

EVOLUÇÃO ESTUARINA CONDICIONADA POR INTERVENÇÕES PORTUÁRIAS: MODIFICAÇÕES RECENTES NO SECTOR INTERMÉDIO E DISTAL DO ESTUÁRIO DO MONDEGO (1)

POR

P. PROENÇA CUNHA (2), J. DINIS (2), A. FREIRE DA SILVA (3)
& J. NUNES ANDRÉ (1)

RESUMO — As obras no Porto da Figueira da Foz e de regularização da bacia hidrográfica do rio Mondego, essencialmente executadas a partir da década de sessenta, ocasionaram grandes e rápidas modificações na dinâmica sedimentar do Estuário do Mondego e na faixa litoral adjacente. Neste trabalho analisam-se as modificações morfológicas recentes através da comparação de sucessivos levantamentos topo-hidrográficos da zona estuarina. Estas variações são confrontadas com as localizações e volumes de sedimentos removidos artificialmente e com as estimativas de caudais sólidos em circulação, nomeadamente em deriva litoral e por afluxo fluvial. Constata-se que a resposta natural às remoções artificiais é rápida, com tendência para uma uniformização das cotas dos fundos e o desenvolvimento de morfologias hidrodinâmicas. A remoção de sedimentos, seja por dragagem ou extracção na praia e sector distal do estuário, está condicionada pelos afluxos naturais, mas, além de interferirem entre si, tem gerado situações de sobre-exploração dos circuitos sedimentares. Entre as consequências destas intervenções antrópicas, são de realçar: *i*) interferência com a dinâmica litoral, *ii*) acentuação do défice arenoso da costa, *iii*) redução do prisma de maré, *iv*) ampliação da penetração da maré no

(1) Trabalho efectuado no âmbito do projecto PEAMB/C/GEN247/93 (JNICT/DGA): «Avaliação das modificações antrópicas actuais nos sub-ambientes sedimentares do Estuário do Mondego».

(2) Centro de Geociências da Univ. Coimbra; Dep. de Ciências da Terra da FCTUC, 3049 Coimbra Codex; pcunha @ cygnus.ci.uc.pt; jodinis @ cygnus.ci.uc.pt.

(3) Bolseira de Mestrado da JNICT — Programa Praxis XXI/BM/6546/95; Dep. Ciências da Terra, 3049 Coimbra Codex.

estuário, v) aceleração da colmatação e eutrofização do Braço Sul, vi) reduzida eficácia da auto-drenagem fluvial e vii) tendência de assoreamento da barra e área portuária com sedimentos marinhos. Medidas para minorização destes impactos foram já propostas pelos autores. A cartografia detalhada dos sedimentos estuarinos do leito, efectuada logo após uma situação de cheia centenária, permite esclarecer a hidrodinâmica numa situação limite de máxima influência fluvial.

Palavras-chave: obras portuárias; dragagens; extracção de areias; caudais sólidos; resposta morfossedimentar; avaliação de impactes; estuário; rio Mondego; Portugal.

ABSTRACT: Estuarine evolution controlled by harbour engineering works: recent modifications in the middle and distal sectors of the Mondego Estuary (Portugal). The engineering works carried out in the Figueira da Foz harbour and in the Mondego river drainage basin (damming and flow regulation), mainly since 1960, lead to fast and large scale changes in the dynamics of the Mondego estuary and adjacent coastal area. This study examines the morphologic evolution through the comparison of hydrographic survey charts of the estuarine zone. The modifications are compared with the location and amounts of contemporary extraction of sediments and with the estimated solid flow in the system, namely the longshore drift and the fluvial influx. The sedimentary system responses to artificial extraction were fast, with shoaling to restore natural depths and development of hydrodynamic morphologies. The natural inflow controls the volumes of sand mining in the beach and dredging near the mouth, but these exploration activities clearly interfere each others. Several situations of over-exploitation of the sedimentary circulation patterns were detected. The following impacts of the successive anthropic interventions are emphasised: *i*) interference with the longshore drift, *ii*) increased sand deficit in the coast, *iii*) reduction of the tidal prism, *iv*) increased upstream penetration of the tide, *v*) shoaling and eutrophication of the estuary southern branch, *vi*) reduction of the fluvial capability to avoid shoaling of the estuarine north branch and *vii*) increased trend to estuarine siltation by marine sediments.

Key-words: engineering works; dredging; sand mining; sedimentary budget; morphosedimentary response; impact assessment; estuary; Mondego river; Portugal.

1. INTRODUÇÃO

O Estuário do Mondego situa-se na costa ocidental de Portugal (fig. 1) e nas suas margens estabeleceram-se várias populações, destacando-se a cidade da Figueira da Foz na embocadura. O estuário, mesomareal, tem cerca de 26 km de comprimento e desdobra-se nos últimos 7,5 km do seu troço em dois braços (norte e sul), que voltam a unir-se junto à foz, separados pela Ilha da Morraceira. Em tempos históricos, o assoreamento progressivo do estuário dificultou o acesso aos portos flúvio-marítimos interiores (sucessivamente Coimbra, Mon-

temor, Soure, Santa Eulália e Verride), transferindo-se o movimento portuário para a foz, com grande movimento já no século XVIII. Contudo, a embocadura do Mondego era naturalmente instável e pouco profunda, com formação de restingas por efeito da deriva litoral, rompidas durante altos caudais de cheia fluvial, pelo que a partir de meados do século XIX se sucederam intervenções de fixação mais ou menos localizadas.

A partir da década de sessenta foram efectuadas grandes obras de desenvolvimento do Porto da Figueira da Foz, em particular com a construção dos molhes exteriores em 1965. Importantes obras de regularização da bacia hidrográfica nas décadas de setenta e oitenta, criaram um sistema de barragens com grande retenção de caudal sólido e a canalização a jusante de Coimbra. Como resultado destas intervenções verificaram-se grandes e rápidas modificações da morfologia do estuário e da faixa litoral adjacente, bem como uma alteração da dinâmica sedimentar das áreas estuarina e fluvial.

As sucessivas intervenções portuárias visaram a manutenção e a ampliação da operacionalidade do porto da Figueira da Foz, com vertentes comercial, de pesca e de recreio. De facto, a barra tendia a registar assoreamento com areias de proveniência marinha, sendo ainda frequente o assoreamento da embocadura e do canal de navegação, por sedimentos fluviais transportados pelas cheias inverniais.

Entre 1981 e 1991 procedeu-se à construção de molhes internos, ancoradouros e docas, bem como à execução de dragagens para aprofundamento do canal de navegação. O sector estuarino que abrange a embocadura e o Porto Comercial foi regularizado em 1984. Entre 1994 e 1996, regularizou-se o troço estuarino de transição entre a ponte da Figueira da Foz e a bifurcação dos dois braços, com ligação às obras do troço fluvial, cuja empreitada havia terminado em 1984.

Apresentam-se neste trabalho os aspectos mais relevantes das modificações batimétricas e morfológicas do sector intermédio e distal do Estuário do Mondego, das remoções artificiais de sedimentos e das estimativas de caudais sólidos em circulação. A conjugação destes aspectos visa melhorar o conhecimento da evolução recente, o estabelecimento de um esquema de balanço sedimentar e avaliar os impactes das intervenções.

Analisou-se a evolução morfossedimentar deste sector estuarino entre 1981 e 1996, comparando levantamentos topo-hidrográficos às

escalas 1/1000, 1/2000 e 1/5000. Com base nos levantamentos à escala 1/2000 e referentes aos anos de 1984, 1989, 1991, 1993 e 1994, projectaram-se e analisaram-se também perfis longitudinais e transversais do Braço Norte. Todas as cotas estão referidas ao zero hidrográfico (Z. H.: -2,00 m em relação ao nível médio do mar em Cascais).

2. SECTORES DINÂMICO-SEDIMENTARES DO ESTUÁRIO

A situação actual é caracterizada por uma componente fluvial e um prisma mareal reduzidos. Em marés vivas e para caudais de estiagem, a influência das marés (onda mareal) estende-se até 26 km a montante (Montemor-o-Velho), com a intrusão salina a atingir a Estação elevatória da Foja (15 km a montante da barra), onde foram registadas salinidades de 7 ‰ em Julho de 1996 (CUNHA *et al.*, 1996) e até de 5 ‰ na Ponte da Ereira (18 km a montante da barra) em Setembro de 1989 (BATISTA, 1990). Durante as cheias fluviais a onda mareal penetra apenas 16 km e a cunha salina atinge 8 km para montante (DUARTE & REIS, 1994). Em marés mortas, o Braço Norte apresenta cunha salina ou mistura parcial; em contraste, em marés vivas tende a ser verticalmente homogéneo, mas podendo ocorrer cunha salina com elevados caudais fluviais. O Braço Sul tende a ser verticalmente homogéneo, mas pode apresentar-se parcialmente misturado, por força do escoamento fluvial em condições de cheia (CUNHA *et al.*, 1996).

A zona analisada pode ser dividida em três troços (fig. 1), com diferentes características dinâmico-sedimentares.

- Anteporto e barra (troço 1), com predomínio da hidrodinâmica marinha (ondulação e marés) e alta taxa de assoreamento por areias grosseiras e médias, introduzidas durante a enchente. Na barra (canal) atingem-se cotas entre -4,5 a -8 m.
- Canal de acesso e Cais Comercial (troço 2), com dinâmica essencialmente mareal, excepto durante as cheias fluviais, é caracterizado por assoreamentos moderados e com predomínio de areias médias; sedimentam lodos orgânicos nas docas dos Bacalhoeiros e de Recreio, e pontualmente lodos arenosos em sectores marginais. As cotas médias do canal variam entre cerca de -7 e -3 m de jusante a montante. O limite montante deste troço é a ponte da Figueira da Foz.

- Zona estuarina de transição (troço 3) até ao troço anteriormente regularizado do Baixo Mondego, caracterizada por menores profundidades (-2,2 a -1,5 m após a regularização de 1996) e taxas de sedimentação reduzidas em virtude da retenção nas represas a montante. Os sedimentos, areno-cascalhentos, têm origem predominantemente fluvial, sendo contudo significativa a contribuição de origem marinha. As margens lodosas têm sido progressivamente aterradas pela regularização e parcialmente reconvertidas para várias finalidades.

3. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TOPOGRÁFICA

Troço 1 — Na barra, de 1984 a 1991 houve assoreamento, e de 1991 a 1994 ocorreu aprofundamento por dragagem. As rápidas e intensas variações registadas nesta zona, resultam da conjugação da variabilidade dos regimes de ondulação e fluvial, das frequentes dragagens e da intensa extracção de areia neste troço e na praia imediatamente a norte (a barlar em relação à deriva litoral predominante).

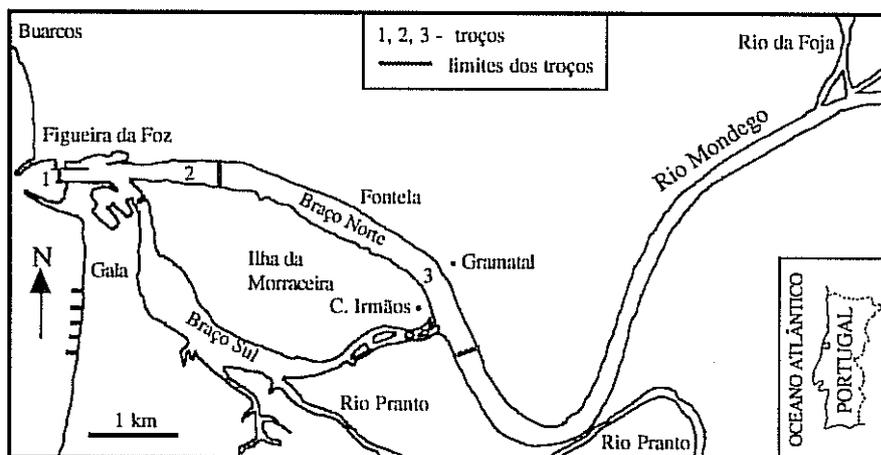


Fig. 1 — Enquadramento geográfico do Estuário do Mondego. Assinalados os troços analisados e com distinto funcionamento dinâmico-sedimentar.

Mondego estuary location. Sectors analysed, with distinct dynamic and sedimentary character are indicated.

Troço 2 — Entre 1984 a 1994, o sector distal do canal de acesso (fig. 3) aprofundou-se cerca de 2 m, com a posição do talvegue a oscilar

entre as margens (em particular entre 1989 e 1994). O sector da confluência dos braços, até ao Cais Comercial, evidenciou estabilidade, com o talvegue próximo da margem esquerda. Imediatamente a montante do Cais Comercial ocorria persistentemente uma subida topográfica de cerca de 3 m, sendo notável a rápida resposta sedimentar, com proveniência de montante, às dragagens de regularização do canal em finais de 1984. De 1991 a 1994, registou-se um progressivo assoreamento junto ao Cais Comercial. O sector a jusante da ponte manteve-se sensivelmente estável. Na Doca de Recreio assistiu-se a um assoreamento por lodos da ordem dos 2 m do ano de 1984 para o ano de 1993 (sendo este assoreamento mais acentuado entre 1984 e 1989), tendo sido dragada em 1991 e 1992 (tab. 1). Entre 1984 e 1989 houve aprofundamento por dragagem no sector terminal do Braço Sul, registando-se um rápido assoreamento com areias a partir de então.

Troço 3 — Este troço apresentou de 1984 a 1994 pequena variação topográfica, mas verificou-se uma tendência de aprofundamento, em parte devido à remoção artificial de sedimentos a jusante. As variações topográficas registadas a cerca de 0,5 a 1,0 km a montante da ponte resultam fundamentalmente de dragagens efectuadas a jusante, entre 1984 e 1989. O talvegue, junto à margem direita, aproximou-se ainda mais, com notório estreitamento. Na conexão com o troço fluvial regularizado (junto à bifurcação dos braços), deu-se aprofundamento próximo da margem esquerda e uma subida da cota de encontro à margem direita actual, correspondendo a uma evolução da barra interna do meandro. Até 1994, a evolução do restante do troço resultou essencialmente da redistribuição natural dos sedimentos, com destaque para o assoreamento junto à Fontela, em 1990-1991, e progressivo aprofundamento numa zona a cerca de 1,0 km a montante.

Com a regularização da zona estuarina de transição entre o Cais Comercial e o troço terminal de regularização do Baixo Mondego (foto 1), o canal foi significativamente aprofundado (cerca de 2 m). Contudo, após o decréscimo dos caudais da importante cheia de Dezembro de 1995 a Janeiro de 1996, os autores verificaram um significativo assoreamento do troço, especialmente entre o Gramatal e a Fontela (atingindo localmente mais de 1 metro de espessura). A regularização contribuiu para uma diminuição dos processos fluviais no Braço Sul, ao reduzir a já limitada comunicação na bifurcação dos braços (foto 2).

4. REMOÇÃO DE SEDIMENTOS

4.1. Dragagens de regularização dos fundos

As dragagens na área portuária visaram o acesso de embarcações com maior calado e o desenvolvimento de diferentes actividades portuárias. Entre 1973 e 1977 as dragagens foram de pequena dimensão. Em 1984 efectuaram-se dragagens de enormes volumes, sem paralelo na história do Porto da Figueira da Foz, rondando os 2.520.000 m³ (fig. 2).

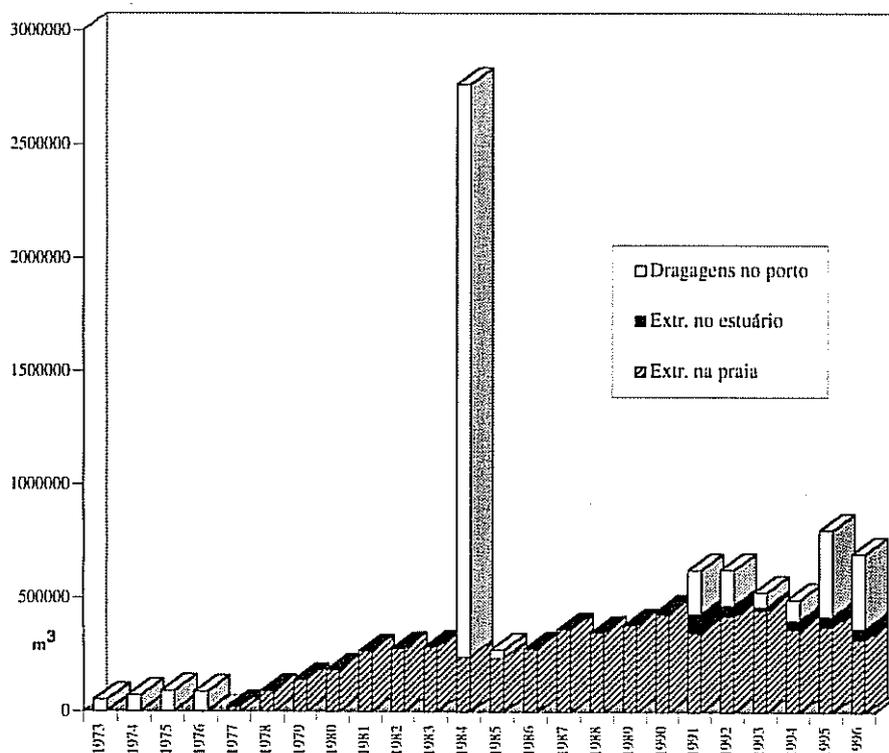


Fig. 2 — Evolução anual dos quantitativos de sedimentos extraídos no estuário (desembocadura e canal de acesso) e na praia, bem como por dragagem da área portuária. Dados fornecidos pela JAPFF.

Annual evolution of sediments removed from the estuary (mouth and access channel) and in the beach, including dredging. Data from JAPFF.

De 1991 a 1996, o volume total removido por dragagem nos troços 1 e 2 foi de 1.205.139 m³. Na tabela 1 são apresentados dados respeitantes

tes a dragagens efectuadas de 1991 a 1996, nos sectores representados na fig. 3.

Tabela 1 — Volume expresso em m³ e cota Z. H. (entre parêntesis) das dragagens (A-F: localização dos sub-sectores estuarinos na fig. 3) no Porto da Figueira da Foz, entre 1991 e 1996. Dados fornecidos pela JAPFF.

Table 1 — Volume (m³) and level Z.H. (in brackets) of dredging in the Figueira da Foz harbour between 1991 and 1996 (A - F; location of the estuarine sub-sectors in fig. 3). Data from JAPFF.

Local/ano	1991	1992	1993	1994	1995	1996	Totais
Anteporto e barra-A	27 000 (-4.5)		19 850	87 750 (-4.0)	40 000 (-4.5)		174 600
Cais Comercial D	61 800 (-5.0)	59 400 (-5.0)	16 300 (-5.0)	3 250 (-5.0)	268 600 (-5.0, -4.5)		409 350
Doca dos Bacalhoeiros - H	73 900 (-2.5, -3.0)	1 100 (-3.0)			35 200 (-4.0)		91 239
Porto de Pesca G	26 700 (-4.0)	12 439 (-4.0,-6.0)	25 115 (-4.0)		26 950 (-4.0)		110 200
Doca de Recreio e Serviços - F	1 500 (-4.0)	81 850 (-4.0)			8 000 (-4.0)		91 350
Terminal de Granéis						328 400 (-6.0,-7.0)	328 400
Sólidos - E							
Totais	190 900	154 789	61 300	91 000	378 750	328 400	1 205 139

4.2. Extracção de areia na praia junto do molhe norte

Após a construção do molhe exterior norte do Porto da Figueira da Foz, a praia imediatamente a norte atingiu o máximo de enchimento em 1980 (VICENTE, 1986, 1990). A extracção de areia iniciou-se em 1977, aumentando até 1981, a que se seguiu uma estabilização até 1983 (fig. 2). Provavelmente em consequência das dragagens portuárias de 1984, os volumes removidos na praia, em 1984 e 1985, foram relativamente diminutos.

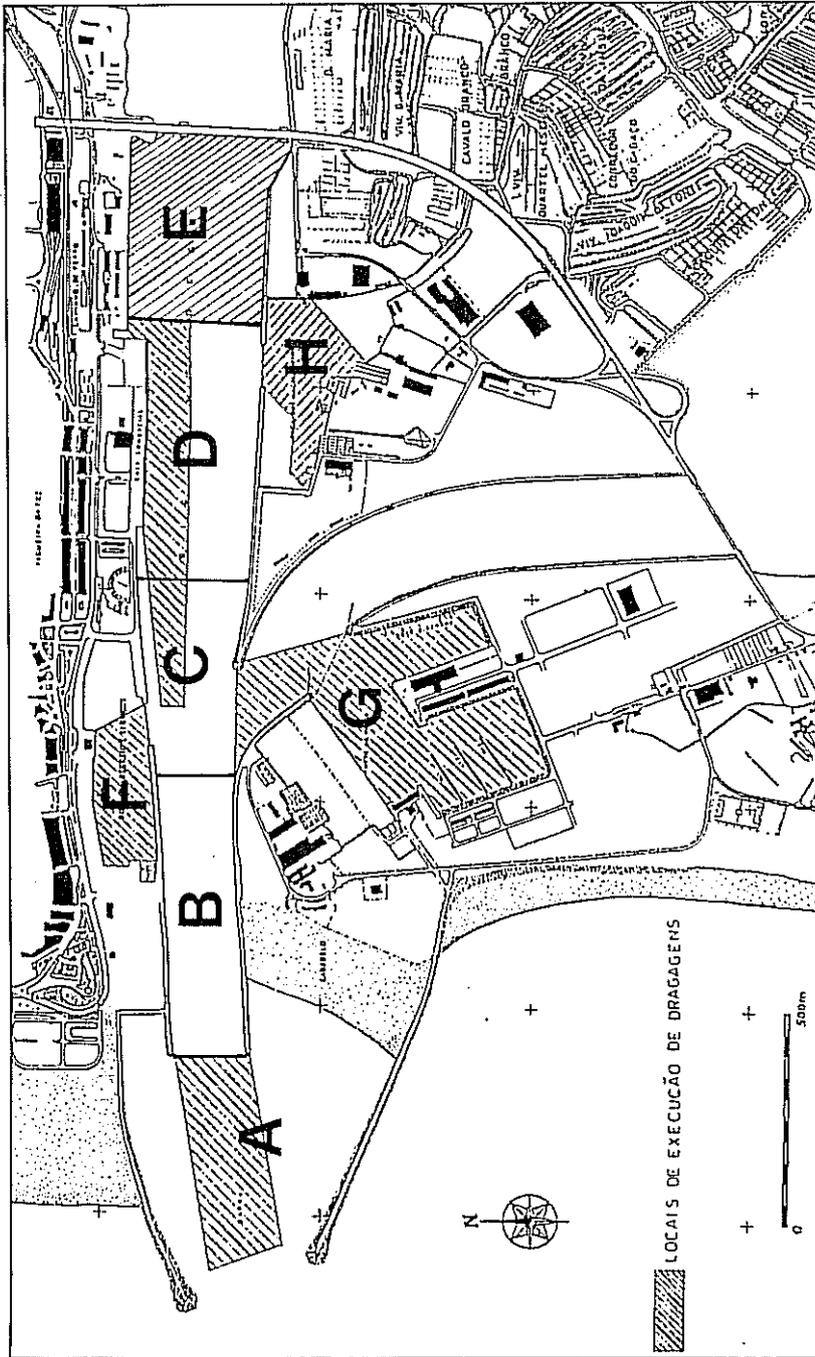


Fig. 3 — Locais de execução das dragagens apresentadas na tab. 1 (1991-1996). Legenda: A — Anteporto (inclui a barra); B — embo-cadura; C — troço da confluência; D — troço do Cais Comercial; E — troço do Terminal de granéis sólidos; F — Doca de Recreio e Serviços; G — Porto de Pesca; H — Doca dos Bacalhoeiros. Dados fornecidos pela JAPFF.

Location of dredging referred in tab. 1 (1991-1996). Legend: A — pre-harbour; B — maul; C — access channel; D — commercial harbour; E — bulk cargo terminal; F — Marina; G — fishing harbour; H — codfishing ships harbour. Data from JAPFF.

Analisando os valores mensais da extracção (fig. 4), só disponíveis a partir de 1985, é óbvia a tendência de aumento gradual dos quantitativos extraídos entre Janeiro de 1985 e Outubro de 1987, em que ocorre um pico de extracção ($36.131 \text{ m}^3/\text{mês}$), seguido de um ligeiro decréscimo e um novo aumento a partir de Novembro de 1988 até Maio de 1990 (atinge $42.000 \text{ m}^3/\text{mês}$). A partir de Setembro de 1991, aumentou progressivamente a extracção até Abril de 1993, atingindo $46.076 \text{ m}^3/\text{mês}$. Atribui-se a esta sobre-exploração o enorme degrau erosivo na praia, que culminou com a destruição de um apoio de praia em finais de 1993, também referido por Noivo (1994). Posteriormente, os valores estabilizaram em cerca dos $30.000 \text{ m}^3/\text{mês}$ devido à implementação de um limite máximo de exploração; a extracção atingiu cerca de $400.000 \text{ m}^3/\text{ano}$ de 1989 a 1995.

Em 1996, uma menor deriva litoral de areia para sul do Cabo Mondego gerou grande erosão da praia entre o Cabo Mondego e Buarcos, bem como um grande recuo da linha de costa junto ao local de extracção (foto 3), obrigando a duas reduções sucessivas dos montantes máximos de exploração permitidos. Em Junho de 1996 passou a ser de $27.000 \text{ m}^3/\text{mês}$ e em Setembro, do mesmo ano, de $21.000 \text{ m}^3/\text{mês}$. O volume total que foi extraído na praia, de 1977 a 1996, foi de $5,8 \times 10^6 \text{ m}^3$; note-se que, dada a ausência de meios de pesagem, os valores são obtidos por estimativa das camionetas de carga.

4.3. Extracção de areia no anteporto e áreas adjacentes

Não obstante os elevados montantes de areias retiradas na praia junto do molhe norte, continuou a registar-se uma entrada de areias marinhas no anteporto, favorecida pelo aprofundamento resultante das dragagens na área portuária (troço 2), que obrigou a contínua extracção na barra para evitar o assoreamento. Foi em 1990 que se iniciou a extracção de areias no anteporto e sector marinho adjacente. Nos primeiros dois anos os montantes foram variáveis, mas atingindo máximos no mês de Julho. A partir de Setembro de 1992, verificou-se uma queda nos valores, coincidente com o máximo de extracção na praia. Com a entrada em funcionamento em Março de 1994 de uma draga de sucção (foto 4), com muito maior capacidade operativa, os montantes aumentaram novamente. Note-se, contudo, que o funcionamento da draga está condicionado pelas condições de agitação marítima e a extracção ocorre em vários locais.

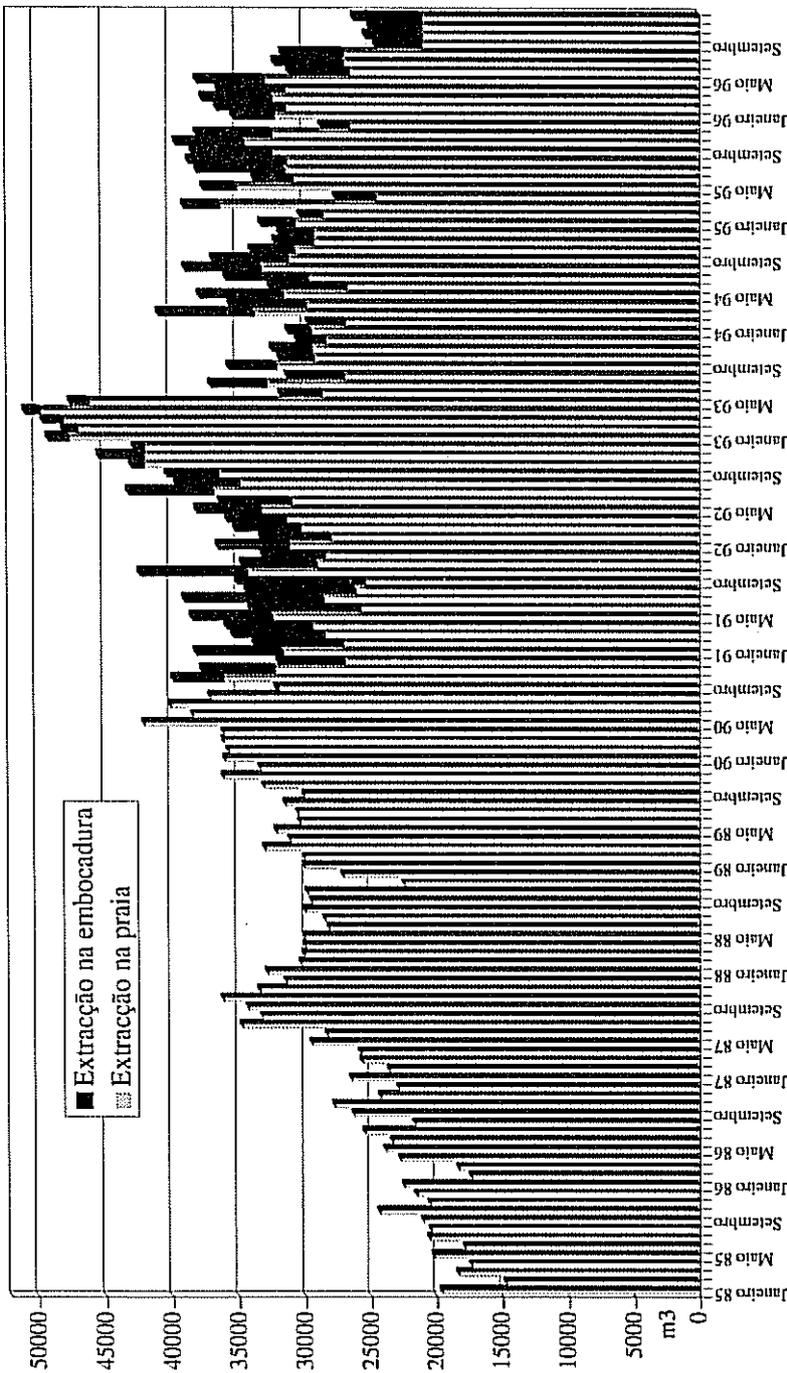


Fig. 4 — Volumes de areia (m³) extraídos mensalmente na praia junto do molhe norte e na zona que abrange o anteporto e embocadura, entre Janeiro de 1985 e Dezembro de 1996. Dados fornecidos pela JAPFF.
Volumes of sand (m³) monthly removed between January 1985 and December 1996 on the beach near the northern jetty and in the mouth and access channel. Data from JAPFF.

Preferencialmente opera em frente da cabeça do molhe exterior norte, mas também periodicamente no anteporto e, mais raramente, no canal de acesso ao Cais Comercial, onde uma pequena parte da areia retirada é de proveniência fluvial. De 1990 a 1995, o volume anual de areia extraída variou entre 13.648 e 86.195 m³ (média anual de 44.047 m³). O volume total que foi extraído no anteporto (1990-1996) é de $0,3 \times 10^6$ m³ (neste montante não se incluem as dragagens de regularização analisadas na secção 4.1).

4.4. Análise comparativa da extracção de areia no anteporto e praia

Verifica-se uma correlação inversa entre os valores de areias extraída no anteporto/barra com os retirados na praia (fig. 4). Admite-se também que um acentuado rebaixamento dos fundos no anteporto e canal de acesso ao Porto Comercial, induz um aumento da transferência da areia da praia a norte dos molhes para o interior da embocadura, na procura do restabelecimento do equilíbrio dinâmico.

Entre Novembro de 1990 e Novembro de 1991 os montantes médios mensais estabilizaram em cerca de 28.000 m³ na praia e 5.000 m³ no anteporto. Até Maio de 1993 verificou-se o aumento progressivo dos volumes extraídos na praia, que atingiram cerca de 50.000 m³, acompanhado por um progressivo decréscimo no volume retirado no anteporto até atingir valores insignificantes.

No conjunto, o montante total retirado no anteporto e praia (fig. 4), tende para estabilização de 1991 a início de 1996, com excepção dos elevados volumes retirados na praia no período de Outubro de 1992 a Maio de 1993.

5. CAUDAIS SÓLIDOS NO SISTEMA SEDIMENTAR

5.1. Capacidade de transporte sólido fluvial

CONSULMAR (1987) estimou que a regularização do sector fluvial do Mondego faria diminuir em cerca de 170.000 m³/ano a carga sólida tractiva que depois atingiria a área portuária. Segundo IMPACTE (1993), a capacidade de transporte sólido anual estimada para o final do sector fluvial regularizado do Baixo Mondego (limite montante do troço 3) era reduzida, da ordem de 0,25 a 0,5 l/s (correspondendo a cerca

de 7.884 a 15.768 m³/ano). O valor elevava-se para 1,6 l/s (cerca de 50.458 m³/ano) imediatamente a jusante, descendo para valores quase nulos perto da Fontela, voltando a subir para 0,9 l/s (cerca de 28.382 m³/ano) entre a ponte da Figueira e o Cais Comercial (a meio do troço 2) e atingindo valores insignificantes próximo da embocadura. Deste modo, os caudais sólidos transportados tendiam assorear o sector imediatamente a montante da bifurcação dos braços e junto à Fontela. Por outro lado, a variabilidade sazonal da capacidade de transporte sólido ao longo do Braço Norte, determinava a sua instabilidade e a deposição de sedimentos na zona portuária.

Anteriormente à sua regularização em 1995, o troço estuarino entre a ponte da Figueira da Foz e os Cinco Irmãos (troço 3) apresentava tendência erosiva. No troço 2, que tinha sido aprofundado por dragagem, adicionavam-se os volumes erodidos no troço 3 e uma fracção dos 63.000 m³/ano de afluxo da bacia hidrográfica do Mondego (CONSULMAR, 1987).

Dadas as elevadas profundidades relativamente às condições de equilíbrio natural, após as obras de regularização no troço 3, prevê-se a necessidade futura de retirar volumes de areia que se irão acumular no sector e que não são expelidos para jusante.

Em 1996 iniciou-se o aterro da margem norte do troço 2 (junto da ponte) para a construção do terminal de granéis sólidos, bem como a dragagem da respectiva área de manobra (passagem da cota -4 para -7 m). Está previsto para finais de 1997 a execução de dragagem de regularização de todo o restante troço a jusante, para ficar à cota -7 m, incluindo quebramento de rocha e remoção de 1.050.000 m³ de sedimentos, que deverão ser largados no mar em frente do hospital na Gala.

5.2. Caudal sólido em deriva litoral

A primeira avaliação da deriva litoral de areias que ultrapassa para sul o Cabo Mondego, foi efectuada com areias da praia marcadas com prata radioactiva no Verão de 1957 (GILBERT *et al.*, 1960; ABECASIS *et al.*, 1962). A areia litoral transpõe o Cabo Mondego sobre o estrão, de norte para sul, para direcções de agitação do mar com um azimute, junto à costa, superior a N283°. Calculou-se o volume desta deriva, em ano médio, em cerca de 400.000 a 550.000 m³/ano.

Posteriormente, no 5.º Relatório do L.N.E.C. (Outubro de 1970, *in* CONSULMAR, 1973), avaliou-se o transporte sólido litoral comparando levantamentos topo-hidrográficos do enchimento da praia (entre 1961 e 1966) em resposta à execução dos molhes exteriores do porto, tendo sido estimado um caudal médio de 900.000 m³/ano. Note-se que este valor foi obtido a partir de um volume não fechado, pois existiram areias que escaparam para sul do molhe norte, pelo que o valor real para esse período deve estar mais próximo de 1.000.000 m³/ano. Por outro lado, saliente-se que a análise da ondulação revelou que 4 dos 5 anos do período considerado foram mais energéticos que o normal, em particular o de 1965-66, o que permite concluir que a média obtida foi superior ao caudal médio anual obtido para um grande número de anos (CONSULMAR, 1973).

CASTANHO *et al.* (1974) admitem um valor de 10⁶ m³/ano para a deriva litoral junto a Aveiro. Contudo, OLIVEIRA *et al.* (1982) consideram que este valor estará subestimado e que a capacidade de transporte potencial da agitação marítima na costa ocidental poderá atingir os 2 × 10⁶ m³/ano. Note-se que na actualidade, e desde há alguns anos, a extração de areias da praia em S. Jacinto (Porto de Aveiro) atinge cerca de 10⁶ m³/ano, e que as praia a sul manifestam um recuo erosivo.

Com base na variação dos montantes extraídos nos últimos anos e na evolução da faixa de praia, estimamos que o caudal sólido que actualmente transpõe, para sul, o Cabo Mondego se encontra muito reduzido. Os montantes de areia extraída nos últimos dez anos na praia e embocadura do Porto da Figueira da Foz apresentaram um valor médio de cerca de 420.000 m³/ano; admitimos que estará próximo do caudal sólido em deriva na zona de rebentação, devendo ser considerado um adicional correspondente à circulação abaixo da rebentação. Com efeito, quando a extracção de areias marinhas na praia atinge cerca de 500.000 m³/ano, como ocorreu em 1993, verificou-se significativa erosão local (CUNHA *et al.*, 1996).

Assim, admitimos um valor médio de 550.000 m³/ano para a deriva litoral a que alcança a Figueira da Foz. Mesmo este valor é, na actualidade, provavelmente menor se considerarmos o generalizado défice sedimentar em quase toda a costa ocidental portuguesa, cujos reflexos se expressam por um gradual recuo erosivo da linha de costa. Concordamos com FERREIRA (1993) em que, devido essencialmente a acções antrópicas, o fornecimento de areias por deriva litoral para a zona Aveiro-Cabo Mondego deverá ser actualmente muito pequeno.

6. BALANÇO SEDIMENTAR

De acordo com todos os dados disponíveis acerca dos fluxos sedimentares, transferências artificiais de sedimentos e do modelo de circulação hidrodinâmica, é possível elaborar uma síntese do balanço sedimentar actual da área estudada, que se apresenta na fig. 5. Os valores de caudais sólidos apresentados são para ano médio, ao passo que os movimentos artificiais se referem aos dados do ano de 1996.

A capacidade de transporte no estuário e praias adjacentes baseia-se na distribuição granulométrica, composicional, morfoscópica e textural dos sedimentos superficiais, bem como nas velocidades de corrente junto do fundo e outros parâmetros físico-químicos medidos em campanhas de campo. Os dados da distribuição de sedimentos referem-se a campanhas efectuadas após o inverno de 1995-96, em que se verificaram caudais de cheia com período de retorno de 125 anos, pelo que se presume que em anos com caudais fluviais médios a dinâmica fluvial perderá influência face à dinâmica marinha, com deslocação para montante dos vários sectores estuarinos.

Parte dos dragados da área estuarina, constituídos por elevadas proporções de lodos e areias lodosas, têm sido largados a sul da desembocadura, frente à praia da Cova (fig. 5). A eficácia para a alimentação da deriva litoral e das praias destes materiais finos é fraca, pois a agitação litoral mantém os lodos em suspensão, acabando por derivar para o largo.

7. CONCLUSÕES

As sucessivas intervenções estruturais para o melhoramento da funcionalidade do Porto da Figueira da Foz têm-se traduzido por investimentos avultados de vários tipos, sendo aqui analisadas as obras com implicações na circulação hidráulica e de sedimentos.

No litoral adjacente, a deriva litoral de areia para sul é muito reduzida devido à sua extracção na praia junto do molhes exterior norte. Uma fracção das areias que transpõem para sul o molhe norte é responsável pelo assoreamento do anteporto e zona portuária, como é evidenciado pela relação entre as acumulações e extracções nestes sectores. No seu conjunto, as dragagens portuárias e a extracção de areias retiram elevados volumes, que por não serem transferidos para o litoral adjacente, incrementam o défice de alimentação arenosa da costa (CUNHA *et al.*, *in press*).

Esta sobreexploração dos circuitos sedimentares pode propagar-se por deriva litoral para sul (mais persistente) ou para norte, em função da dominância dos rumos de ondulação, como tem sido evidente nas praias deste sector costeiro.

Serão de ter em conta as consequências — na agricultura e nos aquíferos — do aumento da penetração salina para montante, favorecida pelas obras de regularização e aprofundamento do canal estuarino, bem como pela redução do caudal fluvial.

A progressiva ocupação antrópica das margens dos canais estuarinos, com aterro e isolamento em relação à dinâmica de maré, resultará numa redução do prisma e energia média mareais; haverá também tendência para inundação das zonas ribeirinhas, particularmente se coincidirem caudais de cheia fluvial com praia-mar de marés vivas e temporais.

A diminuição dos processos fluviais no Braço Sul, devido à redução do influxo na bifurcação com o Braço Norte, conduz mais rapidamente à sua colmatação. O rápido assoreamento do Braço Sul iniciou-se essencialmente com as obras de 1843, pois até então era «...profundo e seguro fundeadouro...» (MARTINS, 1940), acelerou com as obras de estreitamento do sector terminal (desde 1934, criando o delta de fluxo a montante da ponte da Gala) e com a redução da comunicação a montante em 1995.

Actualmente chegam ao estuário, com um reduzido prisma mareal, caudais líquidos regularizados e muito baixo caudal sólido — a carga sólida tenderá a minimizar-se pelo efeito de retenção das barragens a montante. Neste contexto, só durante as situações de cheia — na sequência de uma das quais foi efectuado o reconhecimento dos sedimentos de fundo (fig. 5) — existe um predomínio da dinâmica fluvial,

(Legenda da Fig. 5)

Circulation pattern and sedimentary budget (values in $m^3 \times 10^3/year$) in the Mondego Estuary and adjacent coastal area, after a fluvial flood (probability of occurrence of 125 years; winter 1995-1996). Legend: 1 — sand mining in the beach; 2 — sand mining in the mouth and access channel; 3 — disposal of mud and muddy sands dredged in the harbour area; 4 — transport capability up to granules; 5 — transport capability up to coarse sand; 6 — transport capability up to medium sand; 7 — dominant sense of sand transport by longshore drift (not dashed with NW-N wave regime, dashed for SW-WSW wave regime); 8 — seaward drift of mud dredged in the estuary; 9 — wind blown beach sand; 10 — dominant wave direction (NW during summer, more persistent, WSW in winter); 11 — sand; 12 — mud; 13 — salt marsh.

com eficaz transferência de sedimentos para o litoral. Mesmo nestas situações verifica-se durante a enchente transporte tractiveiro de areias junto à margem esquerda, penetrando nos dois braços e chegando as areias médias a atingir o sector adjacente à bifurcação com o Braço Sul. Para todas as situações de médios e baixos caudais fluviais (sendo esta a situação largamente prevalecente), as areias e areão não transpõem eficazmente a embocadura durante a vasante. A eficácia implicaria que os sedimentos se incorporassem na deriva litoral (tendencialmente para sul), evitando assim o seu retorno na enchente subsequente. Note-se que, não obstante os elevados volumes retirados na praia junto ao molhe norte, a energética e frequente ondulação de NW contribui para assorear rapidamente a barra, colocando frente à mesma, por deriva, volumes de areia que penetram durante a enchente.

Estão divulgados publicamente planos para aprofundamento da barra e canal de acesso ao porto comercial para profundidades de -7 m (Z.H.), a serem executados em finais de 1997. Do exposto acima e dos resultados da monitorização e análise de obras similares (p. e. SIMMONS & HERRMANN, 1972), podem-se antever modificações significativas no padrão de circulação e assoreamento numa área bastante superior à afectada directamente por dragagem, nomeadamente a penetração para montante das barras desenvolvidas por correntes de densidade na interface entre águas marinhas e fluviais, bem como a extensão da cunha salina. As dragagens de regularização não devem prolongar-se por períodos muito longos (note-se que a partir de 1991 tem havido grandes dragagens todos os anos; fig. 2), devendo efectuar-se de preferência durante as vasantes e especialmente nos meses de Novembro a Janeiro, para minimizar os impactes sobre os ecossistemas, com destaque na incidência nas comunidades bentónicas estuarinas. Este tipo de intervenções de grande escala, para além da necessidade de prévia avaliação de impactes ambientais, devem ser acompanhadas por estudos de monitorização durante a fase de execução, bem como ser feita uma análise dos desvios à evolução morfossedimentar esperada e adopção de medidas minimizadoras dos impactes verificados.

Em nosso entender, a situação actual de assoreamento da barra só poderá ser melhorada com uma alteração da circulação sedimentar na embocadura. Neste sentido, está ser formulada uma proposta de intervenção (CUNHA *et al.*, 1996), conducente à minimização do assoreamento na área portuária e à redução da erosão na costa adjacente.

Agradecimentos — Deve-se à Junta Autónoma do Porto da Figueira da Foz a disponibilização de documentação técnica bem como as informações prestadas, nomeadamente os dados respeitantes a dragagens, extracções de areia e as coberturas topo-hidrográficas. Aos Profs. Doutores Seabra Santos e Antunes do Carmo (Dep. Engenharia Civil, Univ. Coimbra), agradece-se as informações sobre a hidrodinâmica estuarina e regime da agitação marítima, bem como a leitura crítica deste trabalho. Um reconhecimento ao Pólo de Coimbra do Instituto do Mar pela cedência de equipamentos para execução de campanhas de campo, à Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Centro o acesso a documentação técnica, e à Capitania do Porto da Figueira da Foz pelas informações prestadas. Agradece-se a colaboração do Prof. Doutor Pena dos Reis e do Lic. Pedro Caetano, no âmbito do projecto de investigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABECASIS, F., MATIAS, M. F., CARVALHO, J. J., & VERA-CRUZ, D. (1962) — Methods of determining sand and silt movement along the coast, in estuaries and in maritime rivers. *Lab. Nac. Eng. Civil. Technical paper*, n.º 186, Lisboa, 25 p.
- BATISTA, A. (1990) — *Estudo das marés e circulação hidrodinâmica*. In Relatório de actividades do projecto de investigação — «Lançamento de bases para o estudo integrado do estuário do Mondego». Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (policopiado).
- BETTENCOURT, P., & ÁNGELO, C. (1992) — Faixa costeira Centro Oeste (Espinho-Nazaré): enquadramento geomorfológico e evolução recente. *Geonovas*, n.º esp.1 (A Geologia e o Ambiente), Lisboa, pp. 7-30.
- CASTANHO, J., GOMES, N., CARVALHO, J., VERA-CRUZ, D., ARAÚJO, O., TEIXEIRA, A., & WEINHOLTZ, M. (1974) — Means of controlling littoral drift to protect beaches, dunes, estuaries and harbour entrances. Establishment of artificial beaches. *Mem. LNEC*, 448, Lisboa, 26 p.
- CONSULMAR (1973) — *Porto da Figueira da Foz. Plano geral das obras interiores do porto da Figueira da Foz e de valorização do estuário do Mondego. Esquema geral do Plano e plano parcial das obras da 1.ª fase*. (Junho 1973), Rel. não pub., 105 p.
- (1987) — *Estudo da viabilidade económica da exploração do Porto da Figueira da Foz*. (Maio 1987). Rel. não pub., 68 p.
- CUNHA, P. PROENÇA, DINIS, J. L., & REIS, R. PENA DOS (1996) — *Relatório de Progresso (2.º ano) 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), 26 p. e anexos.
- CUNHA, P. PROENÇA, PINTO, J., & DINIS, J. L. (*in press*) — 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, n.º 4, 32 pp.
- DUARTE, D. N. & REIS, R. PENA DOS (1994) — Impact on sedimentary dynamic of the Mondego Estuary of regularization works on the North Channel. *ECSA 24 Symposium northern and southern estuaries and coastal areas (Abstracts)*, Aveiro, 5-8 September, p. 73.

- FERREIRA, O. (1993) — Caracterização dos principais factores condicionantes do balanço sedimentar e da evolução da linha de costa entre Aveiro e o Cabo Mondego. Dissertação de Mestrado na Univ. de Lisboa (policopiado), 168 p.
- GILBERT, A., FERREIRA, M. G., CORDEIRO, S., ABECASIS, F. M., & CARVALHO, J. R. (1960) — Tracing undersea sand movement with radioactive silver. *Lab. Nac. Eng. Civil Technic. paper*, 150, Lisboa, 5 p.
- IMPACTE (1993) — *Estudo de impacte ambiental do terminal de granéis sólidos do Porto da Figueira da Foz*. Rel. não pub., 126 p.
- MARTINS, A. F. (1940) — *O esforço do Homem na Bacia do Mondego*. Coimbra, Ed. Autor, 299 p.
- NOIVO, L. S. (1994) — Human activities in conflict in the coastal zone: study case of Figueira da Foz. *Gaia*, 9, pp. 115-118.
- OLIVEIRA, I. MOTA, VALE, A., & MIRANDA, F. (1982) — Littoral problems in the Portuguese west coast. *Coastal Engineering Proceedings*, vol. III, p. 1950-1969.
- SIMMONS, H. B., & HERRMANN, F. A., Jr. (1972) — Effects of Man-made works on the hydraulic, salinity and shoaling regimens of estuaries. *Mem. Geol. Soc. America*, 133, pp. 555-570.
- VICENTE, C., & PEREIRA, M. (1986) — Análise da evolução da praia da Figueira da Foz. *Lab. Nac. Eng. Civil. Rel.*, 106/86, Lisboa, 51 p.
- VICENTE, C. (1990) — Evolução costeira devida a obras portuárias: casos da praia da Figueira da Foz e da embocadura da Ria de Aveiro. *1.º Simpósio sobre a protecção e revalorização da faixa costeira do Minho ao Liz (Comunicações)*, Porto, pp. 164-177.

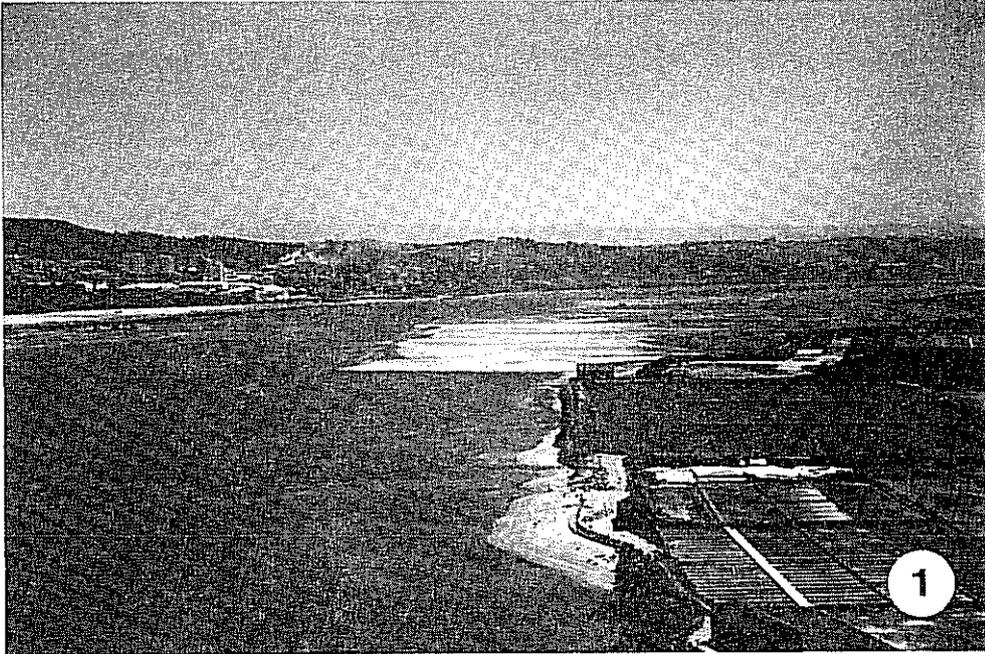
ESTAMPA I

Foto 1 — Panorâmica (1 de Julho de 1995) do sector terminal do Estuário do Mondego durante as obras de regularização entre a Ponte da Figueira da Foz e a bifurcação dos braços estuarinos (troço 3).

Photo 1 — View (1 July of 1995) of the terminal sector of the Mondego Estuary during the construction of the navigation channel and artificial margins, between the Figueira da Foz bridge and Cinco Irmãos (sector 3).

Foto 2 — Vista do Braço Sul a partir da bifurcação, com o enrocamento em primeiro plano (96/05/31). É manifesto que a comunicação com o Mondego apenas se dá em praia-mar, excepto em situações de cheia fluvial.

Photo 2 — View of the Southern Branch at the upstream division (Cinco Irmãos; 96/05/31). The observed rock revetment allow communication between branches only at high tide, except during fluvial floods.



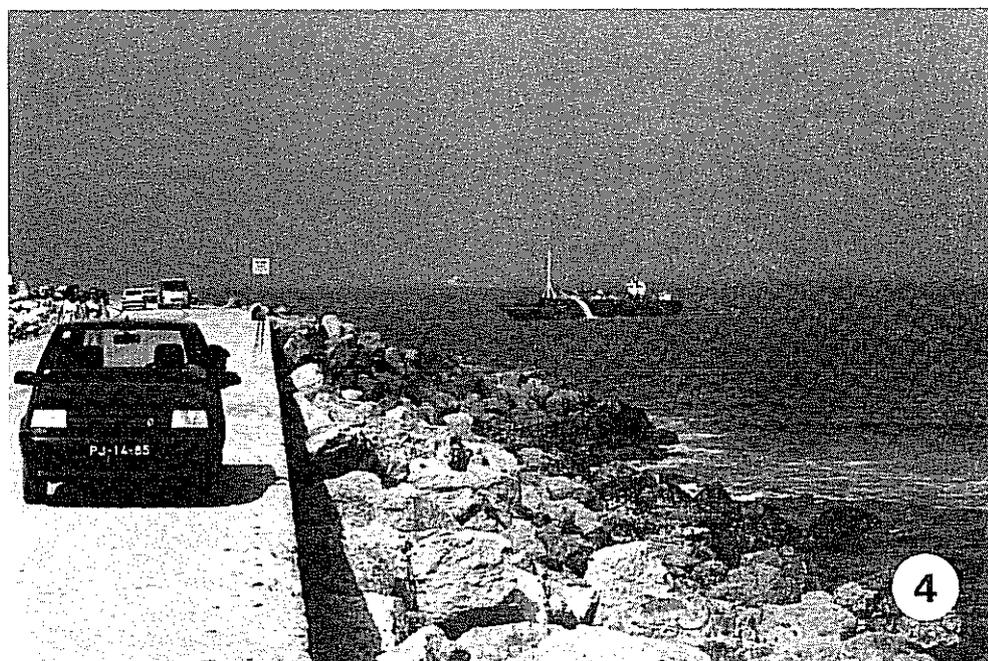
ESTAMPA II

Foto 3 — Extração de areias na praia da Figueira da Foz, junto ao molhe exterior norte (96/05/02). Os volumes extraídos não são repostos em deriva litoral, sendo utilizados principalmente na construção civil.

Photo 3 — Sand mining at the Figueira da Foz beach (96/05/02). The extracted sands are mainly used in constructions, contributing to the depletion of the longshore drift.

Foto 4 — Draga de sucção, em operação no banco arenoso no prolongamento do molhe exterior norte (96/07/17).

Photo 4 — Sucking dredge operating on the sandbar at the seaward end of the northern external jetty (96/07/17).



EXECUÇÃO GRÁFICA
COIMBRA EDITORA, LDA.
Rua do Arnado
3000 COIMBRA

Memórias e Notícias

Sumário dos últimos números

N.º 117 (1994) Cont.

- A. J. S. C. Pereira e L. C. G. Pereira — *Caracterização do metamorfismo regional em metasedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico ante-ordovícico na região da Sertã (Portugal Central), com base no parâmetro b_0 da mica branca.*
- A. L. Almeida Saraiva — *A expansibilidade em lodos do fundo da Lagoa de Óbidos.*
- E. Ivo Alves — *Notice on the predictability of earthquake occurrences.*
- L. M. S. Simões, M. M. Godinho e L. J. P. F. Neves — *Introdução à geologia da região de Mangualde (Portugal Central).*
- L. J. P. F. Neves — *O Plutonito de Avô (Portugal Central): génese e termobarometria.*

N.º 118 (1994)

- L. J. P. F. Neves e A. J. S. C. Pereira — *Ordenamento Al-Si dos feldspatos potássicos dos plutonitos da Zebreira.*
- A. L. Almeida Saraiva — *As classificações geotécnicas para maciços rochosos. Uma análise crítica.*
- M. N. Potró — *O meteorito de Naragh (Irão): descrição e classificação.*
- A. Vilela de Matos e M. B. Sousa — *Variação composicional das volframites e das blendas do jazigo de Vale das Gatas (Norte de Portugal) e sua relação com os fluídos mineralizadores.*
- A. J. S. C. Pereira and A. J. Hurford — *Time of emplacement and cooling history of the late hercynian granites from Tondela-Oliveira do Hospital region (Central Portugal).*

N.º 119 (1995)

- M. N. Potró — *Polimetamorfismo e suas relações com as deformações no Maciço de Oetztal (Alpes Orientais).*
- E. Ivo Alves — *A new method for predicting earthquake occurrences.*
- J. M. Lourenço e A. Vilela de Matos — *Granitos hercínicos sin-orogénicos como marcadores cinemáticos da Falha de Vila Real (Vila Pouca de Aguiar, norte de Portugal).*
- M. N. Potró — *Eventos tectonometamórficos pré-alpinos dos Alpes Orientais e do Maciço Hespérico — uma tentativa de correlação.*

Memórias e Notícias, n.º 120, 1995

Publicação do Departamento de Ciências da Terra e do Mus. Mineral. Geol., Univ. Coimbra

ÍNDICE

Assimilação e história do arrefecimento como factores de zonamento em plutonitos graníticos — o caso do granito de Tábua <i>A. J. S. C. Pereira, L. J. P. F. Neves e M. M. Godinho</i>	1
Estimação expedita do ordenamento Al-Si do feldspato potássico — uma reapreciação <i>L. J. P. F. Neves e M. M. Godinho</i>	15
A análise e classificação da alteração em rochas e em maciços rochosos. Uma perspectiva <i>A. L. Almeida Saraiva</i>	25
A simple seismic computational model <i>E. Ivo Alves</i>	37
Origem, evolução e tipologia das cartas geotécnicas <i>A. L. Almeida Saraiva</i>	49
Algumas peculiaridades do metamorfismo do Complexo Cristalofílico de Semide (Coimbra, Portugal) <i>M. N. Potró</i>	63
Evolução estuarina condicionada por intervenções portuárias: modificações recentes no sector intermédio e distal do estuário do Mondego <i>P. Proença Cunha, J. Dinis, A. Freire da Silva & J. Nunes André</i>	95