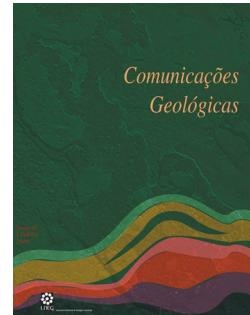


# Depósitos costeiros quaternários do noroeste de Portugal (Minho – Neiva): caracterização, datação e interpretação paleoambiental

## Quaternary coastal deposits of NW Portugal (Minho – Neiva area): characterization, dating and paleoenvironmental interpretation

R. P. Carvalhido<sup>1,2\*</sup>, D. I. Pereira<sup>1,3</sup>, P. P. Cunha<sup>4</sup>

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Artigo Curto  
Short Article

**Resumo:** Este estudo apresenta a caracterização e datação absoluta de depósitos costeiros quaternários do NW Portugal, situados entre a foz dos rios Minho e Neiva, definindo-se a litostratigrafia e propondo-se uma correlação com os Estadios Isotópicos Marinhos MIS9-MIS1. Foram identificados paleoambientes continentais (pequenos leques aluviais e de cursos de água) e de transição (dunas eólicas, lagoas interdunares, estuário, praias de areia e de seixo) datados através de Luminescência Opticamente Estimulada (Método SAR - quartzo e feldspato) e AMS 14C. Estes depósitos constituem 16 unidades litoestratigráficas conservadas nas plataformas costeiras modeladas a ca. 13 m (terraço T2), a ca. 8 m (terraço T3) e ca. 3 m (terraço T5) (n.m.m.), definindo 3 formações: a Formação de S. Sebastião (T2), provavelmente correlativa do MIS9; a Formação da Estrada Real (T3), provavelmente correlativa do MIS7 e a Formação de S. Domingos (T5), com 4 membros (Cão, S. Domingos, Montedor e Galeão) e compreendendo o intervalo temporal do MIS5 ao MIS1.

**Palavras-chave:** Terraços costeiros, Litostratigrafia, OSL, C14, NO de Portugal.

**Abstract:** This study presents the characterization and absolute dating of Quaternary coastal deposits of NW Portugal, between the mouths of the rivers Minho and Neiva, defines their lithostratigraphy and ascribes them to the interval MIS9-MIS1. The deposits record continental (small alluvial fans and streams) and transition paleoenvironments (eolian dune, interdune ponds, estuary, sandy and pebble beaches) dated by Optically Stimulated Luminescence (OSL SAR method - quartz and feldspar) and AMS 14C methods. These deposits constitute 16 lithostratigraphic units preserved in coastal platforms modelled ca. 13 m (terrace T2), ca. 8 m (terrace T3) and ca. 3 m (terrace T5) (asl). The main units are: St. Sebastião Fm. (T2), considered correlative to the MIS9; Estrada Real Fm. (T3), considered correlative to the MIS7; and the St. Domingos Fm. (T5), with 4 members (Cão, St. Domingos, Montedor and Galeão) and age comprising the interval MIS5 to MIS1.

**Keywords:** Coastal terraces, Lithostratigraphy, Luminescence dating, C14 dating, NW Portugal.

## 1. Introdução

### 1.1. Estudos prévios

Apesar do litoral do distrito de Viana do Castelo constituir uma extensa área de afloramentos, distribuídos ao longo de mais de 30 km de costa, a evolução subatual da paisagem, nomeadamente durante a *Pequena Idade do Gelo*, terá contribuído para a ocultação da maioria das formações sedimentares, nomeadamente pelo desenvolvimento de uma extensa cobertura dunar, que poderá, em parte, explicar o desinvestimento científico nesta área nas últimas décadas.

A tendência de recuo que a linha de costa tem recentemente mostrado, revelou um importante registo sedimentar, cujo estudo possibilitou revisão da concepção tradicional dos paleoambientes da fachada atlântica do norte de Portugal, estabelecida em torno da terminologia de Costa & Teixeira (1957) - *Formação Areno-Pelítica de Cobertura*, bem como termos similares: Cobertura areno-pelítica, Areno-pelítico, Depósito areno-argiloso, Formação Areno-Argilosa do Litoral, Formação de Cobertura e Formação areno-limosa (e.g. Alves, 1996; Carvalho & Granja, 2003; Ribeiro, 2003). Carvalho & Granja (2003) reconhecem que esta formação não tem sido motivo do devido estudo aprofundado quando comparado, por exemplo, com outras formações como a de Mougás. Alves (1996) referiu-se à Formação areno-limosa como sendo constituída por duas unidades – UI (unidade inferior), de origem eólica e US (unidade superior) proveniente de alimentação local.

## 1.2. Área em estudo

Na figura 1 apresenta-se a área em estudo, as 11 estações de amostragem (situadas entre ca. 3 e ca. 13 m de altitude), a linha de costa, a rede de drenagem e as principais falhas.

<sup>1</sup>Geology Centre, University of Porto, Portugal.

<sup>2</sup>Centre for Environmental and Marine Studies, University of Aveiro, Portugal.

<sup>3</sup>Earth Sciences Department, University of Minho, Portugal.

<sup>4</sup>Department of Earth Sciences, IMAR-CMA, University of Coimbra, Portugal.

\*Autor correspondente/Corresponding author: carvalhido@dct.uminho.pt

## 2. Metodologias

O trabalho de campo incidiu no registo da estratigrafia e sedimentologia (fácies sedimentares, cor, arquitetura deposicional, etc.) com base nas propostas de Miall (1996), incluindo recolha de informação sobre o tamanho máximo (MPS) e litologia dos clastos, e indicadores de paleocorrentes. Foram ainda realizadas colheitas para datação absoluta ( $C^{14}$  e OSL). O trabalho laboratorial incidiu: na micropaleontologia (pólens, frústulas de diatomáceas e esporos), segundo metodologia proposta por Moro & Bicudo (2002); na mineralogia, morfoscopia e morfometria da fração leve dos sedimentos 250-500  $\mu\text{m}$ , segundo propostas de Carvalho (1965). Foi também calculado o teor de matéria orgânica através do método de *loss-on-ignition* segundo proposta de Heiri *et al.* (2001). A análise dimensional foi executada através de crivagem da fração areia segundo malhas crescentes em intervalos iguais a  $\sqrt{2}$ ; a distribuição da fração inferior a 62  $\mu\text{m}$  e

até ao limite de 0.2  $\mu\text{m}$ , foi analisada com recurso a granulómetro de difração Rx - Sedigraph 5100.

## 3. Resultados

Os dados de campo e de laboratório permitiram identificar 16 unidades litoestratigráficas distribuídas, no essencial, por 3 terraços (assentes em plataformas costeiras). São propostas as seguintes formações geológicas: Formação de S. Sebastião (T2 - 13 m, n.m.m.), Formação de Estrada Real (T3 - 8 m, n.m.m.) e Formação de S. Domingos (T5 - 3 m, n.m.m.). A Formação de S. Domingos é constituída por 4 membros com localização e idades absolutas características: Membro de Galeão (MIS1), Membro de Montedor (MIS2 e MIS1), Membro de S. Domingos (MIS4 e MIS3) e Membro do Cão (MIS5e).

As três formações compreendem depósitos de ambientes continentais e de transição, nomeadamente praia, duna, estuário, fluvial, aluviais (*debris-flow, grain-flow, mud-flow, solifluxão*), lagoa e pântano (Fig. 2).

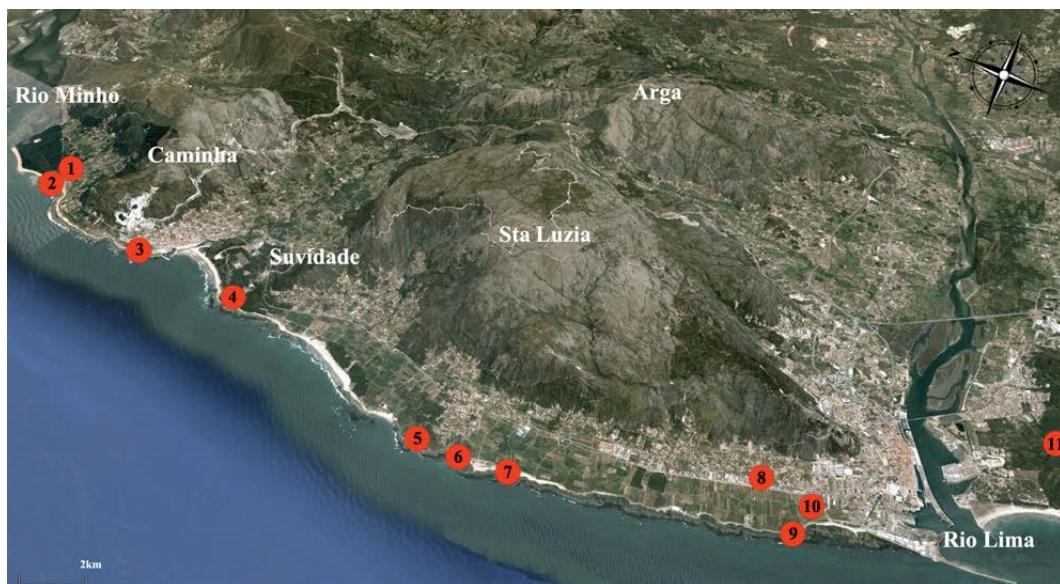


Fig. 1. Estações de estudo e de amostragem das unidades quaternárias do litoral norte de Portugal. A escala varia segundo a perspetiva. Imagem do Google Earth.

Fig. 1. Location of the studied sites of the Quaternary units of the northern coast of Portugal. The scale varies accordingly to the perspective. Google Earth's image.

### 3.1. Sedimentologia e interpretação paleoambiental

O terraço T1 (20-18 m de altitude) tem representação escassa e consiste numa plataforma com cobertura sedimentar residual (Fig. 2).

#### *Formação de S. Sebastião - Areosa*

A Formação de S. Sebastião aflora no terraço T2 (ca. 13 m n.m.m.), em Forte do Cão e em S. Sebastião. É constituída por três unidades litoestratigráficas (Fig. 2): U1 - *Conglomerados e Areias do Forte do Cão* (Fig. 3C), que em Forte do Cão representa uma praia de seixos, equivalente lateral da U1 de S. Sebastião, uma praia arenosa; U2 - *Areias e Siltes de S. Sebastião* (Fig. 3B), aflora em S. Sebastião e constitui um depósito de fácies

estuarina, sugerindo a posição do estuário do Lima cerca de 3 km a norte da atual localização; U3 - *Areias Superiores de S. Sebastião* (Fig. 3A), fácies de enchimento de canal refletindo a instalação de um regime fluvial do tipo inundação episódica que evolui para leque aluvial. A datação por luminescência revelou que o sinal PIRIR290 está muito próximo da saturação (Carvalhido *et al.*, 2014), pelo que as idades obtidas para a U1 (>220 ka) e U3 (>210 ka) deve ser considerada mínima.

#### *Formação da Estrada Real - Moledo*

A Formação da Estrada Real preenche o terraço T3 (ca. 8 m n.m.m.) e está bem representada na Estrada Real, em Moledo. Identificaram-se 3 unidades sobre o substrato

granítico, que mostra evidências morfológicas de ocupação marinha (e.g. marmitas): U4 - *Areias da Estrada Real* (Fig. 3F), interpretada como um ambiente aquático lacustre, com bom arejamento, evoluindo para confinamento. Esta unidade está ravinada por depósitos de *debris-flow* (U5 – *Conglomerados Inferiores da Estrada Real*) (Fig. 3E) que passa lateralmente a seixos imbricados, bem calibrados (U6 – *Conglomerados Superiores da Estrada Real*) (Fig. 3D), interpretados como o registo um nível de praia (9 m, n.m.m.). A datação OSL sobre os grãos de Qtz e Fk da U4 revelou o sinal OSL em saturação, pelo que a idade obtida (> 220 ka) é mínima (Carvalhido *et al.*, 2014).

### Formação de S. Domingos - Moledo

Os terraços T4 e T5 têm um enchimento sedimentar de génesis continental e de transição, e que constitui a Formação de S. Domingos. Nas superfícies de terraço observaram-se formas erosivas que indicam a origem marinha dessas superfícies: T5 - entalhes basais e alvéolos de *Paracentrotus lividus* (ouriço-do-mar), e T4 - apenas entalhes basais.

As unidades sedimentares mais recentes (U16 à U7) foram observadas principalmente no T5 e raramente o T4. Os depósitos que cobrem o T4 são, principalmente, gerações de depósitos de dunas eólicas de idade diversa (e.g. *Areias da Ronca de Montedor* – U8 e *Areias de Galeão* – U16) e depósitos aluviais.

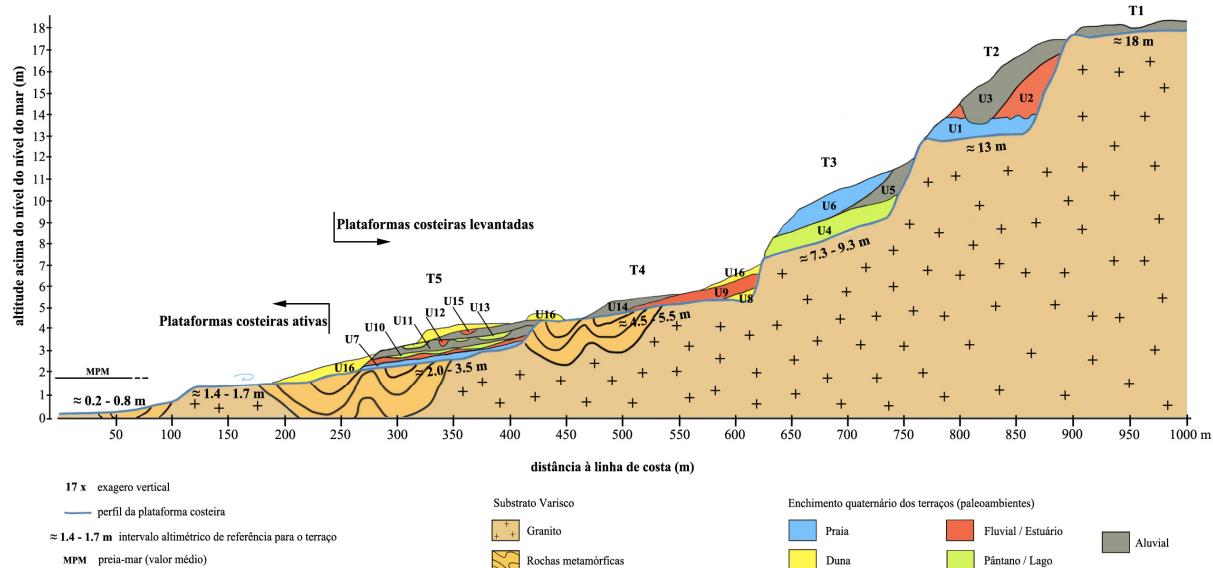


Fig. 2. Paleoambientes do litoral norte de Portugal (entre os rios Minho e Neiva). Adaptado de Carvalhido *et al.* (2014).

Fig. 2. Paleoenvironments of the north coast of Portugal (between the rivers Minho and Neiva). Adapted from Carvalhido *et al.* (2014).

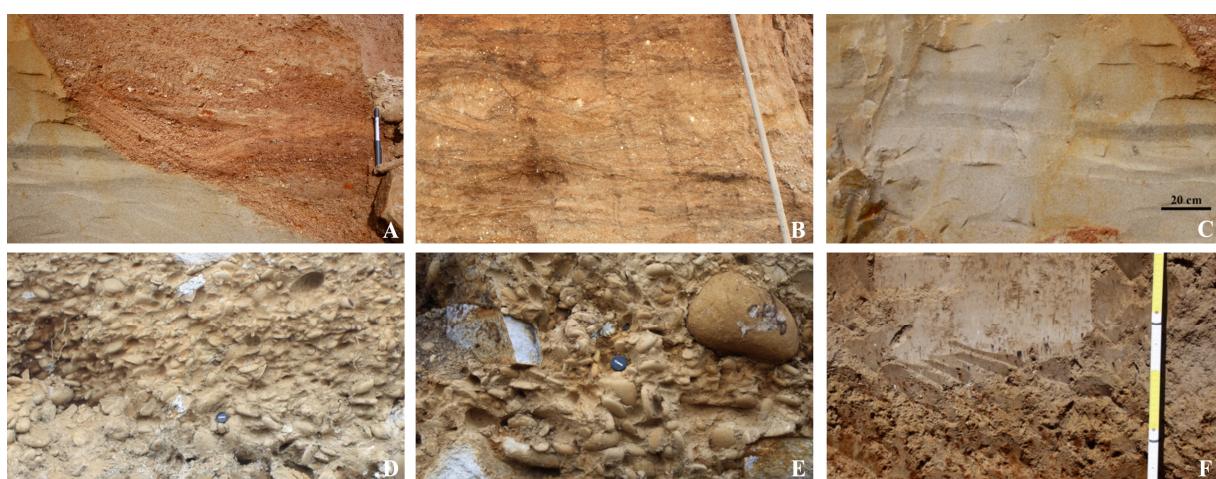


Fig. 3. (A) *Areias Superiores de S. Sebastião* – U3; (B) *Areias e Siltes de S. Sebastião* – U2; (C) *Conglomerados e Areias de S. Sebastião* – U1; (D) *Conglomerados Superiores da Estrada Real* – U6; (E) *Conglomerados Inferiores da Estrada Real* – U5; (F) *Areias da Estrada Real* – U4.

Fig. 3. (A) *S. Sebastião Upper Sands* – U3; (B) *S. Sebastião Sands & Silts* – U2; (C) *S. Sebastião Gravels & Sands* – U1; (D) *Estrada Real Upper Gravels* – U6; (E) *Estrada Real Base Gravels* – U5; (F) *Estrada Real Sands* – U4.

### Membro de Galeão

O Membro de Galeão corresponde a depósitos de areias bem calibradas de idade histórica (século XVI a XVIII) de origem eólica (*Areias de Galeão* – U16, Fig. 4A) e fluvial (*Areias da Ribeira da Areia* – U15, Fig. 4B).

### Membro de Montedor

O Membro de Montedor corresponde a depósitos com idades entre o MIS2 e o MIS1, sendo constituído por 2 unidades litoestratigráficas:

- Os *Conglomerados e Areias de Rego de Fontes* (U14) (Fig. 4C) representam condições deposicionais com alguma variabilidade sedimentológica, função da disponibilidade de água, variando entre depósitos mais grosseiros – regime torrencial (grain-flow a debris-flow) e depósitos finos – processos solifluxivos.
- Os *Siltos da Cambôa do Marinheiro* (U13) registam processos sedimentares de drenagem difusa com escassez de água e terão contribuído para a formação de corpos lacustres altamente confinados, com caráter pantanoso, instalados em depressões costeiras da plataforma litoral. Os dados palinológicos reportam presença de escassa floresta local de pinheiros com rara cobertura arbustiva e confirmam a presença de charcos (Carvalhido et al., 2014). O ambiente evoluiu no sentido do desenvolvimento das espécies herbáceas e arbustivas, como a *Oleaceae*, o que

poderá denotar condições ambientais de alguma secura.

### Membro de S. Domingos

O Membro de S. Domingos representa a maior parte das unidades litoestratigráficas da Formação de S. Domingos, com idades entre o MIS4 e o MIS3.

As *Areias da Ribeira de Portela* (U12) (Fig. 4D), as *Areias Superiores de S. Domingos* (U11) (Fig. 4E) e as *Areias e Siltes de S. Domingos* (U10) (Fig. 4F) reportam redução progressiva da influência marinha indireta: lagoas/pântanos interdunares (U10), leques aluviais (grain-flow e mud-flow) (U11) e depósitos fluviais (U12). As condições de deposição são marcadas pela disponibilidade de água, com o aumento da hidrodinâmica para o topo das unidades. A U10 evidencia instalação de um solo.

As *Areias de Sto Isidoro* (U9) (Fig. 4G) e as *Areias da Ronca de Montedor* (U8) (Fig. 4H) são arenitos ferruginosos de origem fluvial e eólica, respetivamente, instalados em clima quente sub-húmido a seco.

### Membro do Cão

O Membro do Cão corresponde aos *Conglomerados e Areias do Forte do Cão* que representam as condições interglaciárias do MIS5. Esta unidade aflora no Forte do Cão (Fig. 4I), mas também em Moledo (fácies de areia grossa) e na Praia do Cabedelo (conglomerado clasto-suportado), a sul do Rio Lima.



Fig. 3. (A) *Areias de Galeão* – U16; (B) *Areias da Ribeira da Areia* – U15; (C) *Conglomerados e Areias de Rego de Fontes* – U14; (D) *Areias da Ribeira de Portela* – U12; (E) *Areias Superiores de S. Domingos* – U11; (F) *Areias e Siltes de S. Domingos* – U10; (G) *St. Isidoro Sands* – U9; (H) *Ronca de Montedor Sands* – U8; (I) *Forte do Cão Gravels & Sands* – U7.

Fig. 3. (A) *Galeão Sands* – U16; (B) *Ribeira da Areia Sands* – U15; (C) *Rego de Fontes Gravels & Sands* – U14; (D) *Ribeira de Portela Sands* – U12; (E) *S. Domingos Upper Sands* – U11; (F) *St. Domingos Sands & Silts* – U10; (G) *St. Isidoro Sands* – U9; (H) *Ronca de Montedor Sands* – U8; (I) *Forte do Cão Gravels & Sands* – U7.

## 4. Resultados

No litoral norte de Portugal (setor Minho-Neiva) foram identificadas 3 formações geológicas distribuídas por 3 níveis de terraços: Formação de S. Sebastião (T2 - 13 m, n.m.m.), Formação da Estrada Real (T3 - 8 m, n.m.m.) e Formação de S. Domingos (T5 - 3 m, n.m.m.). A Formação de S. Domingos é constituída por 4 membros: Membro de Galeão (MIS1), Membro de Montedor (MIS2 e MIS1), Membro de

S. Domingos (MIS4/3) e Membro do Cão (MIS5e) (Tabela 1).

As 16 unidades litoestratigráficas identificadas registam ambientes continentais e de transição, nomeadamente praia, duna, estuário, fluvial, aluvial (depósitos de *debris-flow*, *grain-flow*, *mud-flow* e solifluxão), lagoa e pântano, que ocorreram entre o MIS9 e o MIS1.

Tabela 1. Litostratigrafia dos depósitos costeiros quaternários do NO de Portugal (Minho – Neiva).

Table 1. Lithostratigraphy of the quaternary coastal deposits of NW of Portugal (Minho - Neiva).

Formação (ref. terraço)	Membros	Unidades litoestratigráficas (est. amostragem) [código unidade]	Ambientes	Idade absoluta (Qtz / Fk)	MIS
Formação de S. Sebastião (Areosa) (T2)	---	Areias Superiores de S. Sebastião (8) [U3]	fluvial / leque aluvial	>108±11 ka (Qtz) >220 ka (Fk)	MIS9
		Areias e Siltes de S. Sebastião (8) [U2]	estuário	---	MIS9
		Conglomerados e Areias de S. Sebastião (8) [U1]	praia	>153±9 ka (Qtz) >210 ka (Fk)	MIS9
Formação da Estrada Real (Moledo) (T3)	---	Conglomerados Superiores da Estrada Real (1) [U6]	praia	---	MIS7.3
		Conglomerados Inferiores da Estrada Real (1) [U5]	debris-flow	---	MIS7.4
		Areias da Estrada Real (1) [U4]	praia	>103±25 ka (Qtz) >220 ka (Fk)	MIS7.5
Formação de S. Domingos (Moledo) (T5)	Membro de Galeão	Areias de Galcão (11) [U16]	duna	220±10 anos (Qtz)	MIS1
		Areias da Ribeira da Arcia (11) [U15]	fluvial	390±30 anos (Qtz)	MIS1
	Membro de Montedor	Conglomerados e Areias de Rego de Fontes (9) [U14]	grain-flow/mud-flow/solifluxão	13234-13043 anos Cal BP	MIS2/1
		Siltos da Câmbio do Marinheiro (6) [U13]	pântano	20885-20447 anos Cal BP	MIS2
	Membro de S. Domingos	Areões da Ribeira de Portela (10) [U12]	fluvial	30±2 ka (Qtz)	MIS3
		Areias Superiores de S. Domingos (2) [U11]	lagoa	48±3 ka (Qtz) 54±4 ka (Qtz)	MIS3
		Areias e Siltes de S. Domingos (2) [U10]	lagoa interdunar	53±5 ka (Qtz) 56±3 ka (Qtz)	MIS4/3
		Areias de Sto. Isidoro (3) [U9]	fluvial	61±4 ka (Qtz) 67±4 ka (Qtz)	MIS4
		Areias da Ronca de Montedor (5) [U8]	duna	66±5 ka (Qtz)	MIS4
	Membro do Cão	Conglomerados e Areias do Forte do Cão (4) [U7]	praia	---	MIS5e

## Referências

- Alves, A.M.C., 1996. *Causas e Processos da Dinâmica Sedimentar na Evolução Actual do Litoral do Alto Minho*. Tese de doutoramento, Universidade do Minho (não publicada), 438 p.
- Carvalhido, R.P., Pereira, D.I., Cunha, P.P., Buylaert, J.-P., Murray, A.S., 2014. Characterization and dating of coastal deposits of NW Portugal (Minho-Neiva area): A record of climate, eustasy and crustal uplift during the Quaternary. *Quaternary International*, **328-329**, 94–106.
- Carvalho, A., 1965. *Apontamentos de Sedimentologia Aplicada à Geomorfologia*. Universidade de Lisboa, 168 p.
- Carvalho, G.S., Granja, H.M., 2003. As mudanças da zona costeira pela interpretação dos sedimentos pliocénicos e holocénicos (metodologia aplicada à zona costeira do noroeste de Portugal). *Revista da Faculdade de Letras - Geografia*, I Série, **19**, 225-236.
- Costa, J., Teixeira, C., 1957. *Carta geológica de Portugal na escala 1:50 000. Notícia explicativa da folha 9C - Porto*. Serviços Geológicos de Portugal.
- Heiri, O., Lotter, A., Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, **25**, 101–110.
- Miall, A., 1996. *The geology of fluvial deposits; sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Springer-Verlag, New York, 582 p.
- Moro, R., Bicudo, C., 2002. Estimativa da densidade valvar de diatomáceas em lâminas permanentes e em câmaras de sedimentação: qual método utilizar? *Acta Limnologica Brasiliensis*, **14(1)**, 53-57.
- Ribeiro, I., 2003. *Deformação neotectónica pós-pliocénica na zona costeira entre os Rios Minho e Ave*. Tese de doutoramento, Universidade do Minho (não publicada), 357 p.