

Caracterização Sedimentológica e Hidrodinâmica actual dos Sub-sistemas Estuarinos do Mondego (Portugal Centro-ocidental)

P. Proença Cunha
Geólogo, Professor Auxiliar

J. Dinis
Geólogo, Assistente

Grupo de Estudo dos Ambiente Sedimentares - Centro de Geociências da Univ. Coimbra
Departamento de Ciências da Terra; Fac. Ciências e Tecn. da Univ. Coimbra;
Largo Marquês de Pombal; 3049 Coimbra Codex, Portugal

Resumo

Apresenta-se uma síntese da caracterização sedimentológica e hidrodinâmica actual dos sub-sistemas do Estuário do Mondego. Os dados foram obtidos pelo registo de parâmetros hidrodinâmicos e físico-químicos (salinidade, temperatura, velocidade e orientação das correntes, turbidez, concentração de silte/argila, pH e Eh), ao longo de perfis longitudinais, de 1994 a 1996; para além da obtenção de uma pormenorizada carta de sedimentos, o estudo sedimentológico incluiu uma abundante amostragem de sedimentos superficiais para a determinação laboratorial da granulometria, mineralogia e morfoscopia. Discute-se a circulação sedimentar na área estuarina e a influência relativa dos controles sedimentares.

Palavras-chave

Estuário, Dinâmica sedimentar, Granulometria, Mineralogia

1. Introdução

Objectivos

Sintetizam-se resultados obtidos em campanhas de campo realizadas em 1994-1996 (Cunha *et al.*, 1997a), respeitantes à distribuição dos sedimentos nas áreas activas, hidrodinâmica e dados físico-químicos das águas no Estuário do Mondego (Fig. 1), visando a caracterização dos controlos da dinâmica sedimentar e elaborar um esquema da actual circulação sedimentar estuarina. Atendendo à diferenciação das características morfodinâmicas e sedimentares a seguir descritas, serão considerados dois sub-sistemas estuarinos, respectivamente, Mondego e Pranto.

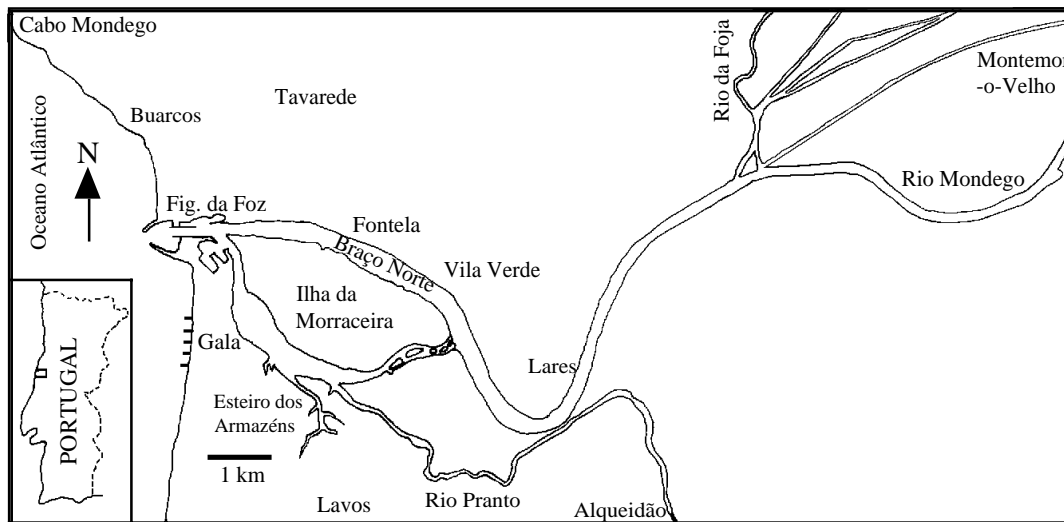


Figura 1 - Enquadramento geográfico do Estuário do Mondego.

Metodologias

Para uma aproximação aos esquemas de mistura de águas no estuário, registou-se a salinidade, temperatura, velocidade e orientação das correntes, turbidez, concentração de silte e argila, pH e Eh. As medições, de jusante para montante, foram feitas separadamente em cada sub-sistema (Fig. 2). Executaram-se 23 perfis longitudinais (12 no sub-sistema Pranto e 11 no sub-sistema Mondego), correspondentes a 12 ciclos de maré (2 em 1994, 6 em 1995 e 4 em 1996). Os registos foram feitos na baixa-mar e na preia-mar, em marés vivas e mortas, todas com caudais fluviais inferiores ao caudal médio anual; cobriu-se assim um largo espectro de tipos de mistura de águas, que é representativo das situações mais frequentes na variabilidade anual e inter-anual. As estações situavam-se no talvegue e os parâmetros foram registados à superfície, de metro a metro e junto ao leito. A amostragem de sedimentos foi efectuada na zona inter a supramareal, por draga nas áreas submareais, elaborando-se uma carta de sedimentos na escala 1/10000. Após a colheita de campo (164 amostras no sub-

sistema Mondego e 63 no sub-sistema Pranto), fez-se a caracterização laboratorial de 114 amostras de areias e 15 de lodos (granulometria, composição e morfoscopia).

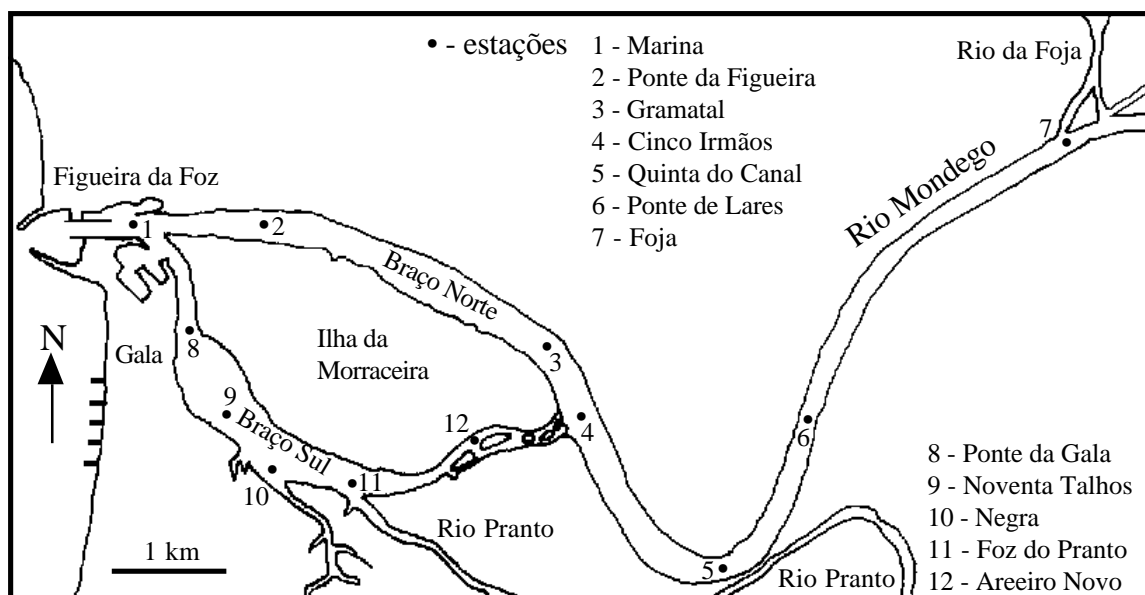


Figura 2 - Localização das estações usadas nas campanhas de medição de parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos, ao longo dos perfis longitudinais dos canais estuarinos.

Enquadramento geográfico e geológico

O Rio Mondego drena uma bacia hidrográfica de 6671 km², com cursos de água encaixados em formações geológicas granitóides, metamórficas e sedimentares, mas a partir de Coimbra apresenta uma planície aluvial com 4 km de largura máxima. A 7 km da foz o rio Mondego bifurca-se em dois braços estuarinos (norte e sul) que, ao confluir antes de atingir a foz, individualizam a Ilha da Morraceira (Fig. 1). As áreas sedimentares estuarinas atingem 4,64 km² no sub-sistema Mondego e 2,20 km² no sub-sistema Pranto.

Descarga fluvial

O Mondego tem como principais afluentes, na margem direita, o Rio Dão, a Ribeira de Ançã e o Rio Foja e, na margem esquerda, os rios Alva e Ceira, a Ribeira de Cernache e os rios Ega, Arunca e Pranto. Até à construção de diversas barragens durante a década de setenta, o regime de caudais fluviais era marcadamente sazonal e função directa das precipitações na bacia de drenagem (Tab. 1). Foi essencialmente através do efeito regulador das albufeiras da Aguieira e de Fronhas que o regime torrencial do Mondego foi corrigido, recebendo a área estuarina caudais líquidos menores e estabilizados, com muito reduzido caudal sólido (Tab. 2).

A contribuição das bacias hidrográficas dos afluentes do Baixo Mondego (a jusante de Coimbra) é muito pequena (Tab. 3). Os fracos caudais fluviais no sub-sistema estuarino Pranto são quase exclusivamente do rio Pranto e do Esteiro dos Armazéns, mas em situação

de cheia provêm maioritariamente do Mondego; contudo, deste rio não recebe carga sedimentar tractiva.

Tabela 1 - Caudais do Mondego medidos antes da regularização fluvial (D.G.R.A.H., 1987).

Tempo (dias)	Ano médio (m ³ /s)	Ano húmido (m ³ /s)	Ano seco (m ³ /s)
10	490	825	245
50	175	325	75
100	85	210	40
200	20	25	5
Caudal médio anual (m ³ /s)	84	155	37
Caudal dominante (m ³ /s)	370	490	230
Caudal sólido (l/s)	7.5	-	-
Caudal de cheia: 3663 m ³ /s para T = 100 anos			

Tabela 2 - Caudais previstos do Mondego, após a regularização por barragens e das obras hidráulicas do Baixo Mondego (D.G.R.A.H., 1987).

Tempo (dias)	Ano médio (m ³ /s)	Ano húmido (m ³ /s)	Ano seco (m ³ /s)
10	500	700	245
50	175	360	75
100	85	240	
200	18	40	40
Caudal médio anual (m ³ /s)	72	145	27
Caudal dominante (m ³ /s)	340	440	150
Caudal sólido (l/s)	1.5	-	-
Caudal de cheia de dimensionamento do Leito Central: 1200 m ³ /s em Coimbra e de 2955 m ³ /s na Figueira da Foz, para T = 100 anos			

Tabela 3 - Caudais dos afluentes do Mondego a jusante de Coimbra (D.G.R.A.H., 1987).

Afluente	Médio anual (m ³ /s)	Sólido médio anual (l/s)	Dominante médio (m ³ /s)	Cheia (T=25anos) (m ³ /s)
Ançã	1.1	0.16	2.8	325
Foja	1.3	0.17	2.6	135
Cernache	0.5	0.02	1.8	175
Ega	1.9	0.04	7.1	70
Arunca	4.9	0.18	15.9	895
Pranto	1.9	0.27	5.1	315

Regime mareal

O sector costeiro possui um regime mesomareal, semi-diurno e com uma desigualdade ligeira entre as duas marés diárias. As marés apresentaram uma amplitude média de 2.2 m e uma moda de 2.4 m; a amplitude mínima foi de 0.9 m e a máxima de 3.6 m. No sub-sistema Mondego, em marés vivas e para caudais de estiagem, a onda mareal estende-se actualmente até 26 km para montante (Montemor-o-Velho; Fig. 1), mas durante as cheias penetra apenas

16 km (Duarte & Reis, 1994). No sub-sistema Pranto, a propagação da onda mareal ao longo deste rio está actualmente limitada pela comporta do Alvo.

2. Mistura de águas

Actualmente, a intrusão salina atinge, geralmente, a estação elevatória do Foja (15 km a montante), onde foram registadas salinidades de 5 ‰ em preia-mar viva estival (Cunha *et al.*, 1997), mas a mesma salinidade já foi registada junto à ponte da Ereira (18 Km a montante) em Setembro de 1989 (Baptista, 1990). Para caudais de cheia, a cunha salina atinge 8 km para montante no sub-sistema Mondego (Duarte & Reis, 1994).

Seguidamente caracterizam-se os dois sub-sistemas para caudais estivais, num largo espectro de diferentes tipos de mistura de águas e grande variação nos parâmetros físico-químicos. Apresentam-se exemplos das variações longitudinais e verticais, para o sub-sistema Mondego (Fig. 3) e para o sub-sistema Pranto (Fig. 4; na baixa-mar, fica emerso na quase totalidade). Salinidade e temperatura apresentaram uma elevada correlação inversa. A temperatura é maior nas águas fluviais e diminui em direcção ao mar. O Eh e o pH têm uma correlação directa e, em regra, os valores mais elevados correspondem às maiores salinidades (valores médios das águas marinhas: pH 8.1, Eh 65mV; valores médios das águas fluviais: pH 7.4, Eh 30 mV). Valores particularmente elevados de Eh e pH são interpretados como indicadores da presença de contaminantes. A turbidez, geralmente ≤ 10 MTU, possui uma distribuição complexa, com frequência elevada na interface entre águas de salinidades contrastantes ou junto a irregularidades do fundo. O registo de sólidos em suspensão foi sempre inferior a 0.1 g/l.

Sub-sistema Mondego

Em marés mortas, este sub-sistema apresenta cunha salina durante a baixa-mar evoluindo a mistura parcial para a preia-mar. Em contraste, em marés vivas tende a apresentar-se com comportamento de mistura parcial fraca em baixa-mar e verticalmente homogéneo em preia-mar. Caudais fluviais moderados parecem influenciar essencialmente a espessura da cunha salina, não afectando significativamente a sua progressão para montante. Em cada ciclo mareal, a isoalina de 30‰ desloca-se em maré viva cerca de 9 km e em maré morta aproximadamente 4 km.

As velocidades diminuem acentuadamente para o fundo; durante a preia-mar produz-se uma confluência das correntes fluviais com as mareais na estação de Cinco Irmãos; as correntes ascendentes continuam durante um tempo significativo depois da preia-mar, sendo sobrepostas por águas doces descendentes em marés mortas.

Em baixa-mar ficam reflectidas quer as contribuições de pequenos tributários, quer a máxima intensidade para a passagem da desembocadura, recebendo o desaguar do sub-sistema Pranto. Em marés mortas, na baixa-mar as velocidades de correntes diminuem

gradualmente para o fundo e para a foz; em preia-mar, detecta-se uma corrente intermédia penetrando no estuário para montante, sendo sobreposta pela corrente descendente de água de mistura.

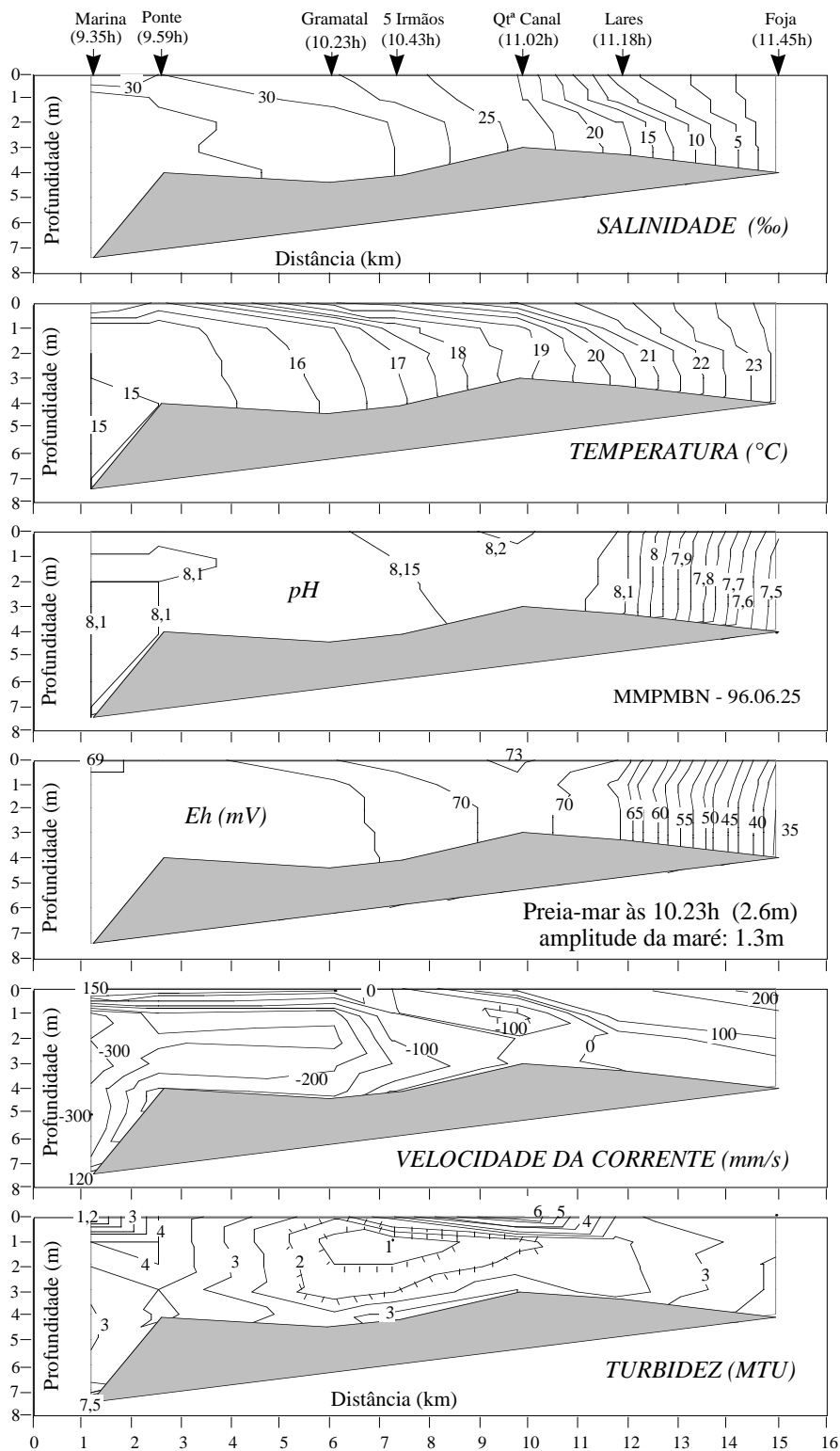


Figura 3 - Parâmetros físico-químicos do sub-sistema Mondego em preia-mar de maré morta, com caudais fluviais moderados (25 de Julho de 1996). Existe cunha salina; as correntes evidenciam a enchente, com as estações a montante sob influência essencialmente fluvial. Foram detectadas contaminações na estação da Quinta do Canal através dos valores de pH, Eh e turbidez.

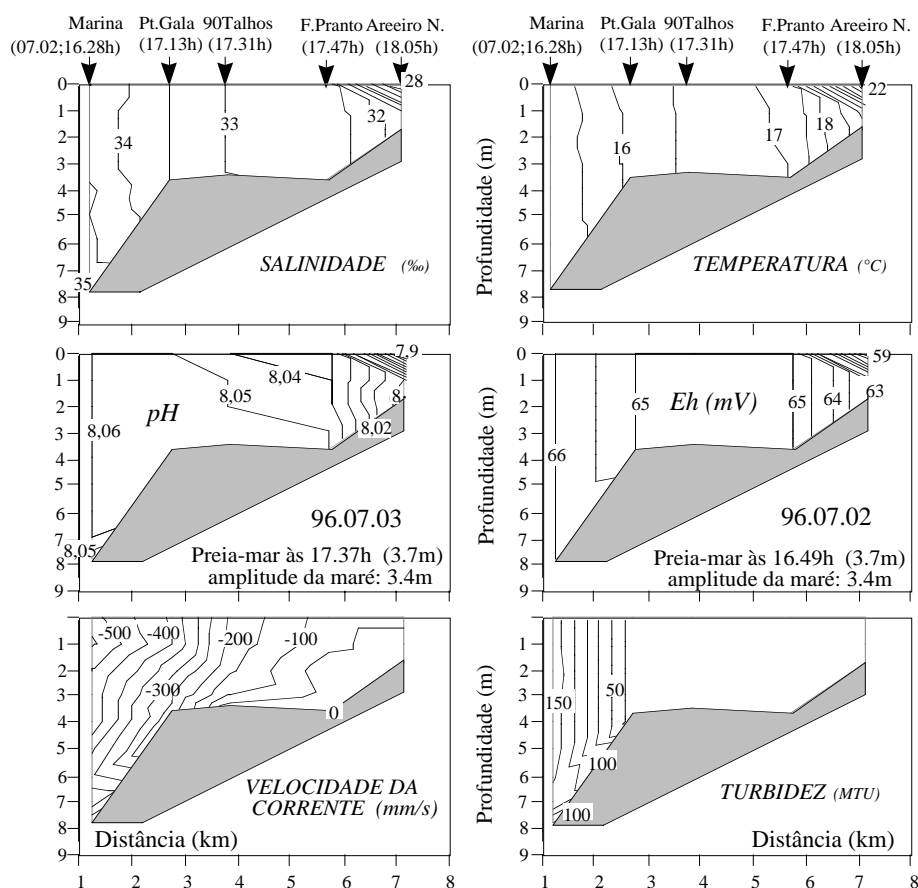


Figura 4 - Parâmetros físico-químicos do sub-sistema Pranto em preia-mar de maré viva, com caudais fluviais moderados (3 de Julho de 1996). A salinidade e temperatura apontam para homogeneidade vertical. Salinidade, temperatura, pH e Eh indicam influxo de águas salobres a montante, a partir do Mondego.

Durante a enchente, a turbidez máxima penetra homogeneizada desde mar aberto diminuindo para montante, sendo cavalgada pelas águas doces que têm o seu máximo na zona superficial e diminui com baixo gradiente até ao fundo. Na baixa-mar, o fluxo vazante provoca, por roçamento no leito, aumento de turbidez.

Sub-sistema Pranto

Tende a ser verticalmente homogéneo, mas pode apresentar-se parcialmente misturado, por força do escoamento fluvial. Em baixa-mar, reduzidas variações de vários parâmetros parecem estar ligadas à retenção local de águas salobres pelos amplos bancos areno-lodosos situados entre a Ponte da Gala e a foz do Pranto.

O sub-sistema atinge elevada salinidade em cada ciclo de maré, mesmo na baixa-mar viva em que atinge 23-25 ‰ no fundo, junto à foz do Pranto. Em preia-mar, todo o sub-sistema é invadido por águas de elevada salinidade (atingindo no Areiro Novo, 33 ‰ em marés vivas e 25 ‰ em mortas).

A temperatura pode variar consideravelmente, em particular em marés vivas; em Noventa Talhos, registaram-se oscilações de 8 °C por ciclo (16-24 °C).

A turbidez está, geralmente, associada a águas de proveniência marinha, diminuindo para montante; em marés mortas a variação é mais irregular, registando-se máximos no interior estuarino onde existe maior intensidade de corrente e por fricção no substrato arenoloso (p.e. Ponte da Gala).

Em marés vivas, as velocidades de corrente são maiores na zona mais a jusante e na superfície; em marés mortas, o máximo têm lugar no confinamento da Ponte da Gala.

Em preia-mar viva, o pH e Eh, tal como a salinidade e temperatura, indicam também influxo de águas salobres a montante, a partir do Mondego, como se evidencia na estação de Areeiro Novo.

3. Caracterização dos sedimentos superficiais

Distribuição granulométrica dos sedimentos superficiais no sub-sistema Mondego

Sector I (Montemor à ponte de Lares)

Corresponde ao sector mais proximal, exclusivamente com água doce mas podendo estar sujeito a variações de nível resultantes da penetração da onda de maré. É constituído por um canal regularizado, com leito predominantemente de areão e areia muito grosseira, que apresenta algumas barras longitudinais.

Sector II (ponte de Lares a Cinco Irmãos)

Neste sector o estuário é constituído pelo canal regularizado, que permitiu que as antigas planícies lodosas marginais passassem a objecto de uso agrícola persistente. No canal, o talvegue é de areão, sendo marginado por areia muito grosseira a média; localmente, em zonas marginais mais tranquilas, existe areia fina a lodo arenoso.

Sector III (Cinco Irmãos à ponte da Figueira da Foz)

Este sector foi regularizado em 1995. Excepto em cheias fluviais, as águas são salobres e há ligeiro predomínio da dinâmica fluvial, responsável pelos traços morfodinâmicos mais marcantes. O canal apresenta areão a areia média, com zonas marginais de sombra hidrodinâmica, constituídas por areia fina a lodo arenoso. Para jusante, os eixos energéticos e as faixas de distintas granulometrias bifurcam, em resultado da interacção entre as dinâmicas mareal e fluvial.

As faixas intermareais marginais, que foram aterradas com areias grosseiras dragadas do canal adjacente, apresentam à superfície areia média que, com a afastamento, passa gradualmente a lodo arenoso; junto da margem direita, a montante da Fontela, ainda existem restos de manchas de sapal, outrora extensas.

Sector IV (ponte da Figueira da Foz à confluência dos braços)

Este sector estuarino apresenta geralmente água salgada e é dominado por processos marinhos. A actual morfologia foi fixada por sucessivas obras de regularização que

decorreram até 1984, que criaram um canal rectilíneo com margens enrocadas e que inclui o cais comercial, bem como as docas dos Bacalhoeiros e de Recreio.

O talvegue segue encostado à margem sul, apresentando areia grosseira que passa lateralmente a areia média. Em áreas restritas de menor hidrodinamismo junto das margens, nomeadamente ao cais comercial, depositam-se areias finas a lodos arenosos; os fundos das docas são constituídas por lodo negro orgânico, denotando a quase exclusividade dos processos de decantação.

Sector V (confluência dos braços à desembocadura)

É constituído pelo anteporto, embocadura e complexos de praia-cordão dunar eólico; é a única área estuarina com dinâmica e evolução morfossedimentar dependente do clima de agitação marítima. No eixo predomina areia média, mas uma zona mediana com areia fina corresponderá à interface entre as massas de água salgada e doce, com fluxos opostos durante a preia-mar. Na embocadura, junto ao molhe exterior sul, uma faixa de areia grosseira a muito grosseira resulta da penetração durante a enchente, que depois de rodear a Praia do Cabedelo se prolonga junto à margem sul do canal de acesso. A Praia do Cabedelo, entre os molhes interno e externo sul, é constituída por areia fina micácea e alimenta um cordão dunar.

Distribuição granulométrica dos sedimentos superficiais no sub-sistema Pranto

Sector I (bifurcação à Ínsua D. José)

Este sector é limitado a este pelos Cinco Irmãos e a oeste estende-se até à vala, que conjugada com o troço terminal do Pranto, define a Ínsua D. José (a meia distância entre o Areeiro Novo e a Foz do Pranto). É constituído essencialmente por sapal inter a supramareal, percorrido por estreitos canais meandriformes de fundo lodoso.

Sector II (Ínsua D. José ao vértice geodésico de Noventa Talhos)

Quase exclusivamente intermareal, é constituído por uma planície lodosa, que a jusante da foz do Pranto passa a incorporar porções significativas de areia. O canal mareal principal, junto à margem sul, apresenta areia média ou mesmo areias grosseiras, remanescentes da época (recente) em que o sub-sistema era percorrido por caudais significativos do Mondego. O Rio Pranto só fornece material silto-argiloso.

Sector III (vértice geodésico de Noventa Talhos à Ponte da Gala)

Este sector apresenta uma planície lodosa e de sapal (inter e supramareal) junto à Ilha da Morrageira, percorrida por canais secundários meandriformes, em parte ligados às salinas e pisciculturas. O canal principal encosta-se à margem esquerda, contornando o delta de enchente no centro do braço, a montante do estrangulamento da ponte da Gala, essencialmente formado por areia média rica em bioclastos. Um outro canal intermareal menos profundo, constituído por areia fina, contorna o delta por nascente.

Sector IV (Ponte da Gala à confluência com o Braço Norte)

O sector jusante do Braço Sul, cuja regularização com enrocamento terminou em 1934, é formado por areia média que passa a areia grosseira no talvegue, que se localiza muito próximo da margem direita nas proximidades da confluência. A jusante da entrada para o Porto de Pesca, numa zona de sombra hidrodinâmica, deposita-se areia fina a lodo arenoso, ao passo que a montante da entrada ocorre uma barra inter a inframareal de areia média. Nos fundos do Porto de Pesca existe lodo orgânico negro.

Distribuição granulométrica no litoral adjacente

A influência da agitação marítima na dinâmica sedimentar é relevante no sector de praia adjacente e na desembocadura, mas possui fraco controlo para o interior do estuário (Carvalho & Barceló, 1966; Almeida & Santos, 1991a; Santos *et al.*, 1991; Cunha & Dinis, 1998). A praia a norte da embocadura apresenta no estrão essencialmente areia grosseira, que passa gradualmente para o largo a areia média e a areia fina micácea; é abastecida por uma deriva litoral predominante para sul. A estreita praia a sul da embocadura, é essencialmente constituída por areia média; a alimentação é resultante da deriva predominante para sul, da erosão local das dunas eólicas e de contributos fluviais.

Composição da fracção 0.5-1 mm das areias estuarinas

O quartzo hialino tem proveniência fluvial e marinha. A montante da bifurcação dos dois braços, são elevadas as proporções de quartzo hialino, feldspatos e quartzo leitoso; imediatamente para jusante no Braço Norte a percentagem de quartzo decresce um pouco por se associar a bioclastos e a maiores quantitativos de micas. O teor em quartzo hialino volta a aumentar da Fontela à embocadura, mas a partir da Ponte da Figueira ocorre principalmente junto à margem sul, em resultado de mistura de areia marinha, também ricas em bioclastos. As áreas com elevados quantitativos de quartzo coincidem com eixos mais energéticos. Idêntica situação está documentada ao longo do Braço Sul, com um eixo que se dissipa para montante.

Os feldspatos, essencialmente de proveniência fluvial, circulam no Braço Norte preferencialmente junto à margem direita, devido ao traçado curvo deste braço. Também ocorre entrada de feldspatos, durante a enchente, no Braço Sul. As manchas circunscritas de maiores quantitativos de feldspatos no Braço Sul são remanescentes da fase de maior comunicação com o Mondego, retidos em depressões do canal principal. A deriva litoral traz também até à embocadura consideráveis quantitativos em feldspatos, provavelmente retomados pela erosão marinha das arribas do Jurássico Superior e Cretácico.

Elevados conteúdos em bioclastos (constituídos predominantemente por carbonato de cálcio) ocorrem na área de praia submersa ou em concentrações locais de conchas de moluscos estuarinos, nomeadamente no Braço Sul a montante da ponte da Gala.

As micas abundam em áreas com hidrodinamismo reduzido, nomeadamente no sector convexo do Braço Norte, ao longo da margem direita do Braço Sul imediatamente a montante da ponte da Gala, e na praia interna do Cabedelo.

Características morfoscópicas

Nas areias de proveniência fluvial predominam largamente os grãos angulosos e muito angulosos (não desgastados), brilhantes. Podem ocorrer acessoriamente grãos com qualquer combinação de arredondamento e brilho. Estatisticamente, o arredondamento diminui para montante em todo o estuário, assim como, menos claramente, a proporção de grãos baços.

No Braço Norte, a montante da Fontela, a população largamente dominante tem características fluviais em toda a largura do canal, com excepção da margem sul entre a Fontela e o vértice do Gramatal, com população bimodal em relação ao arredondamento (mistura de alimentação fluvial e marinha); esta localização resulta provavelmente da circulação sobre a margem regularizada em enchente. A montante do Gramatal ocorrem com maior frequência grãos baços, bastante mais raros entre a Fontela e o Gramatal. Entre a entrada da doca de Recreio e até a montante da ponte da Figueira, a população apresenta carácter misto, mas é dominada por grãos com arredondamento e brilho marinhos, em particular na margem sul, já que na margem norte tende a ser mais importante a componente fluvial, devido à curvatura do braço. Os sectores do anteporto e embocadura possuem claramente uma população de mistura, com grãos maioritariamente angulosos de origem fluvial. Neste sector, a praia interna do Cabedelo manifesta um claro enriquecimento em grãos com maior arredondamento, o que deverá ser associado à deposição de areias marinhas durante a enchente e à protecção em relação à proveniência fluvial, exercida pelo molhe interno sul.

No Braço Sul, o sector entre a confluência e a ponte da Gala possui areias com distribuição bimodal do arredondamento, tendência mais clara no talvegue, com predomínio de sub-redondos e redondos. A barra arenosa adossada à margem esquerda possui uma população com elevado arredondamento, com diminuta fracção de origem fluvial. Nos canais que marginam o delta arenoso de fluxo, entre a ponte da Gala e o vértice dos Noventa Talhos, as características são próximas do tipo fluvial, embora apresentem uma moda secundária atribuível a um contributo marinho. O canal principal, a oeste, possui componente fluvial maior que o canal secundário a leste. Os grãos angulosos e brilhantes serão em parte resultantes de depósitos da fase em que o braço possuía um significativo funcionamento fluvial, embora parte dos grãos com carácter fluvial possam ser introduzidos a partir do Braço Norte. O delta de fluxo a montante da ponte da Gala é constituído por areias com elevado arredondamento médio, particularmente ricas em grãos baços e pouco brilhantes, sobretudo os mais arredondados; os materiais terão essencialmente proveniência marinha, depositados pela perda de competência do fluxo de maré ao alargar a secção. Admite-se uma significativa

contribuição eólica, identificada pelo teor em grãos baços, pois é um sector com reduzida distância entre os canais activos do estuário e o campo dunar eólico móvel.

As areias das praias adjacentes tendem a apresentar uma moda de grãos sub-redondos, muito embora ocorra uma certa homogeneidade na distribuição das diversas classes de arredondamento, à excepção dos muito arredondados, raros. Dominam os grãos brilhantes, mas as classes de maior arredondamento tendem a ter elevadas proporções de grãos baços. Estas características poderão ser associadas a um trabalhado eólico de parte dos grãos em circulação costeira, em concordância com a erosão das praias deste sector costeiro, que vem destruindo o cordão dunar longilitoral.

4. Esquema dinâmico-sedimentar

A conjugação dos diferentes dados hidrodinâmicos (tipos de misturas de águas e fluxos), bem como a granulometria e composição dos sedimentos superficiais, permite elaborar um esquema hidrodinâmico e sedimentológico das fracções em transporte tractivo, para ambos os sub-sistemas do estuário do Mondego (Fig. 5). Note-se que a amostragem se efectuou após uma cheia com período de retorno de 125 anos (finais de 1995 a princípios de 1996; em Coimbra atingiu 1280 m³/s), tendo valor de situação-limite de máxima descarga fluvial.

No sub-sistema Mondego, a descarga fluvial é capaz de transportar areão até à Fontela, adossado à margem direita; para jusante, até à ponte da Figueira da Foz acarreia areias muito grosseiras a grosseiras, e mais finas até à desembocadura. A entrada marinha, em enchente, faz-se pelo lado setentrional do canal de desembocadura, com penetração de areias muito grosseiras a grosseiras até à área em frente ao Cais comercial, e de areias médias até Cinco Irmãos, amplo segmento onde se misturam com areias de proveniência fluvial. No sector norte do anteporto, em zona de sombra da ondulação (dominante de NW), é favorecida a sedimentação.

No sub-sistema Pranto, a enchente faz penetrar areias grosseiras a médias principalmente pela margem oeste, que na baía arenosa se repartem centrifugamente pelo delta de fluxo e canal principal (margem oriental). A vazante inverte o transporte de areia pelos canais. As areias mostram uma assimetria muito nítida na distribuição, concentrando-se na área ocidental, sobretudo na baía arenosa, provavelmente, por efeito de Coriolis.

O balanço sedimentar dos estuários em geral, e do Mondego em particular (Fig. 6), depende do fornecimento fluvial e litoral, bem como dos volumes de sedimentos que são retirados ao sistema, por dragagem ou extracção de areias (Cunha *et al.*, 1995, 1998). No sub-sistema Mondego os montantes extraídos, muitíssimos superiores ao actual escasso caudal sólido fluvial, têm conduzido ao seu aprofundamento, enquanto que no sub-sistema Pranto, a tendência é para uma colmatção paulatina, principalmente desde que se reduziu a comunicação com o Mondego (Cunha *et al.*, 1997b; Dinis & Cunha, 1998; Cunha, 1998).

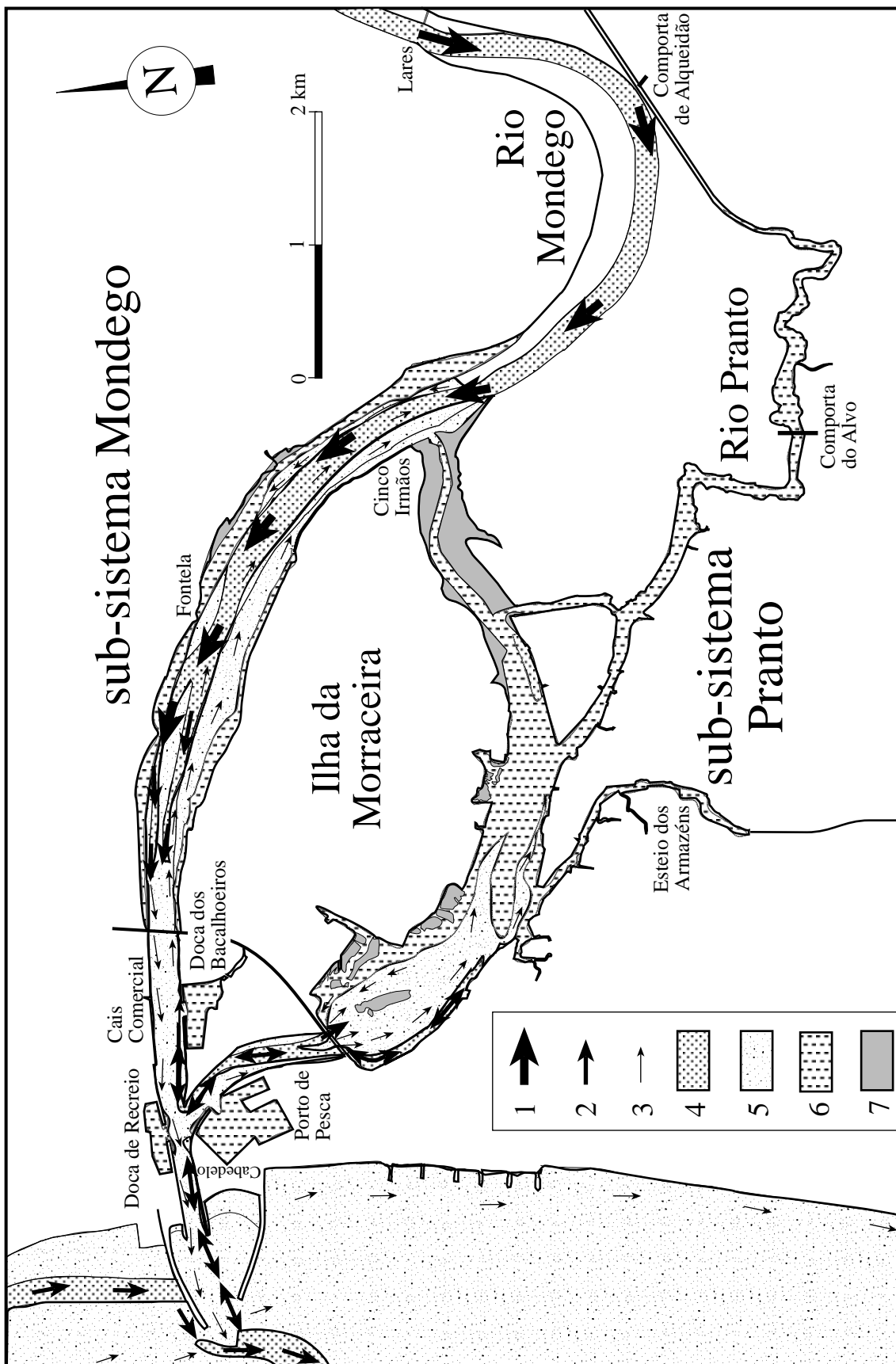


Figura 5 - Capacidade máxima de transporte por tracção, no Estuário do Mondego e litoral adjacente: 1 - até areão; 2 - até areia muito grosseira; 3 - até areia média; 4 - fundos arenosos; 5 - planícies lodosas; 6 - sapal.

As características dos sedimentos superficiais estuarinos, em relação à situação não regularizada, traduzem uma penetração significativa de areias de proveniência marinha no sub-sistema Mondego, resultantes da tendência natural para a recuperação das cotas aprofundadas por dragagem e do acentuado decréscimo no caudal sólido fluvial. Globalmente, este sub-sistema experimenta um deslocamento da hidrodinâmica mareal *versus* fluvial para montante.

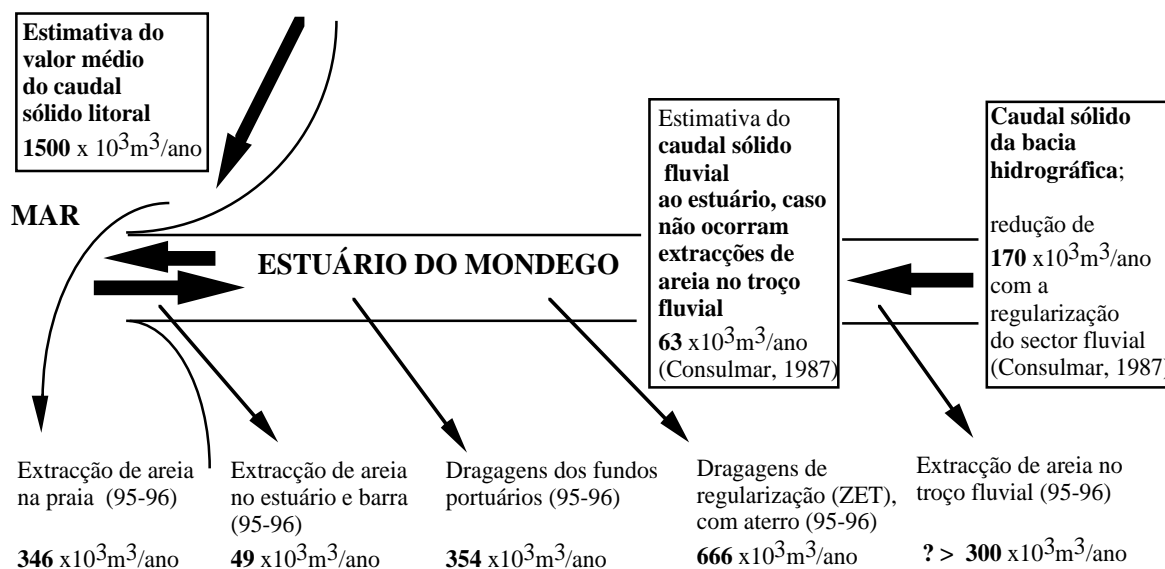


Figura 6 - Balanço sedimentar no Estuário do Mondego e costa adjacente, integrando os estimados caudais sólidos em circulação e os montantes das transferências de sedimentos durante 1995-96.

5. Conclusões

O Estuário do Mondego é constituído por dois sub-sistemas com hidrodinâmica e características sedimentares substancialmente distintas, se bem que possuindo uma comunicação reduzida no espaço e no tempo.

Na tipologia das misturas de águas, o sub-sistema Mondego pode apresentar um comportamento desde verticalmente homogéneo até possuir cunha salina. As obras de regularização facilitaram a penetração da cunha salina e de areias de proveniência marinha. Os sedimentos possuem uma diminuição para jusante entre areão a areia fina, com lodos em locais com mais fraca hidrodinâmica (margens intermareais e docas).

O sub-sistema Pranto (que inclui o Braço Sul) tende a ser verticalmente homogéneo, mas pode apresentar-se altamente estratificado para muito raros caudais de cheia. A variação de salinidade intra-ciclo é elevada, em particular no sector central (baía arenosa). Ocorre significativa retenção local de águas por bancos areno-lodosos. O sector terminal, essencialmente arenoso, tem alimentação marinha, ao passo que o sector a montante é

essencialmente lodoso. A penetração de água doce e sedimentos a partir do Mondego ocorre apenas em cheias.

No sub-sistema Mondego predomina a influência fluvial sobre a mareal. As intervenções antrópicas reduziram a energia fluvial (por regularização de caudais) e a mareal (pela diminuição do prisma mareal). O sub-sistema Pranto está regido, quase exclusivamente, pela dinâmica de maré.

A progressiva diferenciação natural tem sido modificada por sucessivas intervenções. No sub-sistema Mondego, em particular as dragagens têm provocado uma entrada rápida de sedimentos arenosos, tanto marinhos como fluviais, enquanto que no sub-sistema Pranto as obras contribuíram para acelerar a colmatação. Para além das implicações da drástica redução nos acarreios sedimentares ao litoral, a regularização e ocupação das margens do Mondego implicou uma grande perda de espaços naturais estuarinos e a referida redução do prisma mareal.

Bibliografia

- [1] Almeida, J. Lopes de & Santos, F. Seabra (1991a), Aplicação de modelos numéricos ao estudo da onda de “mareta” no Porto da Figueira da Foz. *Estudos de Engenharia Civil*, Coimbra, vol. 3, nº 1/2, p. 99-111.
- [2] Baptista, A. M. (1990), *Mondego Estuary: analysis of data on tides, salinities and temperatures (June 1989 - December 1989)*. Anexo I do “Estudo das marés e circulação hidrodinâmica”. Relatório de progresso no âmbito do projecto de investigação “Lançamento de bases para o estudo integrado do estuário do Mondego”. Fac. Ciências e Tecn. da Univ. Coimbra, (policopiado), 7 p.
- [3] Carvalho, J. Reis de & Barceló, J. (1966), Agitação marítima na costa Oeste de Portugal Metropolitano - Contribuição para o seu estudo. *Lab. Nac. Eng. Civil.*, Memória nº 290, Lisboa, 34 p.
- [4] Consulmar (1987), *Estudo da viabilidade económica da exploração do Porto da Figueira da Foz*. (Maio 1987), Rel. policopiado, 68 p.
- [5] Cunha, P. Proença (1998), A evolução actual do litoral de Portugal Central — o exemplo do Estuário do Mondego e litoral adjacente na análise das transformações globais e do desenvolvimento sustentável das zonas costeiras. *III Jornadas de Outono da Geografia Física - “Gestão e conservação do litoral” (Comunicações)*, Fac. de Letras da Univ. do Porto, 13 p.
- [6] Cunha, P. Proença & DINIS, J. (1998), A erosão nas praias do Cabo Mondego à Figueira da Foz (Portugal centro-oeste), de 1995 a 1998. *Territorium*, Revista de Geografia Física aplicada no ordenamento do território e gestão de riscos naturais, Editora Minerva, Coimbra, 5, p. 31-50.

- [7] Cunha, P. Proença; Dinis, J. L. & André, J. Nunes (1998), Interacção entre as operações de dragagem no Porto da Figueira da Foz e a dinâmica sedimentar no Estuário do Mondego e costa adjacente (Portugal central), *Seminário sobre Dragagens, dragados e ambientes costeiros (Actas)*, Associação Eurocoast-Portugal (Ed.), Lisboa, p. 27-45.
- [8] Cunha, P. Proença; Dinis, J. L. & Reis, R. Pena dos (1997a), *Relatório Final do projecto de investigação PEAM/C/GEN/247/93 (Prog. Esp. Ambiente - JNICT/DGA): "Avaliação das modificações antrópicas actuais nos sub-ambientes sedimentares do estuário do Mondego"*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Univ. de Coimbra, (policopiado), 152 p e 8 anexos.
- [9] Cunha, P. Proença; Dinis, J. L.; Silva, A. Freire da & André, J. N. (1995), Evolução estuarina condicionada por intervenções portuárias: modificações recentes no sector intermédio e distal do Estuário do Mondego. *Memórias e Notícias*, Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra, nº 120, p. 95-117.
- [10] Cunha, P. Proença; Pinto, J. & Dinis, J. L. (1997b), Evolução da fisiografia e ocupação antrópica na área estuarina do Rio Mondego e região envolvente (Portugal centro-oeste), desde 1947. *Territorium*, Revista de Geografia Física aplicada no ordenamento do território e gestão de riscos naturais, Coimbra, 4, p. 99-124.
- [11] D.G.R.A.H. (1987), *Aproveitamento hidráulico do Vale do Mondego*. Relat. policopiado, Lisboa.
- [12] Dinis, J. L. & Cunha, P. Proença (1998), Impactes antrópicos no sistema sedimentar do Estuário do Mondego. *Sociedade e Território*, Editora Afrontamento, Porto, 27, p. 47-59.
- [13] Duarte, D. N. & Reis, R. Pena dos (1994), Impact on sedimentary dynamic of the Mondego Estuary regularization works on the North Channel. *ECSA24 Symposium northern and southern estuaries and coastal areas (Abstracts)*, Aveiro, 5-8 Setembro, p. 73.
- [14] Santos, F. Seabra; Almeida, J. & Carmo, J. Antunes (1991), *Estudo da agitação marítima*. 153 p. In Relatório final do projecto de investigação "Lançamento de bases para o estudo integrado do estuário do Mondego". Fac. de Ciências e Tecnologia da Univ. de Coimbra, (policopiado).