

# Evolução holocénica da Ponta da Passadeira (estuário do Tejo)

Maria da Conceição Freitas<sup>1</sup>  
César Andrade<sup>2</sup>  
Tiago Silva<sup>3</sup>  
Celso Pinto<sup>4</sup>  
Alexandra Amorim<sup>5</sup>

## Resumo

A Ponta da Passadeira é uma restinga arenosa formada cerca de 7200 cal BP por ondas geradas no estuário do Tejo; a restinga primitiva teria dimensões superiores às actuais, seria colonizada por vegetação arbórea e produziu condições de abrigo que possibilitaram a diferenciação de um sapal, datado de cerca de 5000 cal BP. Este espaço foi ocupado no Neolítico/Calcolítico por população de economia agro-marítima, com especialização funcional no domínio da olaria, de que restam fornos de produção cerâmica e respectivas entulheiras. Esta ocupação parece ter privilegiado o tardoz da restinga, perto da interface com os sapais. A exaustão de fontes sedimentares e pequena elevação do nível médio do mar ocorridas após 2500 cal BC favoreceram a erosão e retrogradação da restinga sobre o sapal primitivo e sobre a ocupação humana, sendo possível que este fenómeno tenha comprometido a viabilidade das actividades que se efectuavam naquele local. A expansão urbana e industrial que afectou esta região desde os anos 70 reactivou o processo erosivo da restinga, a qual tem sofrido adelgaçamento significativo.

A combinação de dados arqueológicos, geomorfológicos e paleontológicos obtidos na Ponta da Passadeira sugere que o nível médio do mar há 7200 anos atrás estaria 1.4 a 2.0 m mais baixo que o actual e que há cerca de 5000 anos antes do presente esta diferença seria de 0.5 a 1.0 m. Destes valores resultam estimativas da taxa de subida do nível médio do mar de 0.2 a 0.7 mm/ano entre 7200 e 5000 cal BP e de 0.1 a 0.2 mm/ano entre 5000 cal BP e o presente.

## Abstract

Ponta da Passadeira is an estuarine sand spit formed ca. 7200 cal BP by locally generated waves. In its early stages the spit would have been larger than today and colonized by arborous vegetation, providing the sheltering required for a salt marsh to develop since ca. 5000 cal BP. The barrier flat, especially near the boundary with the fringing marsh, was occupied during the late Neolithic/Calcolithic by a population dedicated to salt and ceramic production, as testified by numerous remnants of ovens and waste materials. Depletion of sedimentary sources in association with a limited rise in sea level after 2500 cal BC, favored the spit erosion and its retrogradation over the marsh and the human occupation. We hypothesize that this change could have compromised the activities, thus contributing to the abandonment of the settlement. More recently and especially from the 1970's onwards, the urban and industrial expansion in this region reactivated erosion of the spit, which experienced significant reduction in width.

Archaeological data, together with geomorphological and paleontological information, suggest that mean sea level stood 1.4 to 2.0 m lower than present about 7200 cal BP, and that ca. 5000 cal BP that difference reduced to 0.5 - 1.0 m. These figures allow inferring rates of sea level rise of 0.2 to 0.7 mm/year between 7200 and 5000 cal BP and of 0.1 to 0.2 mm/year since 5000 cal BP.

---

1 - Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, Bloco C6, 3º Piso, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal. cfreitas@fc.ul.pt

2 - Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, Bloco C6, 3º Piso, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal. candrade@fc.ul.pt

3 - Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, Bloco C6, 3º Piso, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal. tasilva@fc.ul.pt

4 - Agência Portuguesa do Ambiente I.P, Geólogo, Av. Almirante Gago Coutinho n.º 30, 1049-066 Lisboa, Portugal. celso.pinto@apambiente.pt

5 - Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Bloco C6, 3º Piso, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal. amorix@gmail.com

## 1 – Introdução

A Ponta da Passadeira (Fig. 1) é uma pequena restinga localizada na margem esquerda do estuário interior do Tejo, cerca de 9 km a leste de Cacilhas, apresentando cerca de 560 m de comprimento e 200 m de largura na raiz. A restinga constringe pelo sul a boca da enseada do Montijo, um domínio marginal pouco profundo do estuário, para o qual afluem a ribeira da Moita e a Vala Real (Montijo). A Ilha do Rato e uma outra pequena restinga de areia que se desenvolvia para sul a partir da margem oposta da mesma enseada, entretanto incorporada nos aterros da base aérea do Montijo (Fig. 1, 2), são outras barreiras que contribuem para lhe confinar a embocadura, incrementando um efeito herdado do dispositivo geológico regional de idade pliocénica. Esta região do estuário interior do Tejo caracteriza-se por vasta superfície ocupada por fundos rasos

e aplanados povoados por bancos de vasa e areia, descobertos em baixa-mar e escassamente recortados por numerosos esteiros (Fig. 1, 2), os quais se prolongam para o interior dos terrenos da Península de Setúbal; uns e outros são formas remanescentes do preenchimento sedimentar de uma rede hidrográfica anteriormente mais encaixada, responsável pelo pronunciado recorte que caracteriza a margem esquerda do estuário e claramente definida nas cartas geológicas pela linha que separa os enchimentos sedimentares recentes, aluviais, de raso de maré ou de sapal, do substrato pliocénico, marcado na paisagem envolvente por relevos suaves, mas oferecendo vertentes frequentemente escarpadas onde confinam directamente com as águas do estuário ou delas se encontram separadas por estreitas praias arenosas (Fig. 2).



Figura 1 – Restinga da Ponta da Passadeira. A - Localização no estuário do Tejo; B - na enseada do Montijo; C – Foto aérea de 1973, com representação do sopé da praia.

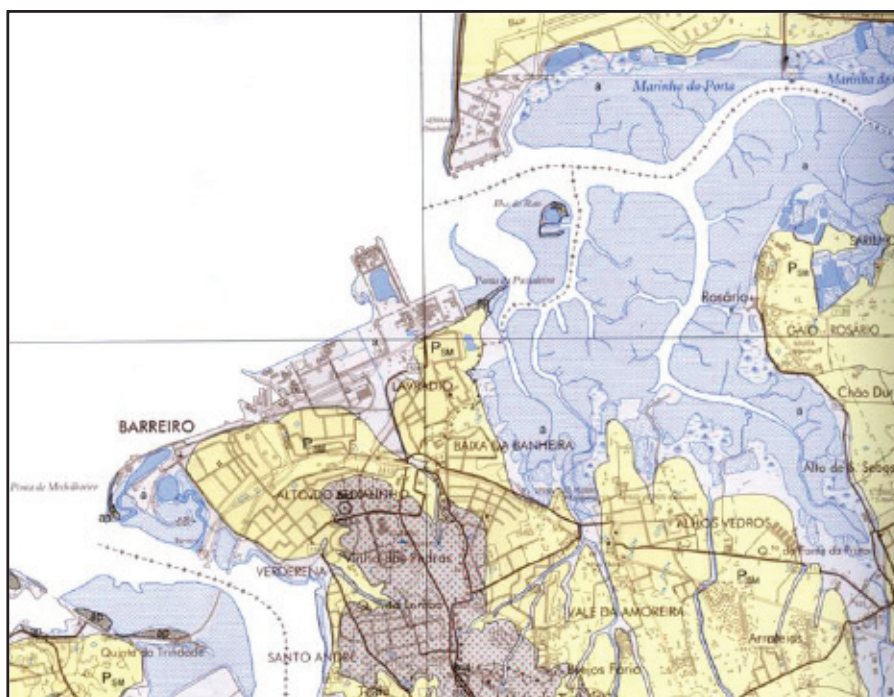


Figura 2 – Extracto da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000, folha 34D (Pais *et al.*, 2006).

O Pliocénico é aqui essencialmente constituído por areias fluviais finas a grosseiras, quase sempre arcósicas, da Formação de Santa Marta ( $P_{SM}$  - Fig. 2) (Pais *et al.*, 2006). Trata-se de materiais pouco consolidados, brandos, facilmente desmontados pela actividade da erosão hídrica, das correntes de maré e do impacto das ondas, alimentando o espaço estuarino com sedimentos detríticos de espectro granulométrico variado, desde os seixos às argilas.

A restinga da Ponta da Passadeira conserva e prolonga a orientação SW – NE do sector Barreiro-Lavradio, limitado pelo Rio de Coia, a oeste, e pelo Rio da Moita, a leste (Fig. 2), desenvolvido em substrato pliocénico, mas regularizado e linearizado por depósitos de praia e duna ainda visíveis na Folha 4 da Carta Geológica dos Arredores de Lisboa, de 1950; a restinga enraíza onde pronunciada inflexão direccional da linha de costa desenvolvida nos terrenos pliocénicos permitiu que a praia de areia se destacasse do substrato a que se encosta, a oeste, invadindo a boca da enseada do Montijo.

## 2 – A restinga actual

A restinga da Ponta da Passadeira é constituída por uma praia estreita (uma dezena de metros) contínua, com características reflectivas predominantes embora sem desenvolvimento de berma (Fig. 3, 4, 8), provida de uma face com inclinação variável entre 5 e 7°, formada por areias grosseiras a cascalho, essencialmente quártzicos, geralmente com calibragem deficiente, na parte inferior, que gradam para areias médias bem calibradas na parte superior (Amorim, 1999). Esta praia liga-se a um raso de barreira arenoso, que localmente conserva um edifício dunar frontal (Fig. 3, 4, 8), formado por areias médias bem a muito bem calibradas, semelhantes às do topo da face de praia. Quando existe, esta duna tem cotas máximas de 5m (NMM<sup>1</sup>) – Fig. 8, encontrando-se bastante degradada e escarpada na face barlavento, indiciando erosão. O restante raso de barreira encontra-se muito perturbado por aterros e escavações, que obliteraram os traços da organização morfológica original.

1 - As cotas indicadas neste trabalho referem-se ao nível médio do mar (NMM) de Cascais (1938). Na enseada do Montijo, o nível médio local está 0.12 m acima daquele referencial.



Figura 3 – Vista para leste da praia da Ponta da Passadeira e raso de maré adjacente.

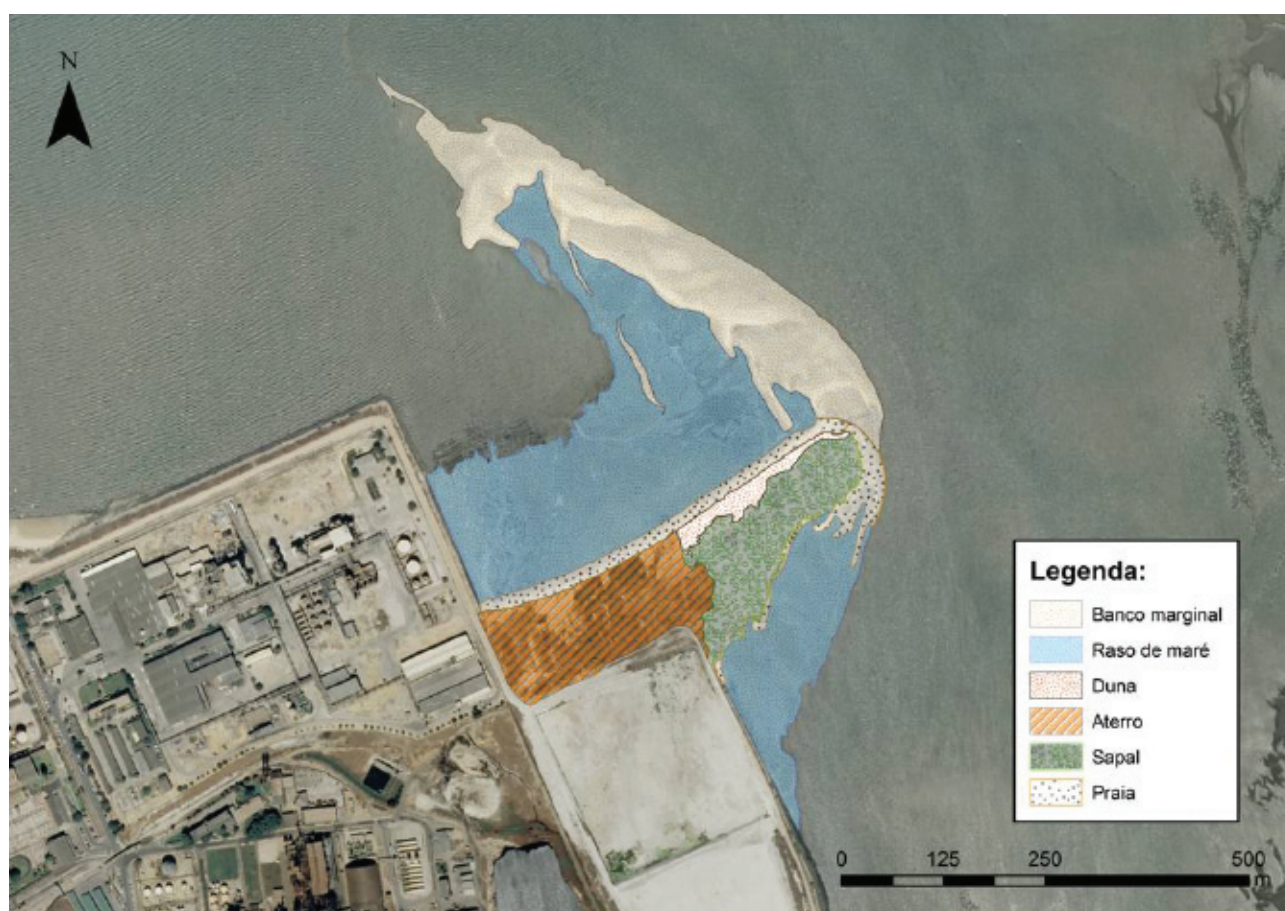


Figura 4 – Principais conteúdos morfossedimentares da Ponta da Passadeira.



Figura 5 – A – alto sapal e, em último plano, a aba sotavento da duna frontal; B – tanque de salina abandonado, recolonizado por vegetação halófito de alto sapal; C – margem interna da restinga, distinguindo-se uma praia limitada por murete degradado; D – restos dos diques de lodo nos tanques de evaporação das antigas salinas.

A restinga proporciona condições de abrigo na sua fachada sudeste favoráveis à deposição de vasas (% de finos > 80%) orgânicas e desenvolvimento de um alto sapal (Fig. 4, 5), que se prolonga por um raso de maré a cotas inferiores a + 0.4 m (NMM). A Carta dos Arredores de Lisboa do Corpo de Estado Maior de 1904 (1:20 000) e rectificada manualmente em 1930 (Fig. 6), mostra a restinga da Ponta da Passadeira como uma flecha de areia recurva na ponta livre, que se prolonga para sul por uma estreita praia, envolvendo domínio intertidal (provavelmente alto sapal) ainda não ocupado. Este domínio morfossedimentar foi desde os anos 40-50 intervencionado para exploração de sal, com escavação de tanques de evaporação e construção

de uma rede de diques utilizando os lodos escavados como material de empréstimo. As antigas salinas, entretanto abandonadas, encontram-se hoje recolonizadas por vegetação halófito característica de alto sapal e a sedimentação lodosa reinstalou-se neste espaço (Fig. 5B). Os diques marginais que constituem o limite sul deste complexo encontram-se em erosão (Fig. 5).

Manchas discretas de um paleosapal afloram na face de praia da restinga (Fig. 7, 11), em janelas de superfície variável, tanto maior quanto menor a espessura dos sedimentos da praia que os recobrem; uma datação de  $^{14}\text{C}$  (Soares, 2008) obtida em sedimento orgânico amostrado por sondagem e a cota próxima do NMM, forneceu idade de  $4330 \pm 40 \text{ BP}^2$  (3025-2885 cal BC - Tabela 1, Fig. 23) para a base

2 - Idade BP – idade *Before Present* - antes do presente, sendo este, por convenção, o ano de 1950. Idade Cal BC – idade calibrada, de calendário, reportada ao nascimento de Cristo. BC – *Before Christ* (antes de Cristo).



Figura 6 – Carta dos Arredores de Lisboa do Corpo de Estado Maior de 1904 (1:20 000), rectificada manualmente em 1930, e detalhe da região da Ponta da Passadeira.

destes materiais. Nalguns locais o paleossapal preserva fendas poligonais de dissecação de grande dimensão (Fig. 7 D) preenchidas por sedimento orgânico e marcas verticais de bioturbação produzida pelas estruturas radiculares da vegetação.

A restinga é também marginada a NW por um extenso raso de maré (Fig. 3, 4) constituído por sedimentos areno-lodosos (o teor em finos diminui em direcção à praia) onde as areias são médias, moderadamente calibradas, e que se prolonga desde o domínio intertidal inferior (cotas da ordem de +0.4 m NMM, junto à face de praia – Fig. 8) por fundos subtidaís rasos até à Cala do Montijo; o crescimen-

to da extremidade livre da restinga é condicionado por pequeno esteiro afluente daquele canal (Fig. 1), bem delineado por um banco marginal intertidal com 1 km de comprimento e orientação perpendicular àquela (Fig. 1, 4, 9), de areias médias bem calibradas. Este raso de maré assenta sobre superfície que corta substrato pliocénico constituído por areias médias a grosseiras, sendo de pequena espessura, com elevada mobilidade sazonal e interanual mas fraca continuidade lateral, expondo o substrato terciário em numerosas janelas.

Neste raso de maré afloram restos vegetais (troncos e principalmente raízes, *in situ*) (Fig. 10)



Figura 7 – Afloramentos de paleossapal na praia da Ponta da Passadeira. A – no terço poente e a meia largura da face de praia; B – na ponta livre da barreira; C – vista para poente; notar os lodos do paleossapal assentes em substrato arenoso; D – pormenor da superfície do paleossapal, onde se observam fendas de dissecação poligonais.

de exemplares de pinheiro bravo e manso, entre outros com idades  $^{14}\text{C}$  entre  $6100 \pm 70\text{BP}$  ( $5240\text{--}4810$  cal BC) e  $5040 \pm 40\text{BP}$  ( $3960\text{--}3710$  cal BC, Tabela 1, Fig. 23) (Soares, 2008). São ainda visíveis concreções ferruginosas, interpretadas como resultantes da mineralização de marcas de bioturbação por raízes (rizoconcreções) – Fig. 11. Em 2011 efectuou-se um levantamento e geo-referenciação com DGPS-RTK de 32 estruturas de madeira (Fig. 11), obtendo-se valores de cota entre  $-0.05$  e  $-0.73$  m (NMM) (mediana  $-0.28$  m), excepto um caso com cota de  $+0.18$  m (NMM). As elevações obtidas para as rizoconcreções estão dentro deste intervalo altimétrico. Soares

(2008) indica cotas para estas estruturas entre  $-1.05$  m e  $+0.29$  (NMM) (mediana  $+0.19$  NMM), decrescentes com o afastamento da praia actual.

Trabalhos arqueológicos (*vide* Soares, 1996, 2008) reconheceram aqui vestígios de ocupação humana: ocupação do Paleolítico médio, de há cerca de 30 000 anos – artefactos em pedra lascada - em sedimentos arenosos tardi-pleistocénicos que recobrem o substrato plio-quadernário; ocupação de finais do Neolítico/transição para o Calcolítico, por população de economia agro-marítima (incluindo provável produção de sal marinho), com especialização funcional no domínio da olaria, tendo sido

Tabela 1- Resultados de datação isotópica por  $^{14}\text{C}$  (Soares, 2008).

Cod. Lab.	Cota NMM (m)	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Idade convencional (anos BP $\pm 1\sigma$ )	Idade calibrada ( $2\sigma$ )
Beta-134667	+0.075	Sedimento orgânico	-21.3	4330 $\pm$ 40	Cal BC 3025 a 2885 (cal BP 4975 a 4835)
Beta-193894	a)	Madeira <i>Pinus</i> sp.	-24.5	6100 $\pm$ 70	Cal BC 5240 a 4810 (cal BP 7190 a 6760)
Beta-190879	a)	Madeira <i>Pinus pinea</i>	-25.0	5720 $\pm$ 50	Cal BC 4700 a 4460 (cal BP 6650 a 6410)
Beta-189082	a)	Madeira <i>Pinus pinea</i>	-23.8	5040 $\pm$ 40	Cal BC 3960 a 3710 (cal BP 5910 a 5660)
Beta-160055		Carvão <i>Pinus</i> sp.	-24.4	4450 $\pm$ 50	Cal BC 3339 a 2929 (cal BP 5289 a 4879)
Beta-126093		Concha <i>Venerupis decussata</i>	-	4550 $\pm$ 70	Cal BC 2969 a 2583 (cal BP 4919-4533)

a) Cota mediana -0.28 m (NMM)

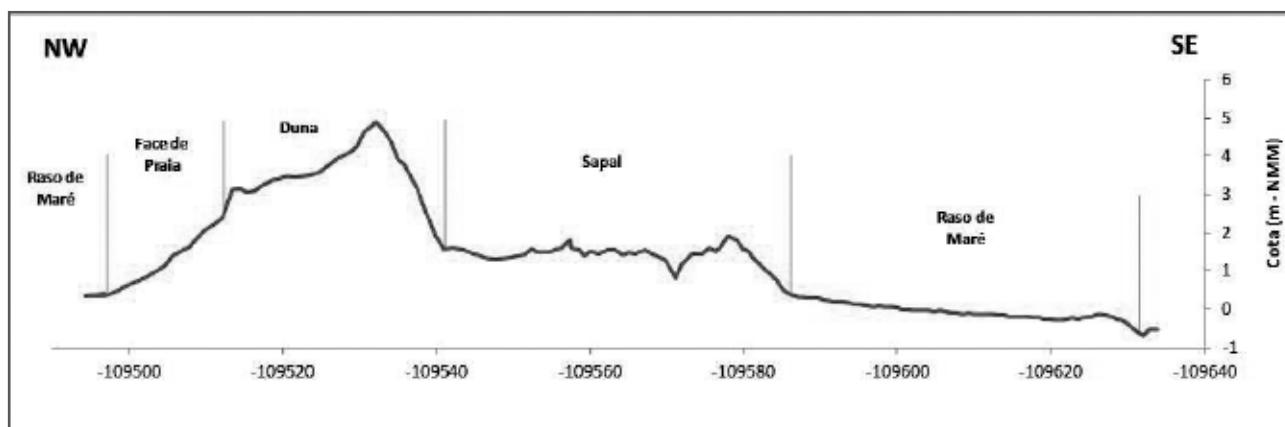


Figura 8 – Perfil transversal à restinga da Ponta da Passadeira, com indicação dos principais domínios morfossedimentares.

identificados fornos de produção cerâmica e respectivas entulheiras. Esta segunda ocupação, que compreende duas fases (Soares, 2008), foi datada com base em conchas, fragmento de calcâneo humano e carvão, de 4450 $\pm$ 50 BP (3339-2929 cal BC) a 4550 $\pm$ 70 BP (2969-2583 cal BC) (Tabela 1, Fig. 23) (Soares, 2008).

A expansão urbana e industrial recentes da margem esquerda do estuário do Tejo desfiguraram significativamente a paisagem ainda observável nos anos 60; a construção de complexos industriais na década de 70 do séc. XX (hoje Parque Empresarial

Quimiparque) (Fig. 1) conduziu à artificialização quase integral desta faixa costeira, com destruição extensa dos conteúdos geomorfológicos originais.

A cartografia mais antiga da Ponta da Passadeira a que se teve acesso tem escala demasiado pequena para efeitos de comparação cartográfica, pelo que apenas se usou a iconografia dos anos 70 e posteriores para este efeito. A figura 12 ilustra a variação da linha de contacto entre a face da praia da Ponta da Passadeira e o raso de maré adjacente desde 1973, ano em que o complexo industrial ainda não existia. Entre 1973<sup>3</sup> (antes da instalação do

3 - Carta "Delimitação com o DPM de um prédio denominado por "Marinha do Cabo" ou "Ponta da Passadeira" – Barreiro. Quimigal, E.P., 1: 2000/1:25000. Des. N° 295000.





Figura 9 – Vista para noroeste do banco marginal.

parque industrial) e 1977<sup>4</sup> (após a instalação daquele), o limite entre a face de praia e o raso de maré NW sofreu recuo significativo, de 28 m a 35m em valor médio e máximo, respectivamente (Fig. 12A). A única exceção corresponde à raiz da restinga, no local de encosto ao aterro do parque industrial, onde se observa pequeno avanço (máximo de 24 m). Estas modificações corresponderam a uma rotação em sentido horário e arqueamento da praia, que perdeu  $13.5 \times 10^3 \text{ m}^2$  de área (em 1973 a praia ocupava  $15.5 \times 10^3 \text{ m}^2$  e em 1977 apenas  $2 \times 10^3 \text{ m}^2$ ). Entre 1977 e 1991<sup>5</sup>, a evolução é muito menos intensa, traduzindo-se ainda por rotação no mesmo sentido, mas em torno de um centro localizado sensivelmente a metade do comprimento da praia (Fig. 12B). Na metade SW, o sopé da face de praia avançou 13 m, tendo recuado 6.5 m na outra metade. Nos últimos 20 anos (Fig. 12C), as modificações experimentadas por aquela linha são negligenciáveis, notando-se pequenas diferenças na raiz e na ponta livre. No entanto, ao nível do limite superior da face de

praia, no contacto com a duna ou raso de barreira, observou-se recuo da ordem de 8.5 m entre 1997<sup>6</sup> e 2011<sup>7</sup>(Fig. 12D).

A formação e desenvolvimento da restinga da Ponta da Passadeira, tal como outras restingas e praias que povoam a margem esquerda do estuário do Tejo, devem-se a uma combinação de factores de natureza geológica, climática e hidrodinâmica que se sucederam nos últimos milhares de anos e, em particular, nos últimos 20 000 anos. Parte destes factores reveste-se de natureza global (*e.g.* variações do nível do mar), enquanto outros reflectem condicionalismos locais, de ordem climática e meteorológica (*e.g.* regime de ventos, natureza e diversidade do coberto vegetal) ou geológica e tectónica (*e.g.* a natureza das rochas aflorantes nas margens, as dimensões e configuração atípica do espaço estuarino, com estrangulamento no corredor terminal que oferece condições peculiares de abrigo ao estuário interior do Tejo relativamente ao regime de alta energia das ondas geradas no Atlântico). Justifica-se assim o

4 - Levantamento aerofotométrico – Barreiro. Câmara Municipal do Barreiro. 1: 2000. Folha 432-3/5-1. Artop.

5 - Levantamento aerofotogramétrico – Barreiro. Câmara Municipal do Barreiro. 1: 2000. Folha 2D. EOBIT.

6 - Levantamento efectuado pelos autores com recurso a Estação Total.

7 - Levantamento efectuado pelos autores com recurso a DGPS RTK



Figura 10 – Exemplos de troncos e raízes fossilizadas expostas no raso de maré noroeste.

Figura 11 – A - cartografia dos troncos e raízes fósseis e rizoconcreções visíveis em 2011; B - cartografia dos afloramentos de paleossapal e limite do paleossapal sob a duna obtido a partir de perfis de sondagens. P1 - localização do perfil ilustrado na figura 23.

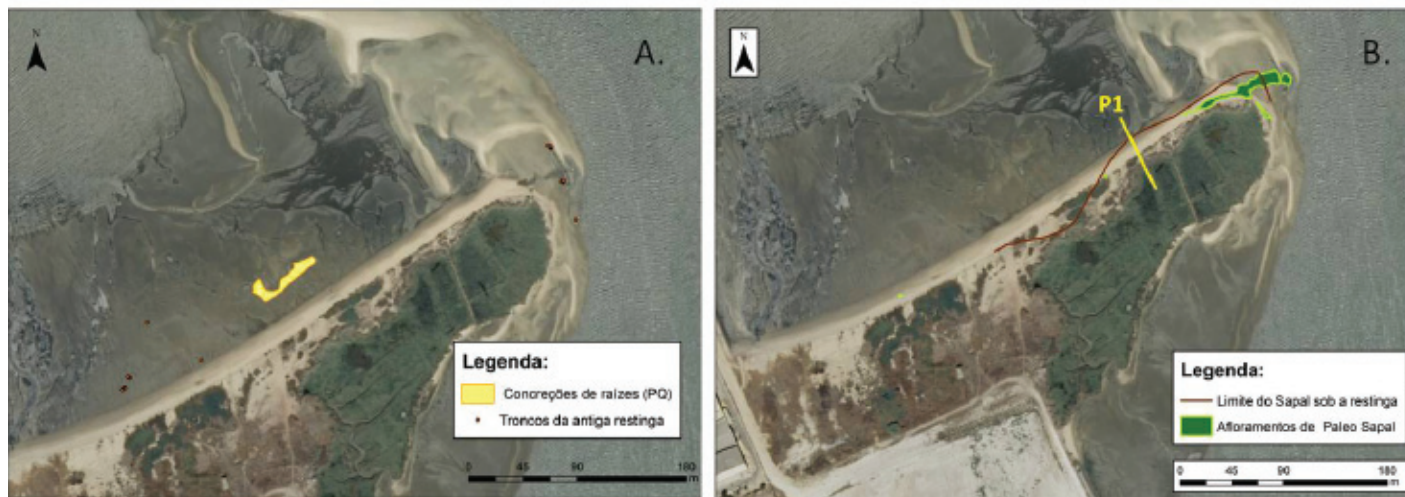




Figura 12 – Restinga da Ponta da Passadeira. A, B, C - evolução do limite inferior da face de praia entre 1973 e 2011; D – evolução da base da duna entre 1997 e 2011.

apontamento seguinte sobre a formação do estuário do Tejo no contexto do qual devem ser compreendidas as transformações experimentadas pela restinga da Ponta da Passadeira.

### 3 – Evolução tardiglacial e holocénica do estuário do Tejo

Os estuários actuais formaram-se em regime transgressivo, pela inundação marinha de vales fluviais escavados em época anterior, na dependência de nível de base substancialmente mais baixo que o de hoje. A génese e evolução desses estuários, de que o Tejo não é excepção, estão, pois, em primei-

ro lugar, relacionadas com as modificações do nível do mar (eustáticas) determinadas por causas climáticas, variações que afectaram a margem continental portuguesa desde o auge da última glaciação, há cerca de 20 000 anos.

O último máximo glacial (UMG) corresponde a um máximo do regime regressivo estabelecido no final do Plistocénico, com retenção significativa de água sob a forma de gelo nas calotes circumpolares e nos glaciares de montanha em resposta a um arrefecimento generalizado e, em consequência, ao rebaixamento do nível do mar até cerca de 120 m abaixo do actual. A descida do nível de base favoreceu a (re-)incisão das redes hidrográficas, desenvolvendo-se sistemas de drenagem com declive, competência e capacidade de transporte e erosão

elevados que desaguavam longe da linha de costa actual. No caso do eixo principal do Tejo, existem evidências de que esta erosão, regressiva, se prolongou para montante, pelo menos até à latitude de Abrantes (Vis, 2009) (Fig. 13); a jusante, na região de Lisboa, o espaço estuarino como o conhecemos hoje não existia, e o Tejo seria um rio anastomosado, com um gradiente da ordem de 0.06%, ao qual afluía toda a rede hidrográfica re-escavada nos terrenos brandos da península de Setúbal e que se prolongava para o domínio da actual plataforma continental, provavelmente em relação com os canhões de Lisboa e de Cascais (Fig. 13) ali depositando materiais grosseiros, arenosos e cascalhentos (Vis, 2009). Datam desta época o pronunciado recorte da linha de fecho envolvente das cabeceiras de vales fluviais da península de Setúbal afluentes à margem esquerda do Tejo (Fig. 2), desenhando um padrão semelhante ao actual, e a geração de um dispositivo morfológico contendo volumoso espaço disponível para acomodar as águas e os sedimentos mobilizados na transgressão subsequente.

A fase transgressiva que sucedeu ao UMG foi motivada por deglaciação generalizada - que se terá iniciado cerca de 18 000 cal BP no Atlântico norte - correlativa de melhoramento climático, com injeção maciça de água doce no oceano, levando a dois pulsos principais de elevação do nível do mar, relacionados com períodos mais quentes; o melhoramento progressivo (embora não linear) do clima teve impacto profundo na organização geomorfológica das terras baixas do litoral do Atlântico norte. No caso do vale do Tejo, a subida do NMM é notada a partir de 14 000 cal BP, quando o nível de base alcançou a cota -80 m e o rio teria passado a correr num canal único (Vis, 2009). Entre aquela data e cerca de 12 000 cal BP, a taxa média de elevação do nível do mar foi muito grande, da ordem de 1 a 10 cm ano<sup>-1</sup>, alcançando cerca de -40 m e afectando o troço exterior do rio primitivo, corredor e fundos adjacentes a leste, até sensivelmente à região da actual Ponte Vasco da Gama (Fig. 14); nos locais mais profundos desenvolveram-se ambientes e fácies marinhas infratidais,

orlados por rasos de maré e prados de sapal, colonizados por vegetação halófitas; a acção das marés era aqui predominante, mas estendia-se também para montante através de influência da elevação do nível de base sobre a superfície freática regional (Vis, 2009). O conhecimento actual não permite detectar no registo sedimentar do vale do Tejo evidências de regressão associadas ao episódio frio do Dryas recente. Pouco após 11 500 cal BP, ocorriam já ambientes salobros, pouco profundos, de raso de maré/sapal, à latitude de Vila Franca de Xira (Vis, 2009) (Fig. 14). Um segundo pulso transgressivo, também intenso, levou a inundações e influências marinhas a penetrar profundamente no curso inferior do vale do Tejo (Daveau, 1980) e culminou cerca de 7000 cal BP em máximo transgressivo; formou-se uma ria vasta e pouco profunda, com a cabeceira do espelho de água permanente localizada sensivelmente na região de Muge, ramificada para o interior dos vales do Trancão, Sorraia, Porto Alto, Alcochete, Monti-

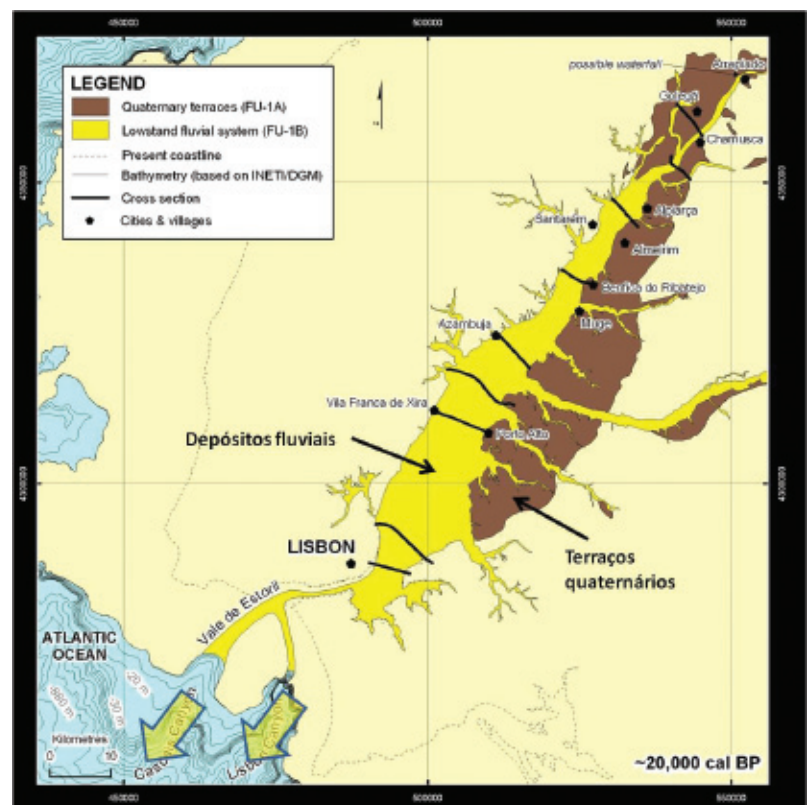


Figura 13 – Reconstrução paleogeográfica do troço inferior do vale do Tejo há 20 000 anos (Vis, 2009). Anotações dos autores.

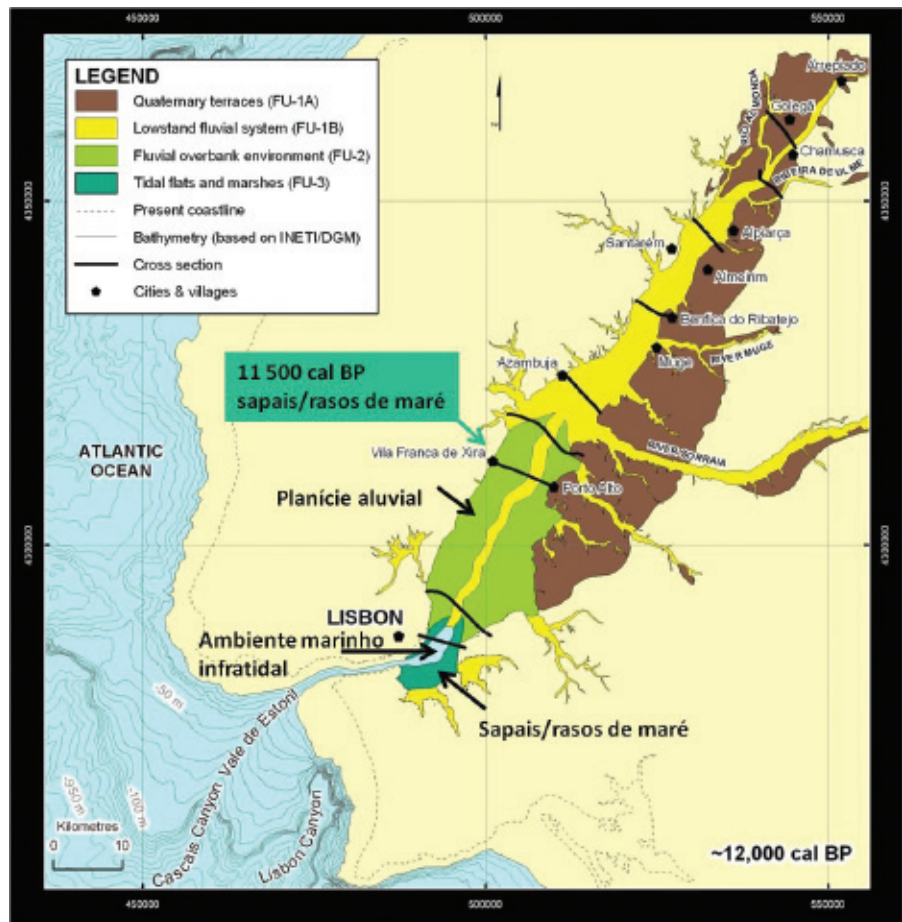


Figura 14 – Reconstrução paleogeográfica do troço inferior do vale do Tejo há 12 000 anos (Vis, 2009). Anotações dos autores.

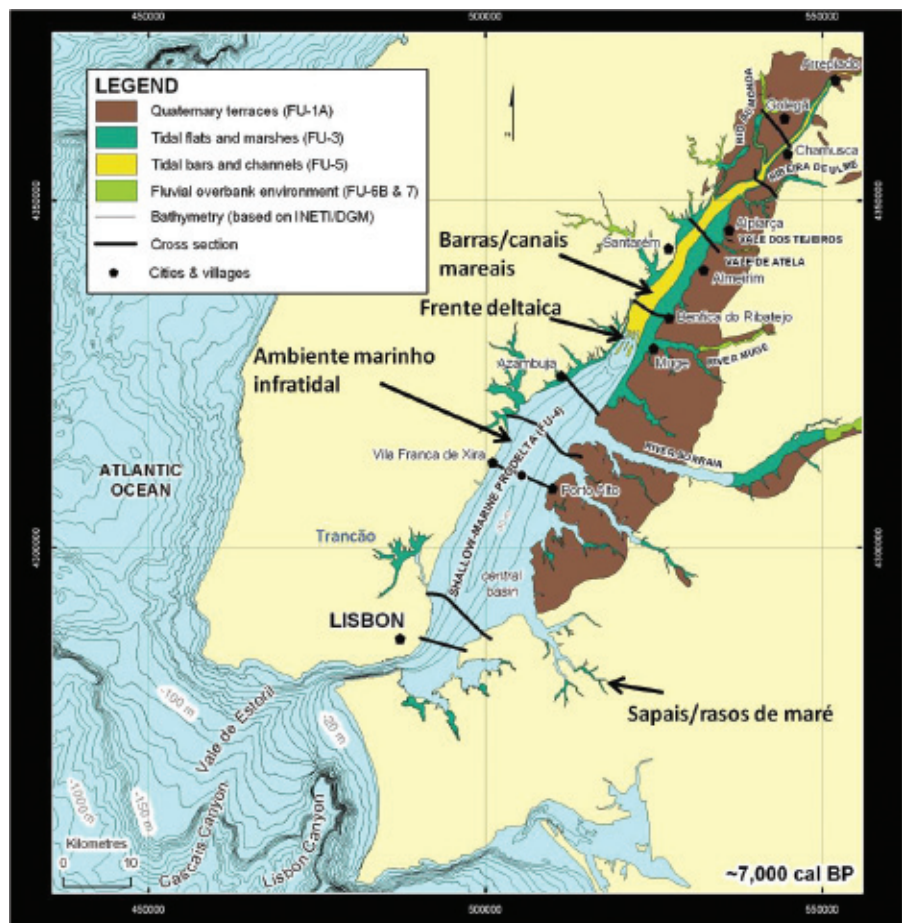


Figura 15 – Reconstrução paleogeográfica do troço inferior do vale do Tejo há 7000 anos (Vis, 2009). Anotações dos autores.

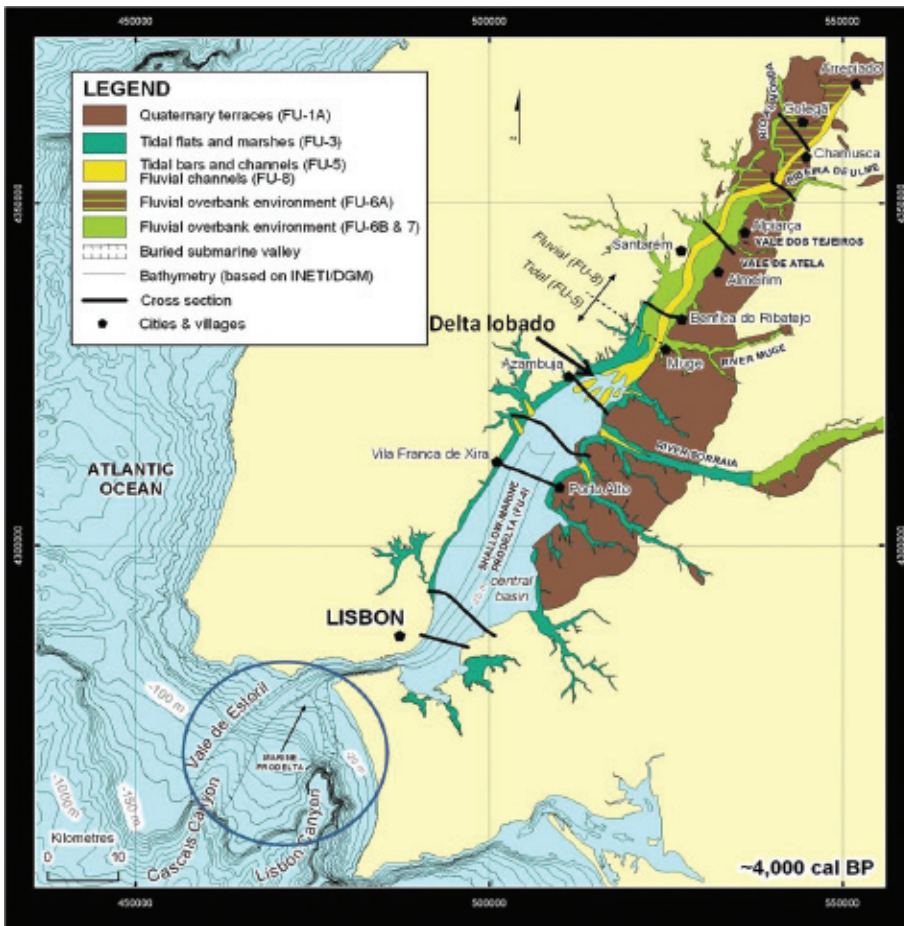


Figura 16 – Reconstrução paleogeográfica do troço inferior do vale do Tejo há 4000 anos (Vis, 2009). Anotações dos autores. O círculo delimita a área de acumulação do delta submarino exterior do Tejo.

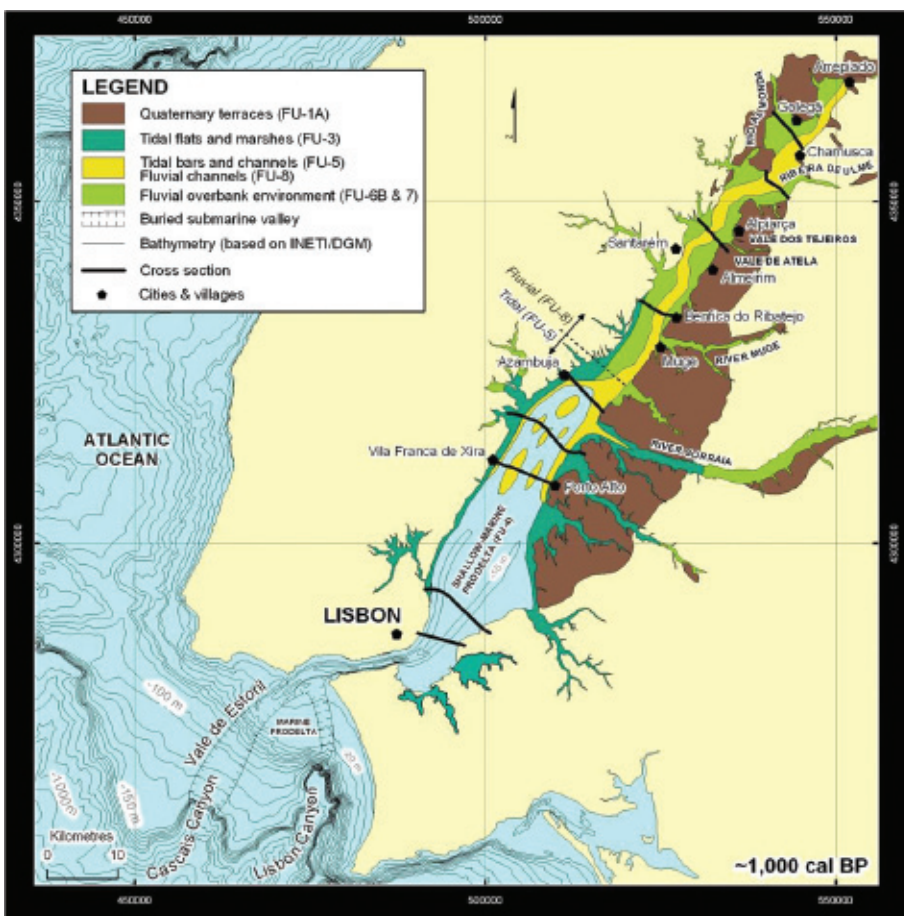


Figura 17 – Reconstrução paleogeográfica do troço inferior do vale do Tejo há 1000 anos (Vis, 2009).

jo, Moita, Coina, Seixal, em cujos cursos inferiores também permanentemente inundados, a fácies marinha e a influência das marés se instalaram durante alguns milhares de anos (Vis, 2009) (Fig. 15). Esta ria ocupava quase 1300 km<sup>2</sup> (quatro vezes mais que a superfície estuarina actual) e prologava-se mais de 100 km para montante, praticamente até à latitude de Torres Novas, incluindo o domínio intertidal.

A data de 7000 cal BP constitui um marco relevante na história geológica da evolução do litoral português, com expressão também no espaço estuarino do Tejo, visto que, desde então até ao presente, o ritmo de elevação do nível do mar decresceu significativamente, mantendo-se a cota do nível de base quase invariante, ou tendo experimentado elevação da ordem de apenas 1-2 m, ou menos.

Entre o máximo transgressivo e o presente, o espaço estuarino iniciou um processo de preenchimento sedimentar irreversível, aprisionando carga sólida em suspensão formada por materiais de proveniência terrígena (fluvial), essencialmente lodosos, que ali fluem hoje à razão  $6 \times 10^5$  m<sup>3</sup> em valor médio anual (Portela, 2004), enquanto a carga de fundo, essencialmente formada por cascalho e areias - e que representa metade daquele valor - se depositava e acumulava (antes, como hoje) no encontro com a bacia estuarina em bancos alongados intertidais, para formar um delta lobado, dominado pelas marés, e progradante sobre o espaço estuarino (Fig. 16). Para montante desta interface, os processos fluviais rapidamente construíram as formas sedimentares características de um rio em agradação plena, provido de uma planície de inundação aluvial extensa e larga; para jusante, a progradação inexorável desta frente deltaica, empurrou ao longo dos últimos 4000 anos, a um ritmo estimado de 1 km século<sup>-1</sup> (Taborda *et al.*, 2009), os ambientes marinhos e salobros dominados pela maré para jusante, abandonando ao sistema fluvial e aos ambientes dulciaquícolas a vasta maioria do espaço anteriormente ocupado pelo estuário que constitui hoje o maior da Europa, apesar de reduzido em dimensões e profundidade.

À elevada capacidade de captura sedimentar da bacia estuarina, que se manteve durante muitos séculos em assoreamento intenso, correspondeu diminuição do espaço de acomodação e crescimento

da possibilidade de transposição do espaço estuarino pela carga sólida mais fina, que se acumulou progressivamente para W do corredor do Tejo, para formar e engordar um delta de vazante localizado entre os canhões de Lisboa e de Cascais (Vis, 2009).

As dimensões do espelho de água estuarino, apesar de progressivamente reduzidas ao longo dos últimos milhares de anos (Fig. 17), mantiveram-se suficientemente elevadas para interagir com os ventos prevalecentes e gerar ondas locais, com período e altura reduzidos, mas suficientes para remobilizar significativamente os sedimentos de fundo e marginais e remodelar a configuração e conteúdos geomorfológicos das margens. Assim, os locais mais favoráveis do ponto de vista geológico e geomorfológico (tergos, colinas, vertentes, modelados em terrenos pliocénicos detríticos brandos, abundantes na margem esquerda

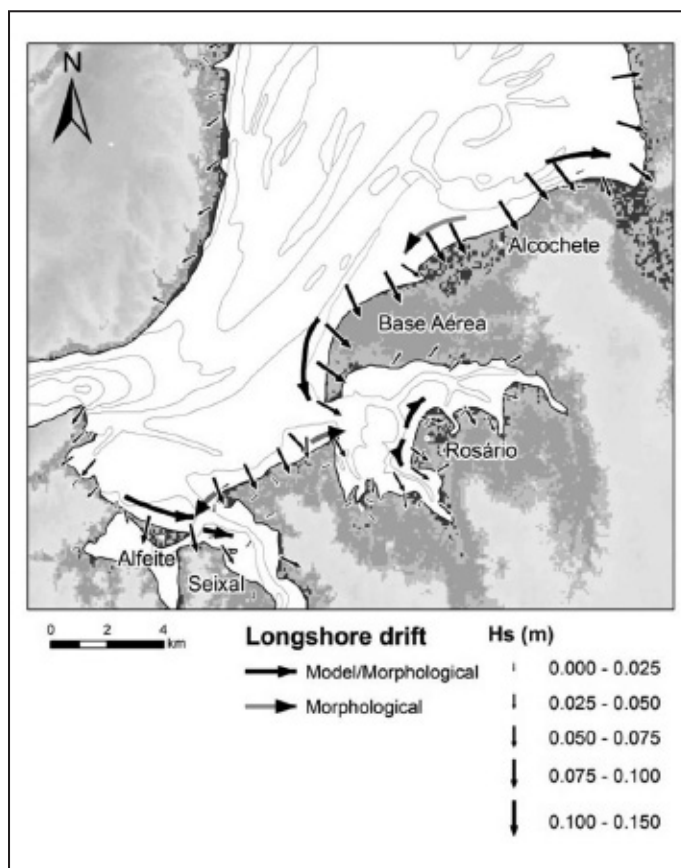


Figura 18 – Altura significativa (Hs) e rumo médio anual das ondas de geração local nas margens do estuário do Tejo (adaptado de Taborda *et al.*, 2009). Rumo da deriva litoral determinado por modelação numérica e indicadores geomorfológicos (flechas curvas a preto) e apenas por indicadores geomorfológicos (flechas curvas a cinzento).

do Tejo, formando pequenos promontórios na linha de costa deste estuário entretanto inundado), tornaram-se presa fácil da erosão, determinada não apenas pelo sistema de erosão hídrica superficial, mas principalmente pela acção directa das ondas de geração local, em sinergia com correntes de maré intensas, relacionadas com um regime mesotidal elevado. O desmonte destes materiais favoreceu a formação de praias e restingas de cascalho e areia (Taborda *et al.*, 2009) (Fig. 18), cuja modelação e crescimento foram favorecidos pela permanência de um nível médio razoavelmente estacionário a escala temporal multimilenar.

O crescimento e remodelação morfológica de restingas e praias arenosas deve ter sido razoavelmente constante ao longo do tempo e, principalmente, na margem esquerda, na qual se reúnem três condições favoráveis à formação e manutenção destas formas: (1) materiais-fonte disponíveis, abundantes e próximos; (2) regime de ventos com prevalência das bandas de Norte e de Sudoeste a Oeste, a favor das maiores distâncias de colecta e, consequentemente do incremento da energia das ondas naquela margem; (3) recorte pronunciado da faixa costeira, com numerosas baías profundas, profusa em inflexões talhadas em materiais brandos disponíveis para alimentar em areias as praias e restingas que regularizaram esta linha de costa. Os ritmos a que estas transformações ocorreram podem, porém, ter variado em função da morfologia local da linha de costa e dos fundos, bem como de variações interdecadais ou de escala mais longa do regime de ventos na zona da Grande Lisboa, uma e outra condicionando a energia e direcção das ondas de geração local e o regime destas ondas em cada ponto da margem esquerda (Fig. 18).

#### 4 – Evolução holocénica da Ponta da Passadeira

No contexto descrito acima, a restinga da Ponta da Passadeira ter-se-ia formado sobre depósitos arenosos fluviais atribuídos ao Plistocénico (Fig. 19a), em consequência da erosão dos relevos marginais do interflúvio que comporta hoje o Barreiro

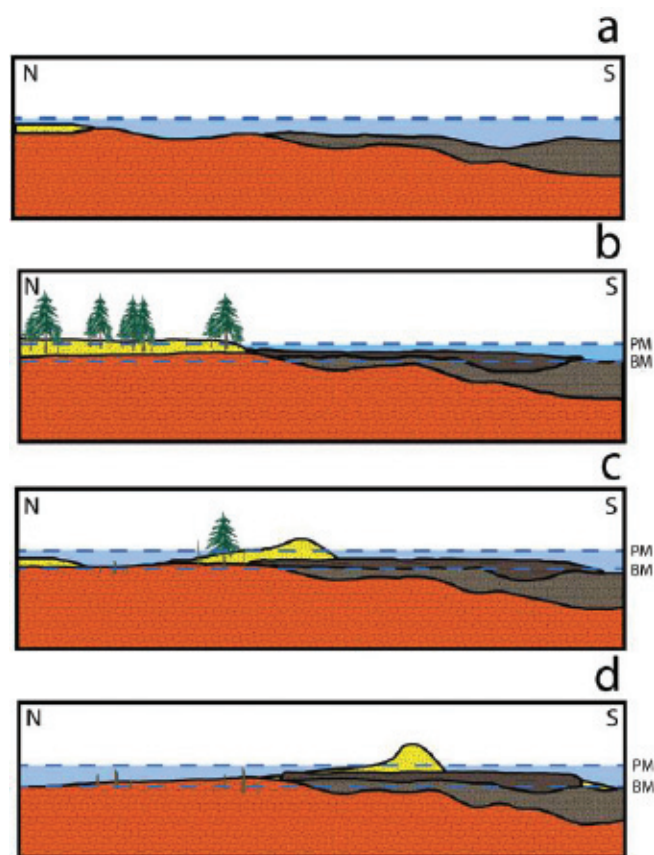


Figura 19 – Representação esquemática do modelo de evolução da Ponta da Passadeira nos últimos 7000 anos. a – formação da restinga (amarelo) sobre substrato pliocénico (vermelho); b – agradação e expansão da restinga, colonização por coberto arbóreo e formação do sapal (cinzento escuro) sobre areias plistocénicas (cinzento claro); c – retrogradação da restinga sobre o sapal, acompanhada de erosão; d – situação actual: corpo arenoso sobre paleossapal aflorante na margem norte, marginado por raso de maré exibindo troncos e raízes fósseis; a sul, o sapal permaneceu em agradação.

e o Lavradio pelas ondas geradas no paleoestuário. Esta formação ocorre no início da desaceleração da subida do nível do mar, cerca de 7200 cal BP (finais do VI milénio antes de Cristo), a julgar pela datação mais antiga obtida nos troncos fósseis acima referidos. A restinga da Ponta dos Corvos (Fig. 1) constitui um análogo possível da paisagem observável na Ponta da Passadeira há 7000 anos atrás (Fig. 20): uma flecha de areia formada por cristas de praia soldadas (Fig. 20A), a favor da deriva litoral local, com largura máxima da ordem dos 300 m, oferecendo ao estuário uma praia reflectiva que contacta com um



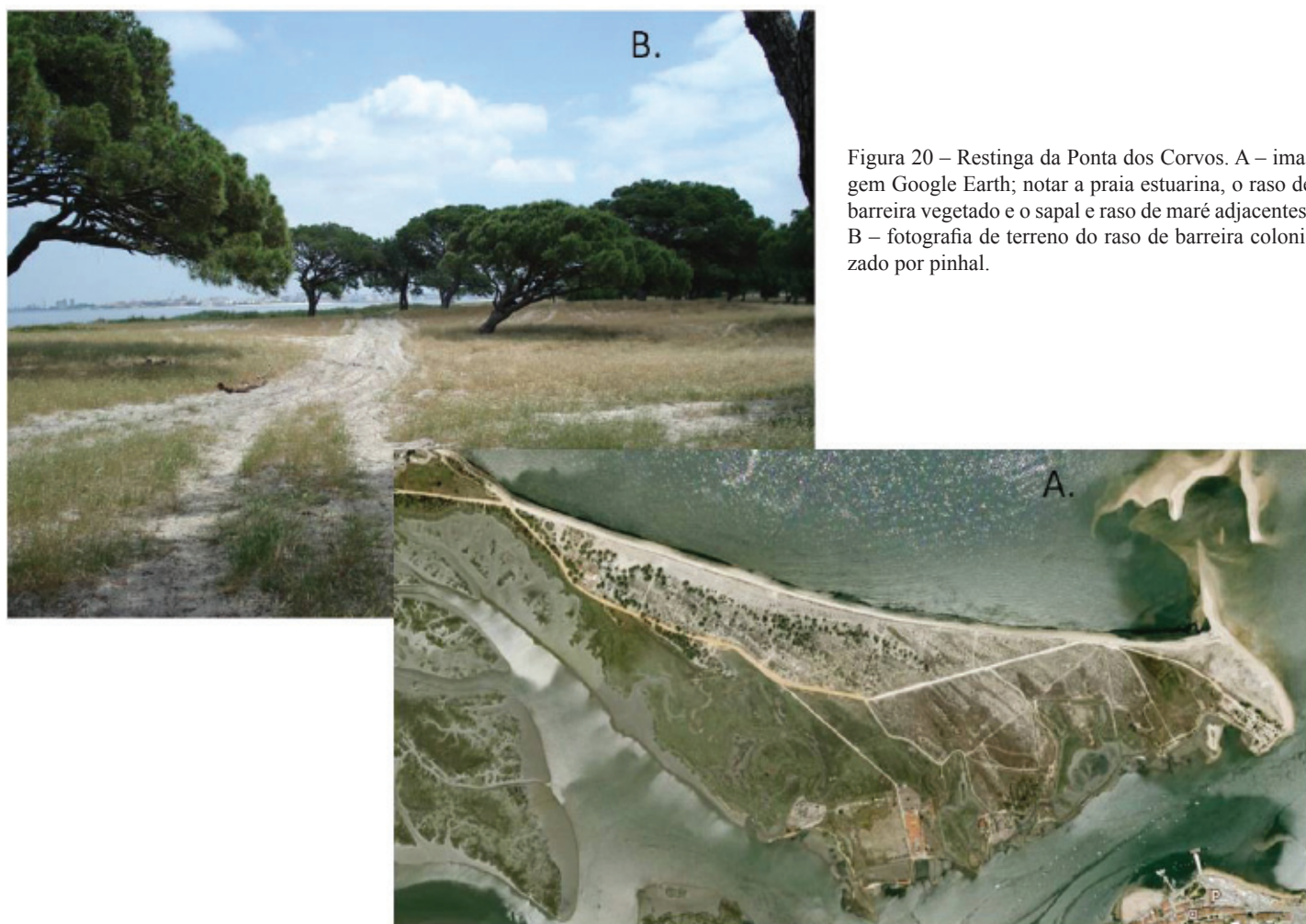


Figura 20 – Restinga da Ponta dos Corvos. A – imagem Google Earth; notar a praia estuarina, o raso de barreira vegetado e o sapal e raso de maré adjacentes; B – fotografia de terreno do raso de barreira colonizado por pinhal.

extenso raso de maré, desprovida de berma e com um raso de barreira parcialmente eolizado e povoado por pinhal com baixa densidade (Fig. 20B); o limite interno da restinga é fortemente recortado e contacta com um sapal, que se estende para o interior e colmata o espaço intertidal ao abrigo daquela barreira (Fig. 20A).

A primitiva restinga da Ponta da Passadeira teria uma largura muito superior à actual, estimada em pelo menos 200 m (a julgar pelos testemunhos da cobertura arbórea coeva), a praia localizar-se-ia mais para NW, tal como os relevos de substrato que lhe servem de âncora e o seu comprimento seria também maior (Fig. 21).

Ao abrigo desta restinga de areia formou-se um sapal (Fig. 19b). As datações de radiocarbono disponíveis sugerem que a base desse antigo sapal

(datado de cerca de 5000 cal BP) seria mais recente que o mais antigo coberto arbóreo da restinga (Fig. 22), sendo este intervalo temporal suficientemente longo para permitir agradação vertical e a sucessão de ambientes intertidais de baixa energia que culminaram em alto sapal maduro, como testemunhado pelo desenvolvimento de fendas de retracção. Efectivamente, por comparação com os análogos actuais, estas estruturas caracterizam superfícies com elevados tempos de exposição, compatíveis com um domínio intertidal muito elevado, somente inundado em águas vivas de amplitude excepcional.

A superfície deste antigo sapal, que se observa hoje na praia (Fig. 7, 8, 23), desenvolve-se entre +1.35 e +1.67 m (NMM) (percentis 50 e 90) – Tabela 2, elevações inferiores às da superfície do alto sapal hoje activo neste local (Fig. 8, 23) (percentil

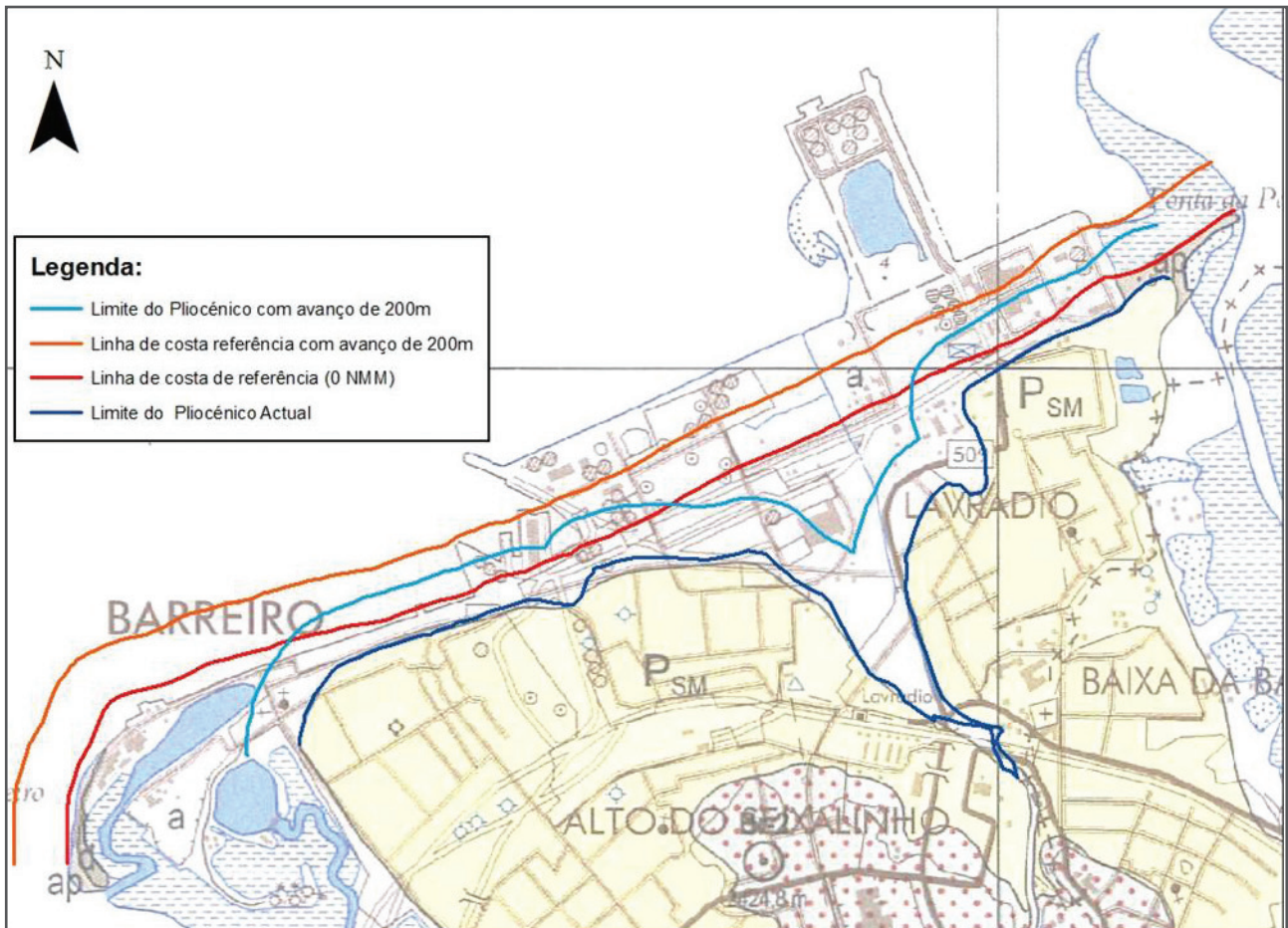


Figura 21 – Traçado das linhas de costa e dos relevos definidos em Pliocénico, na situação de referênciã (actual) e afectados por translação de 200 m para o interior do estuário.

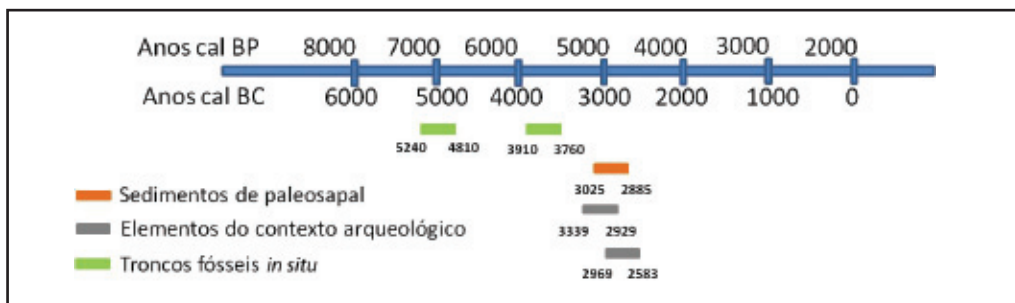


Figura 22 – Intervalos de tempo obtidos por datação radiocarbónica de elementos referidos no texto.

50 +1.48 m; percentil 90 +1.80 m NMM) – Tabela 2.

Os sapais são conteúdos morfossedimentares característicos do domínio intertidal superior e desenvolvem-se entre o nível médio de preia-mar de águas mortas e o nível médio de preia-mar (baixo sapal), e entre este último e o nível máximo de preia-mar (alto sapal) (Davis & Fitzgerald, 2004)

devido aos efeitos limitadores do tempo de submersão sobre a vegetação halófitã, muito específica, que os coloniza. Tomando estes limites altimétricos e os elementos de maré disponíveis para a região em estudo, conclui-se que o alto sapal que hoje margina a Ponta da Passadeira pode desenvolver-se no intervalo altimétrico de +1.32 e +2.32 m (NMM). Com

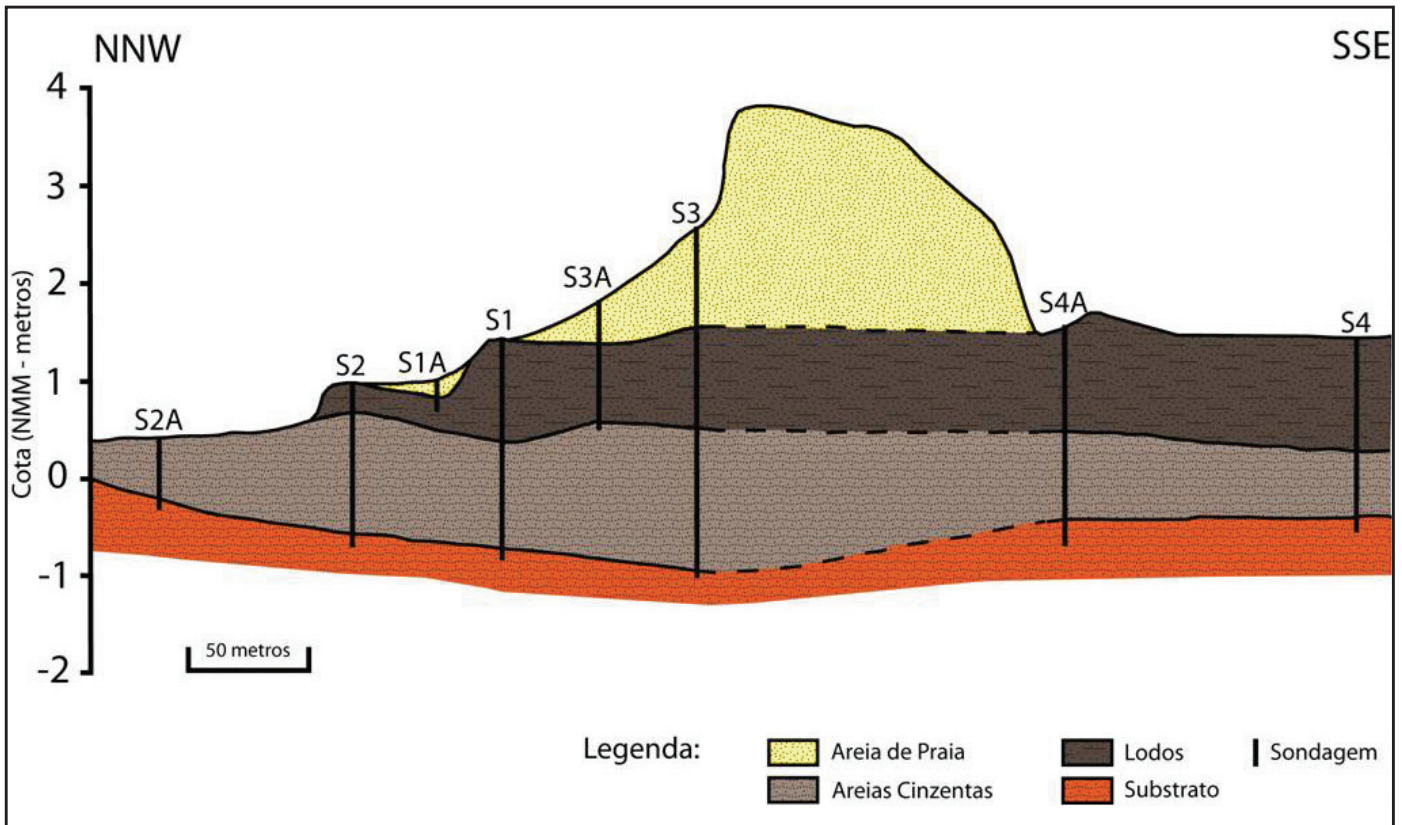


Figura 23 – Corte esquemático (P1) da Ponta da Passadeira, mostrando as principais unidades litoestratigráficas, construído com base na correlação lateral entre sondagens (S1 a S4). Localização do perfil na figura 8.

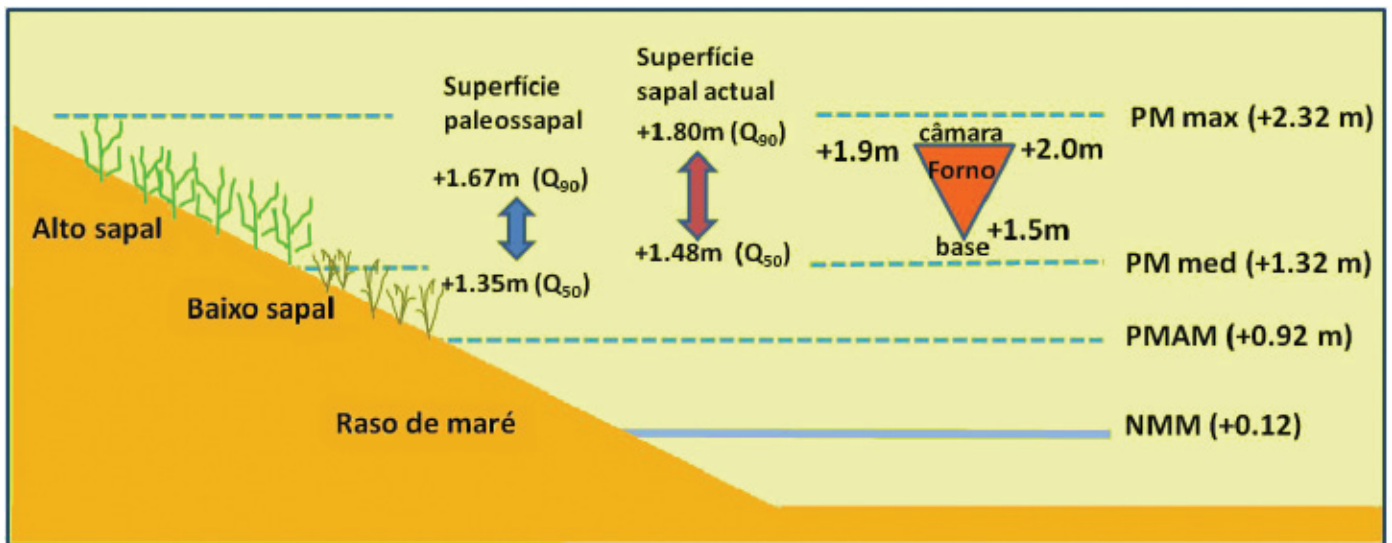


Figura 24 – Representação esquemática das relações altimétricas entre níveis de maré e cotas de elementos datados e georeferenciados (forno, superfície do paleossapal e sapal actual).

Tabela 2- Estatísticas da elevação da superfície do paleossapal e do análogo actual na Ponta da Passadeira ( $Q_n$  – quantis;  $Q_{50}$  – mediana).

Ponta da Passadeira	Cota (NMM)				
	$Q_{10}$	$Q_{20}$	$Q_{50}$	$Q_{80}$	$Q_{90}$
Alto sapal actual	1.37	1.40	1.48	1.59	1.80
Paleossapal	0.31	0.87	1.35	1.59	1.67

Tabela 3 – Limites altimétricos de instalação de sapais reportados na literatura e elementos de maré (m) referidos ao NMM, extraídos da Carta INT 1877 do Instituto Hidrográfico – Porto de Lisboa - de Alcântara ao Canal do Montijo, edição de 2006.

	PM max	PMAV	PM med	PMAM	NM	BMAM	BMAV	BM min
Montijo	+2.32	+1.72	+1.32	+0.92	+0.12	-0.68	-1.48	-2.08
Seixal	+2.32	+1.72	+1.32	+0.92	+0.12	-0.58	-1.48	-1.98

efeito, as cotas daquela superfície, medidas no terreno, estão integralmente contidas naquele intervalo e maioritariamente 0.16 m acima do seu limite inferior.

Atendendo ainda àqueles limites altimétricos, a distribuição de cotas da superfície do paleossapal é compatível com um nível médio do mar próximo do actual na transição do IV para o III milénio BC, se lhe for associado um estágio de desenvolvimento (maturação) inferior ao do sapal actual. Porém, esta hipótese é pouco plausível porque incompatível com o estágio de maturação elevado, deduzido das observações de campo acima referidas. Neste caso, o cenário extremo seria fazer corresponder a superfície do paleossapal ao limite altimétrico da inundação máxima àquela época. Por analogia com as marés actuais (Tabela 3), deduz-se um nível médio de 0.1 (na primeira hipótese) a 0.97 m (na segunda hipótese) mais baixo que o actual.

Os troncos e raízes encontrados na zona intertidal constituem outro indicador interessante. A cota mais elevada encontrada para estas estruturas é de +0.3 m (NMM); admitindo tratar-se de um tronco, que necessariamente se localizaria acima do PMAV e preferencialmente acima do PMmax em vida da árvore, pode obter-se uma segunda estimativa da posição do nível médio do mar coevo de 1.4 a 2.0 m mais baixo que o actual, assumindo invariância da amplitude de maré.

A ocupação humana neolítica deste espaço parece ter privilegiado o tardoz da restinga (raso de barreira), perto da interface com os sapais e os elementos arqueológicos consultados sugerem a existência de fornos de produção cerâmica com a base a + 1.50 m e câmara de combustão a +1.90 a + 2.0 m (NMM) (Fig. 24). Estas altimetrias parecem incompatíveis com o regime de marés e nível do mar actuais, visto que a câmara de combustão se localizaria a escassos 0.18 m acima do PMAV e 0.42 m abaixo do PMmax. Uma vez mais, só é possível compatibilizar esta ocupação com o regime de marés em contexto de nível médio, no mínimo, 0.5 m mais baixo que o actual.

**Em síntese**, a combinação de dados arqueológicos, geomorfológicos e paleontológicos obtidos na Ponta da Passadeira, sugere que o nível médio do mar há 7200 anos atrás estaria 1.4 a 2.0 m mais baixo que o actual e que há cerca de 5000 anos antes do presente esta diferença seria de 0.5 a 1.0 m. Destes valores resultam estimativas da taxa de subida do nível médio do mar de 0.2 a 0.7 mm/ano entre 7200 e 5000 cal BP e de 0.1 a 0.2 mm/ano entre 5000 cal BP e o presente. Estes resultados estão de acordo com os dados objectivos obtidos para a margem algarvia e reportados por Teixeira *et al.* (2005), sendo o valor calculado para o intervalo 7000-5000 cal BP de 0.6 mm/ano (Teixeira, comunicação pessoal, Novembro 2005).

A exaustão de fontes sedimentares associada a pequena elevação do nível médio do mar, terá favorecido a erosão e retrogradação da restinga arenosa sobre o domínio do sapal primitivo (Fig. 19c, d) e sobre a ocupação humana neolítica. Não é impossível, embora fique por demonstrar, que esta evolução possa ter comprometido a viabilidade das actividades que justificavam a ocupação humana naquele local. A retrogradação é um processo que opera durante episódios de temporal, transferindo por galgamento sedimento erodido da praia para o tardo da barreira, colocando-o sobre sapal. A replicação deste mecanismo no espaço e no tempo conduz à translação do corpo arenoso sobre espaço intertidal, permitindo a conservação da barreira em ambientes dominados pelas ondas, com *deficit* sedimentar e em regime transgressivo.

A evolução holocénica da restinga da Ponta da Passadeira reproduz pois à escala de uma bacia estuarina, confinada, mecanismos bem conhecidos em litorais de barreira abertos ao oceano.

A expansão urbana e industrial que afectou esta região desde os anos 70 reactivou o processo erosivo na face exposta às ondas e a restinga tem sofrido adelgaçamento significativo, sem que o seu limite interno acompanhe este recuo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem aos estudantes do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa Alexandre Ovídio, Carlos Cruz e Pedro Claro (Licenciatura em Geologia) e a Ana Rita Pires (Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território) pela colaboração nos trabalhos de campo efectuados na Ponta da Passadeira.

Parte deste trabalho foi financiado pelo Projecto FCT “Morfeed” (PTDC/AAC-AMB/100092/2008).

## 5 - Fontes bibliográficas principais

ALMEIDA, I. M.; ANDRADE, C.; FREITAS, M.C.; MORENO, J.; CABRAL, M.C.; CRAVEI-

RO, S. C.; MARQUES, F. M. S. F. (2009) – Holocene paleoenvironmental evolution of the Lisbon downtown area as recorded in the Esteiro da Baixa sediments – first results. *Journal of Coastal Research*, S. 56, 1, p. 574-578.

AMORIM, A. I. (1999) – *Estudo da evolução recente e da ocupação humana da Ponta da Passadeira (Barreiro – Portugal)*. Relatório de Estágio curricular em Geologia Aplicada e do Ambiente, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, p. 178.

CUNHA, P.; MARTINS, A.; DAVEAU, S.; FRIEND, P. (2005) – Tectonic control of the Tejo river fluvial incision during the late Cenozoic, in Ródão – central Portugal. (Atlantic Iberian border). *Geomorphology*, 64, p. 271-298.

DAVEAU, S. (1980) – Espaço e tempo: evolução do ambiente geográfico de Portugal ao longo dos tempos pré-históricos. *Clio*, 2, p. 13-37.

DAVIS, R. e FITZGERALD, D. (2004) – *Beaches and Coasts*. Blackwell Publishing.

FREITAS, M. C.; ANDRADE, C.; ROCHA, F.; TASSINARI, C.; MUNHÁ, J. M.; CRUCES, A.; VIDINHA, J.; SILVA, C. M. (2003) – Lateglacial and Holocene environmental changes in Portuguese coastal lagoons: 1. The sedimentological and geochemical records of the Santo André coastal area (SW Portugal). *The Holocene*, 13 (3), p. 433-446.

FREITAS, M. C.; ANDRADE, C.; RAMOS, R.; CRUCES, A.; HENRIQUES, V. (2010) – Evolução paleoambiental da planície litoral a sul da Nazaré desde o tardiglacial. Integração no modelo de evolução do litoral ocidental português. In FREITAS, M. C.; ANDRADE, C. (eds), *Proceedings, Iberian Coastal Holocene Paleoenvironmental evolution, Coastal Hope 2010, Lisbon*, p. 48-58.

MARTINS, A. (1999) – *Caracterização morfotectónica e morfossedimentar da Bacia do Baixo Tejo – pliocénico e quaternário*. Dissertação de

Doutoramento, Universidade de Évora, Évora.

PAIS, J.; MONIZ, C.; CABRAL, J.; CARDOSO, J.; LEGOINHA, P.; MACHADO, S.; MORAIS, M.; LOURENÇO, C.; RIBEIRO, M.; HENRIQUES, P.; FALÉ, P. (2006) – *Notícia Explicativa da Folha 34-D (Lisboa)*. Lisboa: INETI.

PORTELA, L. (2004) - An approximate sediment budget for the Tagus Estuary. *3rd International SedNet Conference: the future of sediment management in Europe*, Conference Documents, European Sediment Research Network, p. 3.

SOARES, J. (1996) – *Ponta da Passadeira – Barreiro Pré-Histórico*. Brochura de informação – património arqueológico. Câmara Municipal do Barreiro e Museu de Arqueologia e Etnografia do Distrito de Setúbal/Assembleia Distrital de Setúbal.

SOARES, J. (2008) – Economias anfíbias na costa sudoeste ibérica IV/III miénios BC – o caso da Ponta da Passadeira (estuário do Tejo). In M. S. HERNANDEZ PÉREZ; J. A. SOLER DÍAZ e J. A. LÓPEZ PADILLA (eds.), *Actas del IV Congreso del Neolítico Peninsular* (Alicante, 2006), T. 2, p. 356-364.

TABORDA, R.; FREIRE, P.; SILVA, A.; ANDRADE, C.; FREITAS, M. C. (2009) – Origin and evolution of Tagus estuarine beaches. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 1, p. 213-217.

TEIXEIRA, S.; GASPAR, P.; ROSA, M. (2005) – Holocene sea-level index points on the Quarteira coast (Algarve, Portugal). In M. C. FREITAS e T. DRAGO (eds.), *Proceedings, Coastal Hope 2005 - Iberian Coastal Holocene Paleoenvironmental Evolution*, Lisboa, Julho 2005, p. 125-127.

VIS, G-J. (2009) – *Fluvial and marine sedimentation at a passive continental margin. The late Quaternary Tagus depositional system*. Tese de Doutoramento, Vrije Universiteit, the Netherlands.