

## O LIMITE MARÍTIMO DO ESTUÁRIO DO SADO A PARTIR DE IMAGENS SATELITAIS

M. EUGÉNIA S. DE ALBERGARIA MOREIRA<sup>(1)</sup>

**Resumo** – O limite marítimo do estuário do Sado, de contorno arqueado e digitado, corresponde à frente do delta submarino do Sado. Classificações multispectrais de imagens MSS dos satélites Landsat permitiram individualizar esse limite e verificar que a chamada pluma de turvação do estuário do Sado se individualiza mais pela fraca profundidade e brancura dos sedimentos do fundo do que pela turvação das águas.

**Palavras-chave:** detecção remota, Estuário do Sado.

**Abstract** – **SEA-SIDE LIMIT OF SADO ESTUARY IN LANDSAT IMAGERIES.** The outside limit of Sado estuary corresponds to the submarine delta front, with an arcuate and digitate contour. It was individualised on the MSS Landsat data imageries. Multispectral data classification allowed to verify that the turbidity-plum of Sado estuary mouth rather corresponds to the low-sea-water surface associated to the brightness of the bottom sediments, than to the water turbidity content.

**Key-words:** remote sensing, Sado Estuary.

### 1 – INTRODUÇÃO

O rio Sado desagua no Oceano Atlântico por um estuário de tipo lagunar (quanto à forma, DYER, 1973 e 1986) e pelítico (quanto aos sedimentos, GUILCHER *et al.*, 1982), que se prolonga para o exterior pelo Canal da Barra, entre a Serra da Arrábida e a extremidade setentrional da restinga de Tróia, e por um sector, ainda fluvio-marinho, que corresponde ao delta submarino do Sado (fig. 1; MOREIRA-LOPES, 1979).

A individualização do limite de espalhamento das águas estuárias, discernível por observação directa da paisagem através da mudança de cor das águas (vista do cimo da Serra da Arrábida ou em sobrevôo), foi possível cartografar a partir de imagens fornecidas por satélites da série LANDSAT, devido às diferenças de luminância.

---

<sup>(1)</sup> Professora Catedrática da F. L. U. L.. Investigadora do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa. Faculdade de Letras, 1699 Lisboa, Portugal.

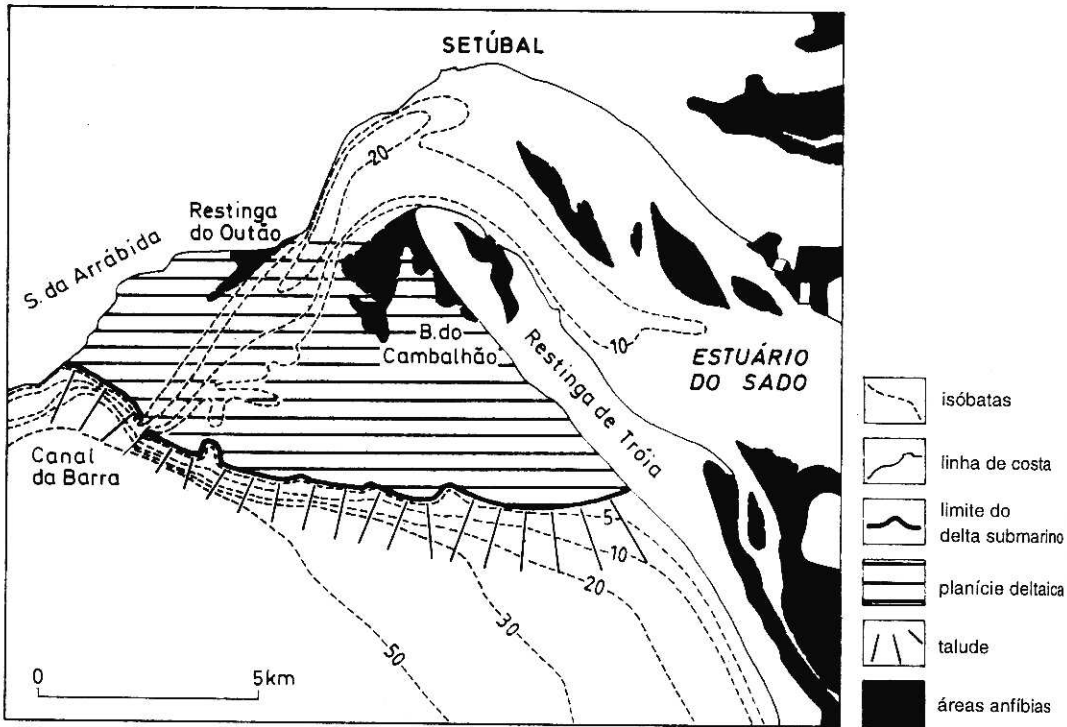


Figura 1 – Enquadramento do Estuário do Sado, a partir da Carta Hidrográfica da Costa Portuguesa entre Sesimbra e Setúbal (Instituto Hidrográfico, Lisboa, 1980).

Este limite de dispersão da pluma de descarga das águas estuárias corresponde ao limite físico do estuário com o sistema marítimo, do mesmo modo que o limite atingido pela maré dinâmica corresponde ao limite físico do estuário com o sistema fluvial.

Foram analisadas uma imagem MSS e duas TM, captadas entre 1978 e 1985.

As imagens TM de 12 de Março e de 1 de Agosto de 1985, correspondem, respectivamente a situações de fim de vazante de águas mortas (com 1,69 m de amplitude e 1,82 m de altura da maré à hora da passagem do satélite sobre o estuário, TABELA DAS MARÉS, 1985) e de início de enchente em águas vivas (com 2,86 m de amplitude e 1,35 m de altura de maré à hora da passagem do satélite). A de Março foi captada em situação de atmosfera brumosa, e a de Agosto com a atmosfera limpa.

A imagem MSS de 20 de Agosto de 1978 coincidiu com o fim de uma vazante, ainda em período de águas vivas, com 3,43 m de amplitude (TABELA DAS MARÉS, 1978), e foi registada em boas condições de transparência da atmosfera.

## 2 - PROCESSAMENTO DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

As imagens foram analisadas por foto-interpretação de composições coloridas resultantes da sobreposição de diferentes canais. Nas composições coloridas multispectrais de todas as imagens, foi possível observar uma faixa de descontinuidade entre duas massas de água, aparentemente com cor diferente e a individualização de uma pluma de descarga da água estuária.

A imagem resultante da sobreposição dos canais MSS 4, 5 e 6, de 1978, oferece a melhor e mais contrastada definição desse limite.

Do sistema TM só dispusémos das imagens em papel; nas composições das imagens TM, correspondentes à sobreposição dos canais TM 2, 3 e 5, a mancha referente à pluma de descarga estuária é pequena, em especial na imagem de Agosto, e a faixa de contacto com a água marinha, mal definida. Isso deve-se à altura da maré no momento de registo (início de enchente), e à amplitude da maré que, entre outros parâmetros físicos, condicionam a dimensão das plumas (OINNEL, 1990). Na imagem de Março a pluma é mais extensa que na imagem de Agosto de 1985, e menos que na de Agosto de 1978, mas mal delimitada. Acrescente-se que o tratamento que fora dado a estas imagens não visava o estudo da água, mas dos biótopos continentais (Programa CORINE/LAND COVER, CE, 1985 e 1986).

Por isso, todo o processamento digital foi feito a partir dos dados da imagem de 1978. Nesta, no momento da passagem do satélite sobre o estuário, a espessura da lâmina de água acima do zero hidrográfico era de 36 a 40 cm (TABELA DAS MARÉS, 1978).

Embora o céu estivesse limpo, retirou-se, por filtragem, o efeito da bruma e de todo o ruído da transparência atmosférica. Por filtragem direccionada (transformada de Fourier) eliminou-se o efeito da linha resultante do varrimento dos sensores, especialmente perturbadora na imagem original do canal MSS 4. Também se maximizaram os contrastes entre os valores de luminância dos elementos da imagem (*pixels*), de modo a acentuar os gradientes e a melhorar a individualização das descontinuidades entre as unidades da paisagem.

As imagens unispectrais contrastadas constituíram o objecto da primeira análise. Nelas sobressaem os limites terra-mar no canal MSS 7 e as diferenciações entre as massas de água e/ou as profundidades nos canais MSS 4, 6 e

mesmo MSS 5, salientando sempre a mesma forma em leque com contorno arqueado e irregular, mais ou menos digitado.

Da comparação destas imagens com a Carta Hidrográfica de 1980, verifica-se que esse limite corresponde ao da frente do delta submarino do Sado (fig. 1).

Com base na informação bibliográfica sobre o estudo das plumas de turvação dos estuários e deltas através de imagens satelitais (MOREIRA, 1982; MOREIRA e OLIVEIRA, 1988; OINNEL, 1990), a primeira hipótese formulada foi a de se tratar da pluma de turvação do estuário do Sado (MOREIRA e SOUSA, 1982), tanto mais que os valores dos canais MSS 4 e 5 a acusam (fig. 2). A comparação com as imagens de 1985 não só reforçava esta hipótese, como explicava que, durante a enchente, a pluma fosse mais curta e com contornos mais diluídos.

Procedeu-se à classificação unispectral das imagens, supervisionada a partir dos histogramas de frequência dos valores de luminância e dos perfis radiométricos. Verificou-se que as classificações dos canais MSS 4 (fig. 3), 5 (fig. 4) e 6 (fig. 5) evidenciam bem o mesmo limite, muito semelhante nas classificações dos canais MSS 4 e 5, respectivamente sensíveis à carga em suspensão e à natureza e cor dos sedimentos do fundo e em suspensão. Porém, na classificação dos valores do canal MSS 6, sensível à variação da profundidade, aquele limite mostra-se mais irregular. Com a classificação dos valores do canal MSS 7 (fig. 6), apenas se pretendeu diferenciar água e terra emersa.

Depois de se verificar a ausência de precipitação em Agosto de 1978 e o fraquíssimo caudal líquido do rio Sado, no Verão desse ano e no dia do registo da imagem referida (1,093 m<sup>3</sup>/s em Moinho da Gamitinha, *in* AMBAR *et al.*, 1980), levantou-se a hipótese da variação da profundidade acusada nos valores do canal MSS 6. Compararam-se os perfis radiométricos com os correspondentes perfis topográficos dos fundos (figs. 2 A e B), e verificou-se que, na realidade, o limite definido nas imagens resultantes das diferentes classificações, correspondente à variação brusca dos valores de luminância, coincide com o forte gradiente batimétrico da frente do delta submarino (50 m), entre a planície deltaica com profundidades inferiores a 5 m e a base do cone deltaico, na plataforma continental.

Todavia, ao longo do canal de navegação da Barra do Sado, que atravessa o delta e nele se insere com 10 a 20 m de profundidade, não se verifica diferenciação nos valores de luminância, imposta pela profundidade. Pelo contrário, as águas estuárias escoam-se por ele, formando uma pluma digitada que se destaca do leque e se estende para jusante do rebordo do delta, e que só pode ser devida à turvação da descarga estuária.

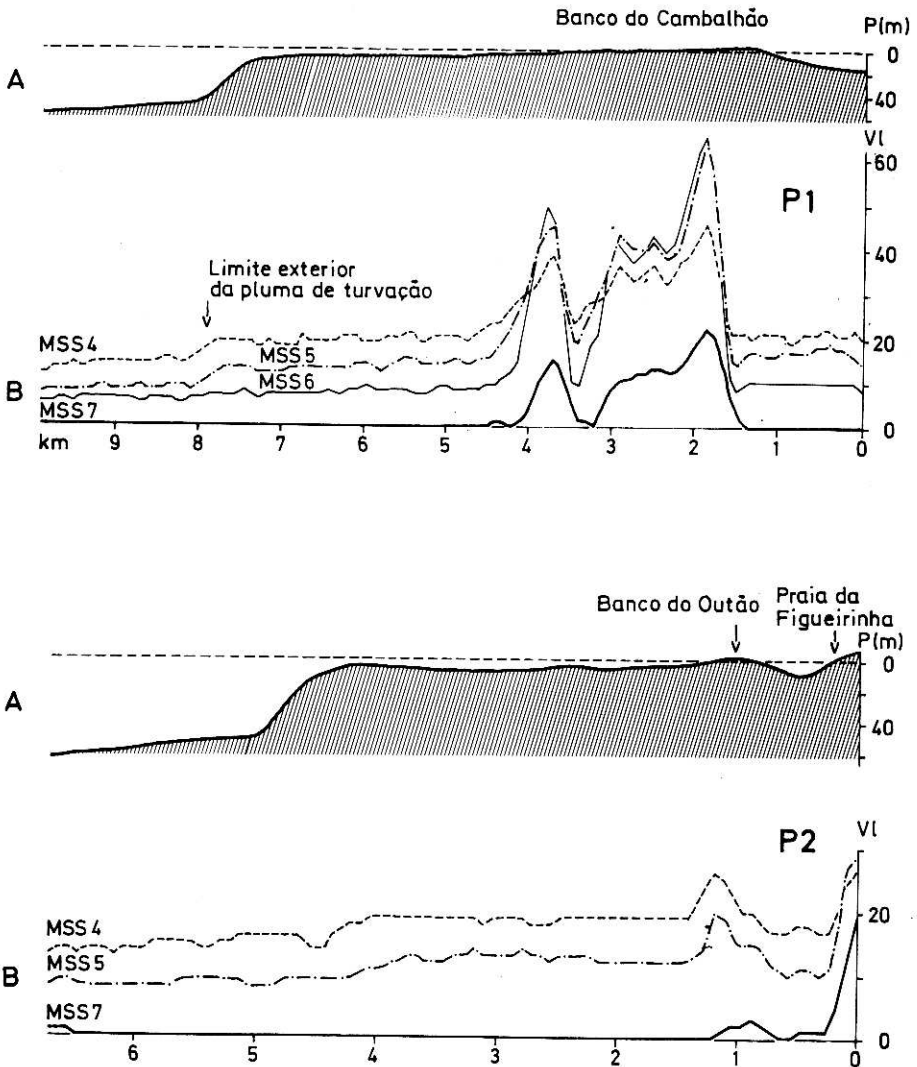


Figura 2 – Perfis batimétricos (A) e radiométricos (B) na foz do Estuário do Sado, sobre o delta submarino.

P1 – a partir do Canal da Barra (a 1,5 Km a norte do Banco do Cambalhão), com direcção N 15°E.  
 P2 – a partir da Praia da Figueirinha, com direcção N 15°E.



Figura 3 – Individualização do limite externo da massa de água estuária na imagem resultante de uma classificação supervisionada do canal MSS 4 da imagem de 1978.



Figura 4 – Individualização do limite externo da massa de água estuária na imagem resultante de uma classificação supervisionada do canal MSS 5 da imagem de 1978.

Legenda das figuras 3 e 4: 1 – Água do mar, 2 – Água da pluma com fraca profundidade, 3 – Água estuária, 4 – Lâmina de água sobre fundos arenosos, 5 – Areia molhada, 6 – Areias e calcários.

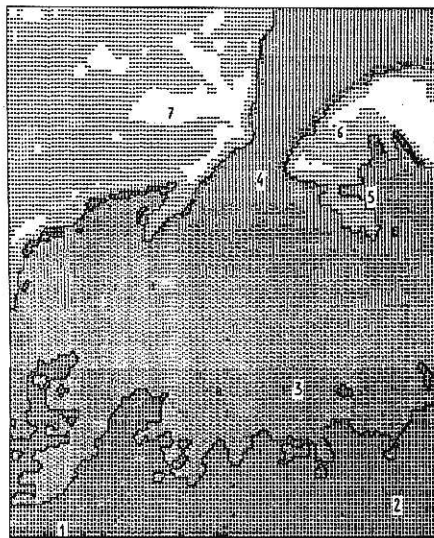


Figura 5 – Individualização do limite externo da massa de água estuária na imagem resultante de uma classificação supervisionada do canal MSS 6 da imagem de 1978.

Legenda: 1 e 2 – Água do mar, 3 – Água da pluma, 4 – Água estuária, 5 – Baixios arenosos, 6 – Areia molhada e solo com vegetação, 7 – Rocha nua.

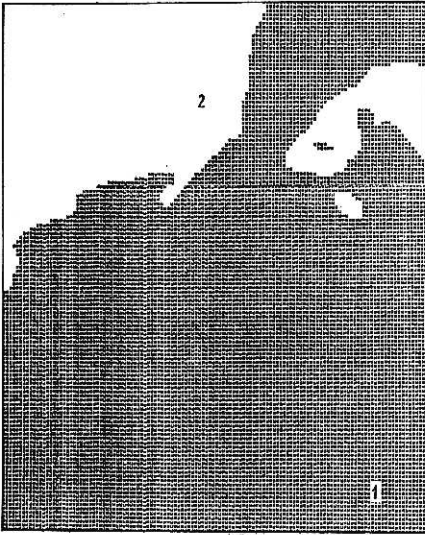


Figura 6 – Individualização das unidades: água e terra emersa, na imagem resultante de uma classificação supervisionada do canal MSS 7 da imagem de 1978.

Legenda: 1 – Água, 2 – Terra emersa.

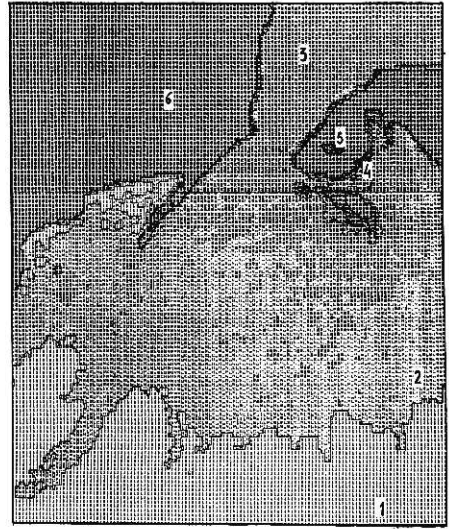


Figura 7 – Individualização da pluma de descarga da água estuária na imagem resultante da classificação multispectral supervisionada dos canais MSS 4, 5, 6 e 7 da imagem de 1978.

Legenda: 1 – Água do mar, 2 – Pluma de turvação sobre a superfície pouco profunda do delta submarino, 3 – Água estuária, 4 – Lâmina de água sobre fundos arenosos baixos, 5 – Pântano, 6 – Terra emersa.

De facto, tem-se verificado que a turvação das águas no estuário não depende apenas do contributo fluvial, só importante após as chuvadas ou as descargas das pequenas barragens da bacia do Sado (MOREIRA e OLIVEIRA, 1988).

No interior do estuário as águas são, em regra, mais turvas que as do mar, mesmo no Verão, em especial durante a vazante e nos canais de navegação. Essa turvação deve-se aos materiais que se encontram permanentemente em suspensão no estuário (núcleos de suspensão) e que resultam da erosão dos sedimentos pelíticos das plataformas anfíbias, pelas próprias correntes de maré. A elevada taxa de recuo da micro-arriba do sapal, em alguns sectores do estuário, é prova dessa actividade erosiva (MOREIRA, 1992). A prática da pesca de arrasto, as dragagens constantes e a própria navegação contribuem



muito para a agitação da água estuária e a manutenção de relativamente elevados valores de turvação.

É essa água que, na vazante, se espraia pela planície deltaica, pouco profunda. Daí que a classificação multispectral da figura 7, supervisionada a partir dos perfis da figura 2 e dos histogramas bidimensionais, discrimine duas classes de turvação devidas à suspensão (classes 2 e 3) e três classes, fundamentalmente devidas às diferenças de profundidade (classes 1, 4 e 5).

O resultado da classificação multispectral não supervisionada, a partir da análise factorial em componentes principais (aplicada aos quatro canais MSS) fornece o mesmo resultado. Por isso, foi experimentada para todo o estuário, a fim de definir a área deste, como se observa na figura 8, cuja ima-

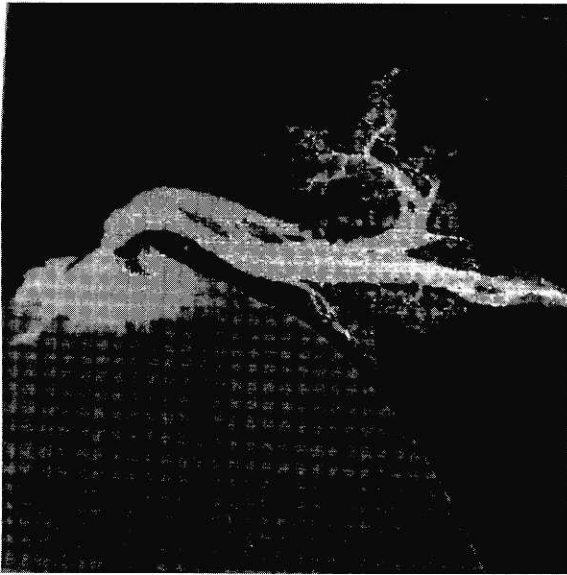


Figura 8 – Individualização da massa de água do estuário do Sado a partir da classificação não supervisionada dos quatro canais MSS da imagem de 1978, por análise em componentes principais. Distinguem-se da terra emersa e da água do mar, a água estuária que se prolonga pela pluma de turvação, tal como na figura 7, e as áreas húmidas da faixa entremarés (sapais e lodaçais).

gem corresponde à sobreposição das imagens da classificação do canal MSS 7 com as das duas primeiras componentes principais (respectivamente dependentes dos valores dos canais MSS 6 e MSS 5). Nela não só se individualizam as massas de água marinha e estuária, como as áreas anfíbias da faixa entremarés.



## 3 – CONCLUSÃO

As classificações multispectrais da imagem indicaram que os principais factores de diferenciação nas massas de água são a profundidade, a turvação e a cor do fundo. A primeira permite evidenciar os limites dos pântanos e dos baixios do Banco do Cambalhão e o contorno digitado da frente do delta submarino do Sado, por cujos vales e Canal da Barra se escoam a água estuária, mais turva. À fraca profundidade da planície deltaica, assinalada pelos valores do canal MSS 6, é de associar a brancura das areias, ricas em conchas, que constituem esse fundo baixo e que eleva os valores do canal MSS5.

Daqui se confirma a hipótese de o limite físico exterior do Estuário do Sado ser a frente do delta submarino. A distribuição espacial das termohalinas (que definem o limite químico) permitirá comparar os limites físico e químico do estuário.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no que respeita ao fornecimento das imagens LANDSAT e ao seu processamento digital. Os trabalhos de campo foram subsidiados pela JNICT, no âmbito do Projecto PEAM/C/CNT/28/91, "As Arribas da Arrábida e o Sistema Ambiental Atmosfera-Oceano".

## BIBLIOGRAFIA

- AMBAR, M. I.; A. FIÚZA; F. SOUSA; L. LOURENÇO (1980) – General Circulation in the Lower Sado River Estuary under Drought Conditions. Comunicação ao *Seminário sobre Problemas Actuais da Oceanografia em Portugal*, NATO, Lisboa, 10 pp. (polic.).
- DYER, K. R. (1973) – *Estuaries: a physical introduction*. John Wiley and Sons, London e New York.
- DYER, K. R. (1986) – *Coastal and Estuarine Sediment Transport*. Wiley-Interscience, Chichester.
- GUILCHER, A.; M. H. DANTEC; A. BELISARIO (1982) – Diversité morpho-sédimentologique des estuaires du Finistère. *Noröis*, 114: 208-228.
- MOREIRA-LOPES, M. E. S. A. (1979) – *O Estuário do Sado. Paisagem e Dinâmica* (Projecto de Investigação). Centro de Estudos Geográficos, Geografia das Regiões Tropicais, 2, Lisboa, 89pp. (polic.).
- MOREIRA, M. E. S. A. (1982) – Ensaio de Cartografia Automática da Foz do Guadiana a partir dos Registos Landsat 1. *Actas do II Colóquio Ibérico de Geografia*, Vol. I, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa: 291-302.

- MOREIRA, M. E. S. A (1992) – Recent saltmarsh Changes and Sedimentation Rates in the Sado Estuary, Portugal. *Journal of Coastal Research*, 8 (3): 631-640.
- MOREIRA, M. E. S. A.; E. M. OLIVEIRA (1988) – *Estuário do Sado: Identificação de Unidades Fisiográficas a partir de Imagens LANDSAT*. Informação Técnica de Detecção Remota, ITDR3, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 47p.
- MOREIRA, M. E. S. A.; M. F. SOUSA (1982) – *A turvação das águas na desembocadura do estuário do Sado, a partir dos dados do Satélite Landsat*. Relatório apresentado ao L.N.E.C. e à C.P.E.E.E., Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 29pp. (não divulgado).
- OINNEL, S.; W. SCHROEDER; J. WISEMAN (1990) – Estuarine-shelf exchange using Landsat images of discharge plumes. *Journal of Coastal Research*, 6 (4): 789-799.
- TABELA DAS MARÉS – 1978 e 1985. Instituto Hidrográfico. Lisboa.