa, M. B. (1997) - A reactivação de falhas, no intenso contexto compressivo desde meados do Tortoniano, na região de Espinhal-Coja-Caramulo (Portugal Central). *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, Lisboa, tomo 83, pp. 95-126.

Soares, A., Marques, J. & Rocha, R. (1985) - Contribuição para o conhecimento geológico de Coimbra. *Memórias e notícias*, nº 100, Publicação do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra.

Soares, A., Marques, F. & Rocha, R. (1987) - Carta Geológica de Coimbra (Norte). Folha nº 230 - Coimbra.

Soares, A. F.; Marques, J. F.; Rocha, R.; Sequeira, A.; Sousa, M. B.; Pereira, E. S. & colaboradores (Cunha, P. P.; Duarte, L. V. P.; Pereira, L. C. G.; Gomes, E.) (2005) - Carta geológica de Portugal na escala 1/50.000 da folha 19D (Coimbra – Lousã). Inst. Geol. e Mineiro, Lisboa.

Soares, A.F.; Marques, J.F.; Sequeira, A. & colaboradores (Callapez, P.; Cunha, P. P.; Duarte, L. V.; Gomes, E.; Kullberg, J. C.; Monteiro, A. J. N.; Pereira, E. S.; Pereira, L. C. G.; Rocha, R.; Sampaio, J. E. C.) (2007) – Notícia Explicativa da folha 19D (Coimbra – Lousã), da Carta geológica de Portugal na escala 1/50.000. Inst. Geol. e Mineiro, Lisboa, 71 p.

Tavares, A. M de Oliveira Soares (1999) - Condicionantes físicas ao planeamento. Análise da susceptibilidade no espaço do concelho de Coimbra. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia (Tese de doutoramento)

Van der Knaap, W. O., and J. F. N. Van Leeuwen (1985) - Holocene vegetation succession and degradation as response to climatic change and human activity in the Serra da Estrela, Portugal, *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 89, 153 – 211.

Vis, G.-J., C. Kasse, and J. Van Denberghe (2008) - Late Pleistocene and Holocene palaeogeography of the Lower Tagus Valley (Portugal): Effects of relative sea level, valley morphology and sediment supply, *Quat. Sci. Rev.*, 27, 1682 – 1709, doi:10.1016/j.quascirev.2008.07.003.