



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Proc. 0604/011/17744

TRECHO DE COSTA DO DOURO AO CABO MONDEGO

Caracterização geral do processo erosivo

Estudo Integrado no Projeto Dinâmica Hidro-sedimentar
do Litoral a Curto e Médio Prazo, do Plano de
Investigação Programada (PIP) do LNEC para 2009-2012

Lisboa • outubro de 2012

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 253/2012 – DHA/NEC

TRECHO DE COSTA DO DOURO AO CABO MONDEGO

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROCESSO EROSIVO

RESUMO

O trecho compreendido entre a foz do Douro e o cabo Mondego apresenta o mais acentuado processo de evolução da costa portuguesa, com erosões a sul de Espinho e a sul da embocadura da Ria de Aveiro e acumulação a norte desta embocadura. A comparação de linhas de água de diferentes datas, complementada com a estimativa dos balanços de areia resultantes de perdas e ganhos ocorridos nas fronteiras norte e sul e no interior das três zonas referidas permitiu: quantificar as áreas e volumes perdidos pelo trecho de costa; caracterizar a evolução e distribuição espacial dessas perdas ao longo tempo; e interpretar de forma quantificada os processos de erosão e acumulação ocorridos entre a foz do Douro e o cabo Mondego.

COASTAL STRETCH FROM DOURO TO CABO MONDEGO

GENERAL CHARACTERIZATION OF THE EROSION PROCESS

ABSTRACT

The stretch confined between Douro mouth and Mondego headland presents the most pronounced evolution process of the Portuguese coast with erosion on the south of Espinho and on the south of Ria de Aveiro inlet and deposition on the north of the last mentioned inlet. The comparison between waterlines from different dates in addition with sand balance estimates resulting from losses and gains occurred in the north and south boundaries of the three mentioned zones and in between of them provided: the quantification of the areas and volumes lost in the coastal stretch; the evolution and spatial distribution of those losses in time; and the quantitative interpretation of the erosion and deposition processes occurred between Douro mouth and Mondego headland.

ÍNDICE DE TEXTO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	METODOLOGIA.....	3
3.	INFORMAÇÃO UTILIZADA.....	7
4.	QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS DE AREIA A PARTIR DOS RECUOS DA LINHA DE ÁGUA.....	8
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	8
4.2	QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE EROSÃO.....	8
4.3	QUANTIFICAÇÃO DE VOLUMES DE EROSÃO.....	8
5.	ESTIMATIVAS DE PERDAS, GANHOS E BALANÇOS ALUVIONARES.....	18
5.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	18
5.2	TRECHO A.....	19
5.2.1	Situação Anterior a 1880.....	19
5.2.2	Período de 1880 a 1948.....	21
5.2.3	Período de 1948 a 1973.....	22
5.2.4	Período de 1973 a 1997.....	24
5.2.5	Período de 1997 a 2005.....	25
5.2.6	Período de 1880 a 2005.....	26
5.3	TRECHO B.....	28
5.3.1	Situação Anterior a 1948.....	28
5.3.2	Período de 1948 a 1973.....	28
5.3.3	Período de 1973 a 1997.....	29
5.3.4	Período de 1997 a 2005.....	31
5.3.5	Período de 1948 a 2005.....	32

5.4	TRECHO C.....	34
5.4.1	Situação Anterior a 1948.....	34
5.4.2	Período de 1948 a 1973.....	34
5.4.3	Período de 1973 a 1997.....	36
5.4.4	Período de 1997 a 2005.....	39
5.4.5	Período de 1948 a 2005.....	40
5.5	TRECHO T.....	42
5.5.1	Considerações Gerais.....	42
5.5.2	Período de 1880 a 1948.....	42
5.5.3	Período de 1948 a 1973.....	42
5.5.4	Período de 1973 a 1997.....	43
5.5.5	Período de 1997 a 2005.....	43
5.5.6	Período de 1880 a 2005.....	44
6.	INTERPRETAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO.....	46
6.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	46
6.2	TRECHO A – A SUL DO DOURO.....	47
6.3	TRECHO B – A NORTE DA EMBOCADURA DA RIA DE AVEIRO.....	50
6.4	TRECHO C - A SUL DA EMBOCADURA DA RIA DE AVEIRO.....	51
6.5	TRECHO T – FOZ DO DOURO AO CABO MONDEGO.....	53
	BIBLIOGRAFIA.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 1 – Trecho de costa da foz do Douro ao cabo Mondego.
- Fig. 2 - Deslocamento paralelo do perfil de praia.
- Fig. 3 - Esquema do balanço sedimentar do trecho.
- Fig. 4 - Localização dos diferentes trechos.
- Fig. 5.1 - Variações da linha de água no Trecho A: segmentos A1, A2 e A3.
- Fig. 5.2 - Variações da linha de água no Trecho A: segmentos A4 e A5.
- Fig. 5.3 - Variações da linha de água no Trecho B: segmentos B1 e B2.
- Fig. 5.4- Variações da linha de água no Trecho C: segmentos C1, C2 e C3.
- Fig. 5.5- Variações da linha de água no Trecho C: segmentos C4 e C5.
- Fig. 6- Recuos da linha de água nos Trechos A, B e C.
- Fig. 7 - Variação de áreas e volumes acumulados, entre 1880 e 2005.
- Fig. 8A - Balanço aluvionar acumulado do Trecho A, entre 1880 e 2005.
- Fig. 8B - Balanço aluvionar acumulado do Trecho B, entre 1948 e 2005.
- Fig. 8C - Balanço aluvionar acumulado do Trecho C, entre 1948 e 2005.
- Fig. 8T - Balanço aluvionar acumulado do Trecho T, entre 1880 e 2005.

ÍNDICE DE QUADROS

- Quadro 1 – Variação de áreas, em hectares, nos diferentes trechos e períodos.
- Quadro 2 – Variação de volumes, em milhões de metros cúbicos, nos diferentes trechos e períodos.
- Quadro 3A – Balanço aluvionar do Trecho A.
- Quadro 3B – Balanço aluvionar do Trecho B.
- Quadro 3C – Balanço aluvionar do Trecho C.
- Quadro 3T – Balanço aluvionar do Trecho T.

TRECHO DE COSTA DO DOURO AO CABO MONDEGO

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROCESSO EROSIVO

1. INTRODUÇÃO

O trecho da costa portuguesa compreendido entre a foz do Douro e o cabo Mondego é o que apresenta maior desequilíbrio morfológico, com processos de erosão a sul de Espinho e a sul da embocadura da Ria de Aveiro e de assoreamento a norte desta embocadura (Fig. 1).

Este processo evolutivo iniciou-se na década de 1880 e continua ainda activo. A sua grande intensidade e permanência decorre: da forte dinâmica sedimentar associada ao severo regime de agitação marítima da costa oeste de Portugal; do quase anulamento da alimentação sedimentar na fronteira norte do trecho, proveniente do rio Douro e do trecho de costa a norte; das volumosas perdas de sedimentos associadas à extracção de areia para abastecimento da indústria da construção civil e manutenção de profundidades de acesso da navegação ao porto de Aveiro; e da alteração na distribuição de sedimentos desencadeada pelos longos molhes da embocadura que serve este porto.

As elaborações, quantificações de parâmetros e estimativas de balanço aluvionar que se apresentam são elementos indispensáveis para uma fase posterior de modelação matemática. Esta modelação, a ser desenvolvida com aplicação de um modelo numérico de evolução de linhas de costa, permitirá aprofundar aspectos do processo erosivo ocorrido, efectuar previsões sobre a evolução futura e testar alternativas de intervenção visando o seu controlo.

Os resultados obtidos nesta fase do estudo permitem efectuar e apresentar, desde já, uma caracterização quantificada do processo evolutivo e a sua interpretação global, apesar da existência de algumas lacunas de

informação sobre extracções e dragagens de areia e da dificuldade em quantificar o débito das fontes aluvionares.

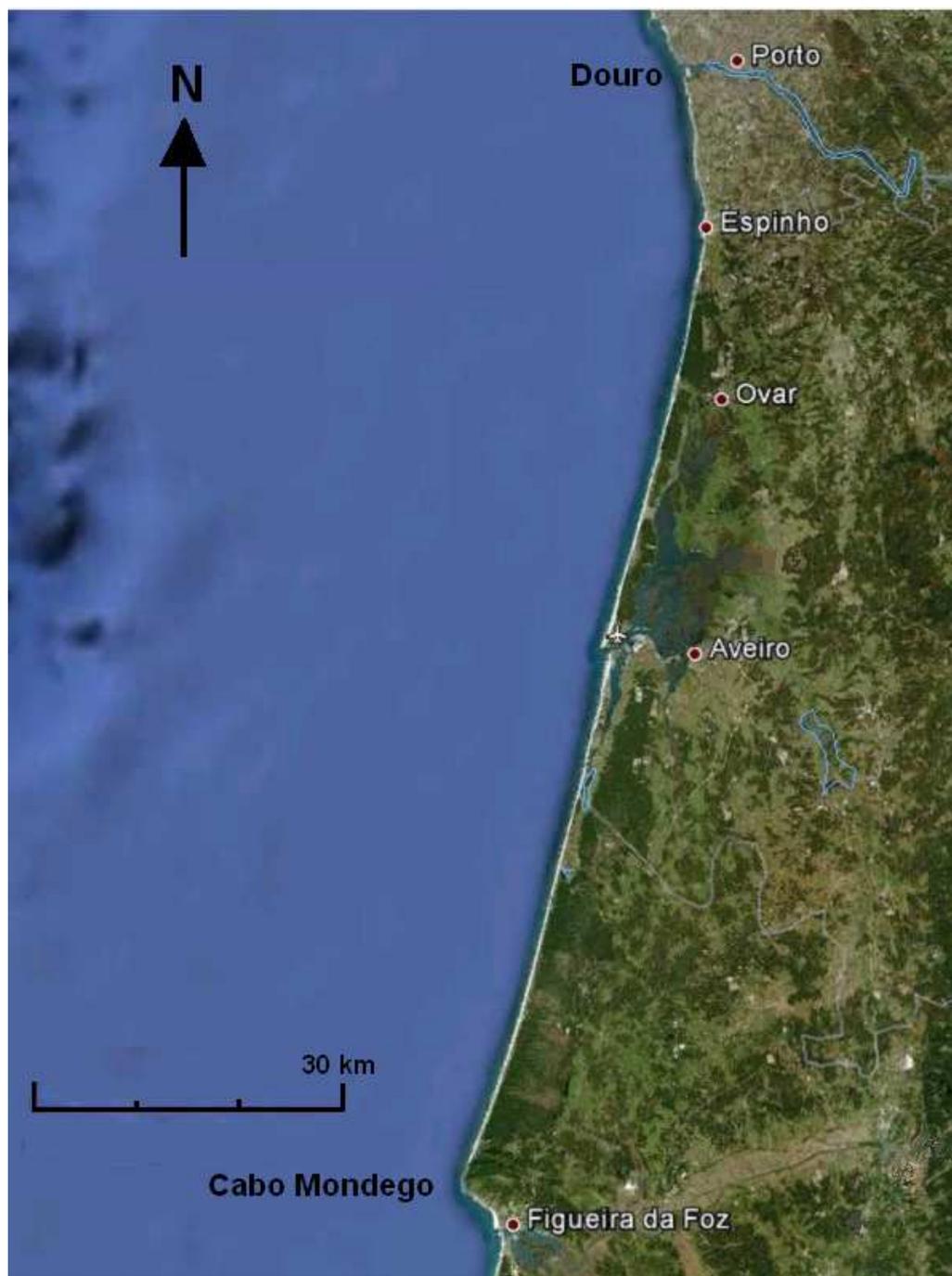


Fig. 1 – Trecho de costa da foz do Douro ao cabo Mondego.

2. METODOLOGIA

A metodologia usada neste estudo consistiu em efectuar numa primeira fase a caracterização exclusivamente quantitativa das áreas e volumes perdidos pelo trecho de costa e sua distribuição espacial. Seguiu-se uma avaliação dos balanços sedimentares, com estimativa das perdas e ganhos de areia nas fronteiras de barlamar e sotamar e no interior de três trechos em que se subdividiu a costa. Efectuou-se, finalmente, a interpretação quantificada do processo erosivo, baseada na conjugação dos resultados das duas fases anteriores.

Caracterização quantitativa

A metodologia usada nesta primeira fase consistiu em:

- Comparar levantamentos de linhas de água de cinco datas, cobrindo o período total de 125 anos, de 1880 a 2005.
- Medir as áreas perdidas e ganhas ao mar nos intervalos de tempo definidos pelas datas dos levantamentos.
- Avaliar os correspondentes volumes de areias, após estabelecimento de um factor de correlação entre áreas e volumes.

A definição do factor que relaciona áreas e volumes de evolução teve por base as considerações que a seguir se apresentam (Fig. 2).

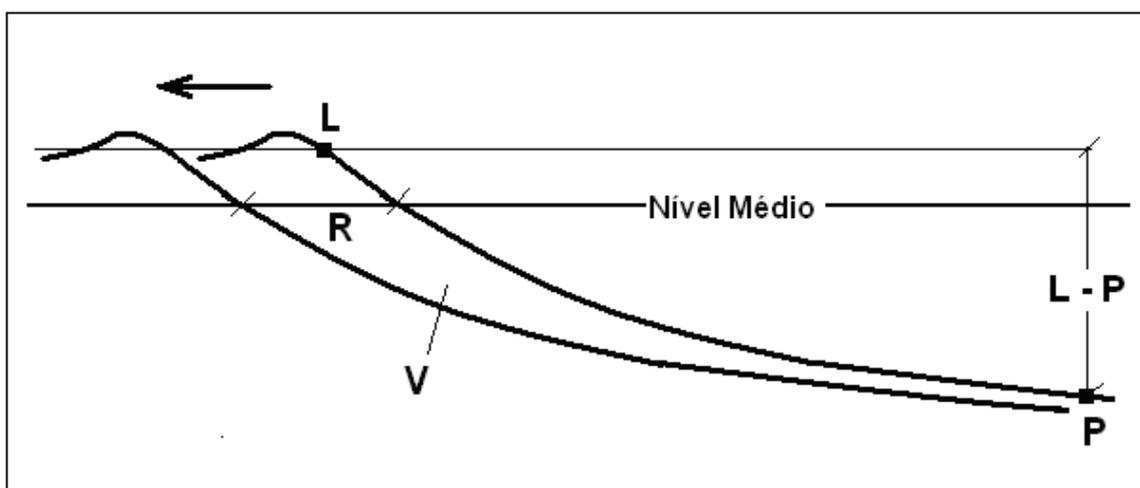


Fig. 2 - Deslocamento paralelo do perfil de praia.

A erosão processa-se no perfil activo da praia, camada de areia compreendida entre as cotas da profundidade de fecho, P, e do limite superior de erosão, L, originando um recuo, R, da linha de água.

A correspondência entre a perda de areia por unidade de comprimento da praia, V, e o recuo da linha de água foi determinada admitindo que o perfil ao erodir se desloca paralelamente a si próprio, hipótese usual na modelação numérica de evolução de linhas de costa. Neste caso o volume perdido por unidade de comprimento de costa é:

$$V = R \cdot (L - P)$$

A profundidade de fecho, P, foi avaliada em 8,5 m abaixo do Nível Médio (NM) por aplicação da formulação de Birkemeier (1985), para uma onda máxima anual com altura significativa $H_s=5,6$ m e período significativo $T_s=12$ s. Estes valores foram determinados a partir dos resultados do registo de 9 anos de agitação marítima ao largo do trecho em estudo, correspondentes ao período de 1990 a 1999. Atendendo à morfologia da parte emersa dos perfis do trecho, tomou-se para limite superior de erosão, L, a cota de 4 m (NM). Considerou-se, desta forma, que o recuo ou avanço do perfil abrangia a camada de areia de 12,5 m, compreendida entre os níveis indicados. Tratando-se de deslocamentos paralelos do perfil, os volumes envolvidos na evolução correspondem ao valor das áreas erodidas multiplicado pelo factor 12,5.

No que respeita aos efeitos da subida do nível médio do mar, a aplicação do método de Per Bruun (1988) a perfis de praia característicos desta costa, para uma subida do nível médio de 1,5 mm/ano, conduz a um recuo anual de 0,15 m da linha de água (Dias e Taborda, 1988). O efeito exclusivo dessa subida, nos 57 anos do período compreendido entre os levantamentos de 1948 e 2005, seria um recuo de 8,5 m. Por outro lado, a análise dos levantamentos efectuada mostra que os recuos da linha de água, entre essas datas, nas zonas de mais intensa erosão, atingiram os 400 m. Dada a desproporção destes valores e a sensível margem de erro dos dados disponíveis e dos cálculos efectuados, optou-se por não considerar os efeitos da subida gradual do nível do mar.

Da comparação dos recuos das linhas de água e usando o referido factor 12,5, resultaram elementos para a caracterização quantitativa: das áreas e volumes perdidos pelo trecho de costa; da evolução dessas perdas ao longo dos 125 anos do período total; e da sua distribuição espacial.

Balanços sedimentares

Admitiu-se que não seriam significativas as perdas sedimentares por: transporte eólico; deslocamento irreversível para grandes profundidades; e desgaste dos grãos por atrito. Sendo assim, o princípio da continuidade obrigava a que os volumes de erosão apresentados pelo trecho, em determinado período, traduzidos pelo recuo da linha de água, correspondessem ao balanço de perdas e ganhos de areia nas fronteiras de barlamar e sotamar e no interior do próprio trecho.

Efectuou-se o balanço sedimentar, segundo o esquema que se apresenta na Fig. 3, em que: valores positivos correspondem a fluxos de entrada pela fronteira norte e ganhos no interior do trecho; e valores negativos a fluxos de saída pela fronteira sul e perdas no interior do trecho.

A elaboração dos balanços dos trechos foi efectuada com base na informação disponível sobre: o valor do transporte sólido litoral; o débito sedimentar da costa a norte do Douro; a alimentação sedimentar deste rio e da Ria de Aveiro; os volumes de extracção de areias para a construção; as dragagens de manutenção no acesso ao porto de Aveiro; e os volumes de intervenções de alimentação artificial. Essa informação apresentava falhas de rigor resultantes de limitações inerentes ao cálculo do transporte sólido litoral e do débito das fontes aluvionares, e de registos incompletos de extracções e dragagens. Foi por isso necessário efectuar algum preenchimento de lacunas com base em estimativas e extrapolações. Este procedimento foi conduzido de acordo com o princípio da continuidade, procurando que o balanço de perdas e ganhos equilibrasse os volumes erodidos, anteriormente quantificados a partir do recuo da linha de água.

Interpretação do processo erosivo

Efectuou-se, finalmente, a interpretação quantificada do processo erosivo, baseada na conjugação dos resultados das duas fases anteriores: análise

quantitativa efectuada a partir das linhas de água; e balanço de perdas e ganhos nas fronteiras norte e sul e no interior dos diferentes trechos.

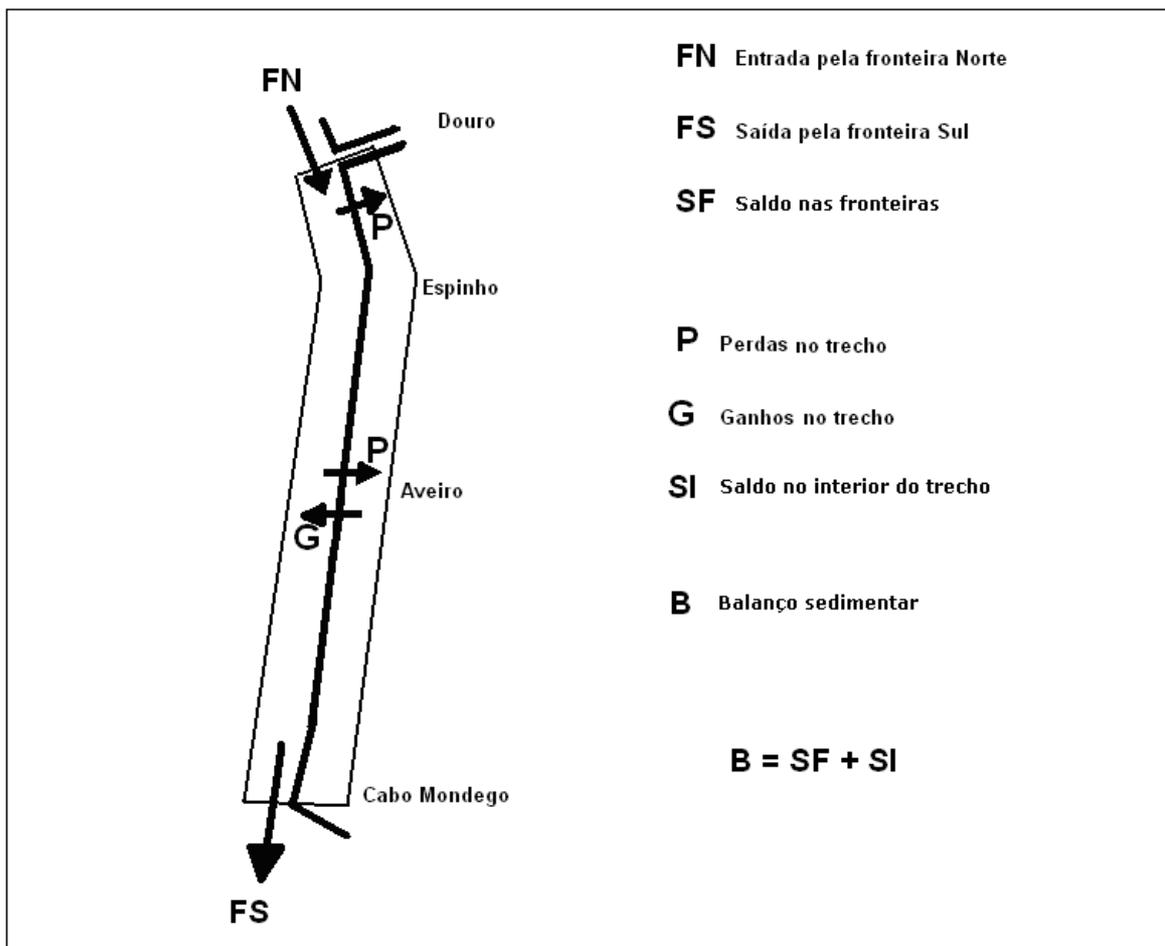


Fig. 3 - Esquema do balanço sedimentar do trecho.

3. INFORMAÇÃO UTILIZADA

Na elaboração do estudo foi utilizada a informação sobre morfologia, transporte sólido litoral e perdas e fontes aluvionares que a seguir se discrimina:

- **Morfologia**

A base de caracterização das linhas de água e da sua evolução foi constituída: pelas Cartas Militares de 1948, 1973 e 1997; por um levantamento parcial de 1880, restrito à zona de Espinho; e por fotografia aérea de 2005.

- **Transporte sólido litoral**

A estimativa adoptada para o transporte sólido litoral resultou da análise crítica de diferentes avaliações efectuadas em estudos anteriores que se referem na bibliografia.

- **Perdas e fontes aluvionares**

Foi também através da consulta de estudos anteriores que se obtiveram estimativas sobre:

- Débito aluvionar do rio Douro: primitivo e após barragens e extracção de areias no estuário.
- Débito da embocadura da Ria de Aveiro.
- Extracção de areias no cabedelo da foz do Douro, nas praias próximas a sul, e na praia de S. Jacinto.
- Dragagens de manutenção das profundidades de acesso da navegação à embocadura da Ria de Aveiro.
- Alimentações artificiais efectuadas na costa.

4. QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS DE AREIA A PARTIR DOS RECUOS DA LINHA DE ÁGUA

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Dividiu-se em três trechos a costa entre a foz do Douro e o cabo Mondego: Trecho A, zona de erosão a sul do Douro; Trecho B, zona de acumulação a norte da embocadura da Ria de Aveiro; e Trecho C, zona de erosão a sul desta embocadura (Fig. 4).

Seguidamente digitalizaram-se com a mesma referência de coordenadas, as linhas de água de 1880, 1948, 1973, 1997 e 2005, em cada um dos trechos (Fig. 5). A partir da comparação destas linhas determinaram-se as áreas e volumes de erosão nos diferentes trechos e períodos.

4.2 QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE EROSÃO

Para quantificar as variações de áreas consideraram-se: as linhas de água dos trechos A, B e C e o seu conjunto total, T; e os intervalos de tempo de 1880 a 1948, 1948 a 1973, 1973 a 1997, 1997 a 2005, e 1880 a 2005. Os resultados destas comparações e medições constam do Quadro 1. Neste quadro os valores de erosão são negativos e os de assoreamento positivos.

Apresentam-se ainda gráficos de quantificação dos recuos da linha de água nas diferentes datas, tomando como referência a linha de água de 1948, a mais antiga que abrangia todo o Trecho T (Fig. 6).

4.3 QUANTIFICAÇÃO DOS VOLUMES DE EROSÃO

No cálculo dos volumes correspondentes às áreas de erosão aplicou-se o factor definido na metodologia do estudo. Desta forma, multiplicaram-se as áreas erodidas pelo factor 12,5, para obter os respectivos volumes, que constam do Quadro 2.

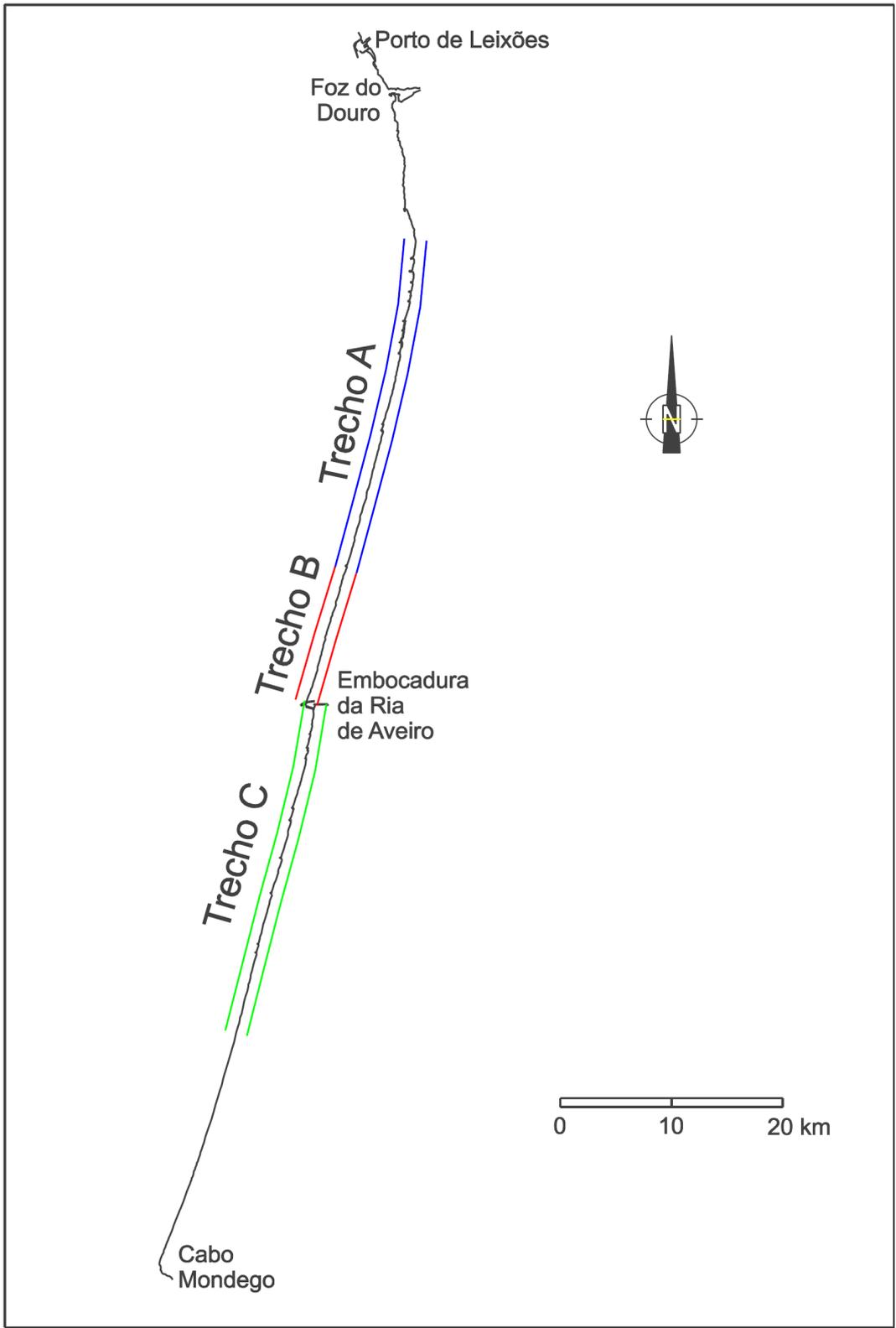


Fig. 4 - Localização dos diferentes trechos.

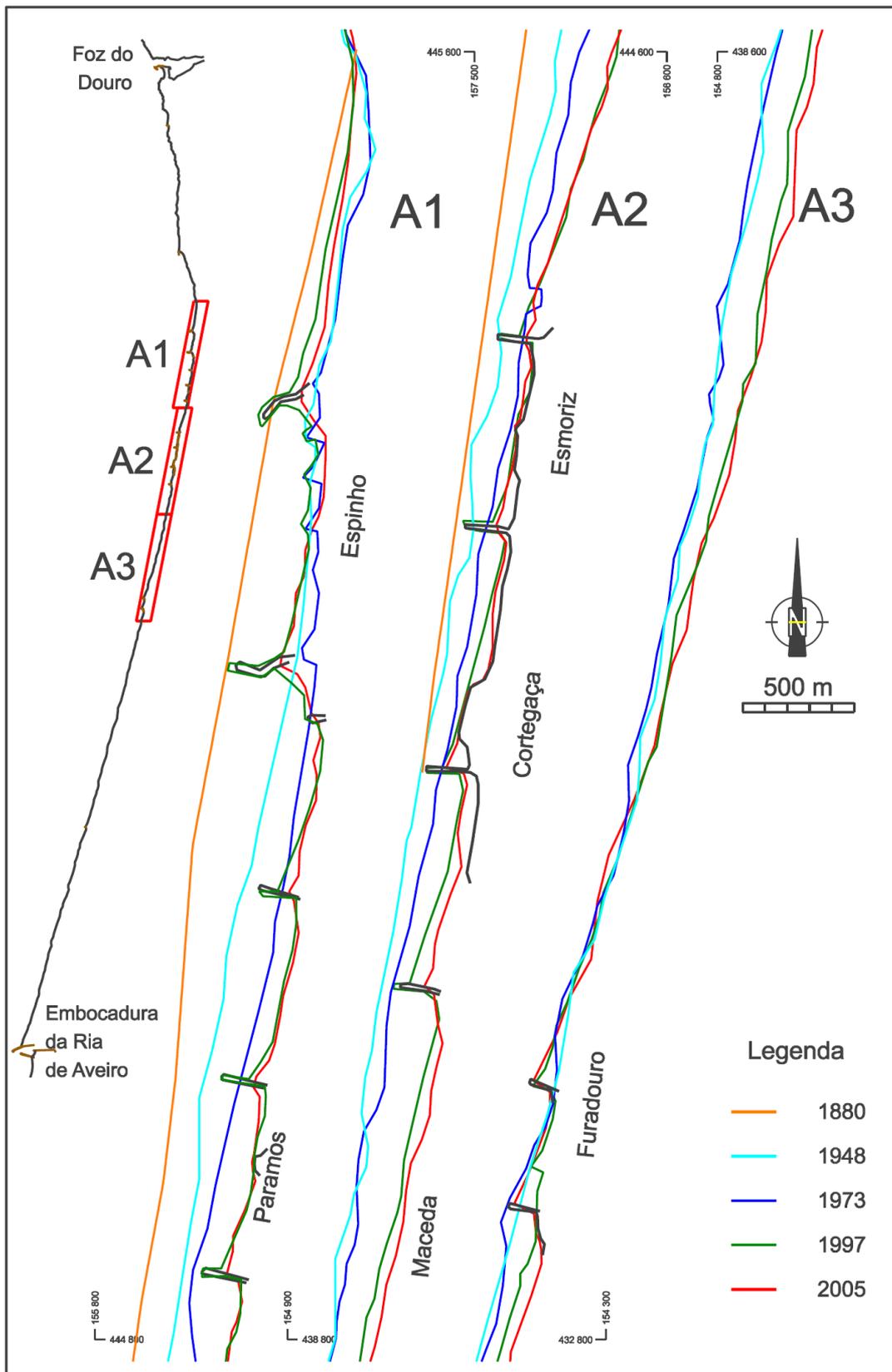


Fig. 5.1 - Variações da linha de água no Trecho A: segmentos A1, A2 e A3.

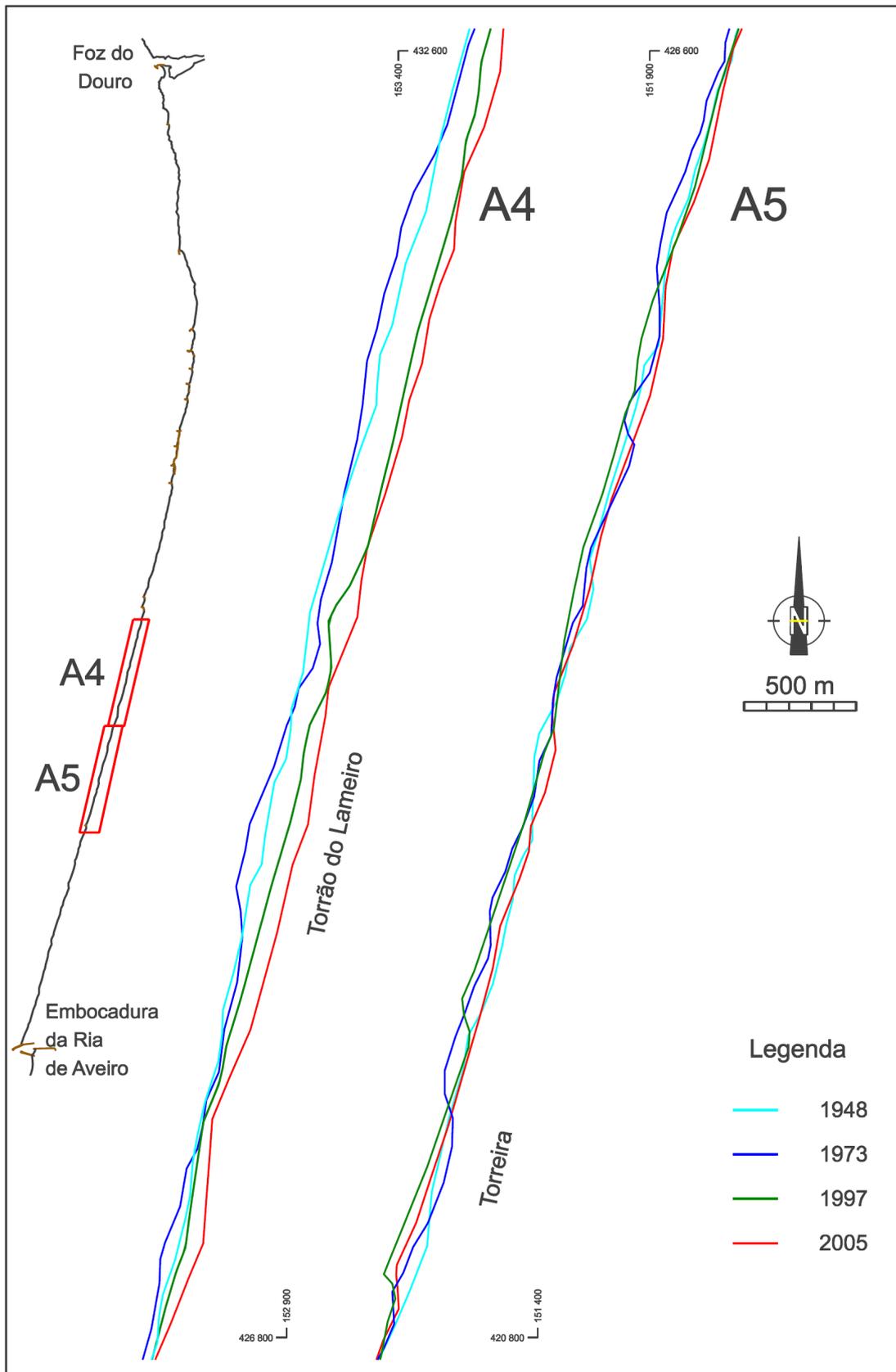


Fig. 5.2 - Variações da linha de água no Trecho A: segmentos A4 e A5.

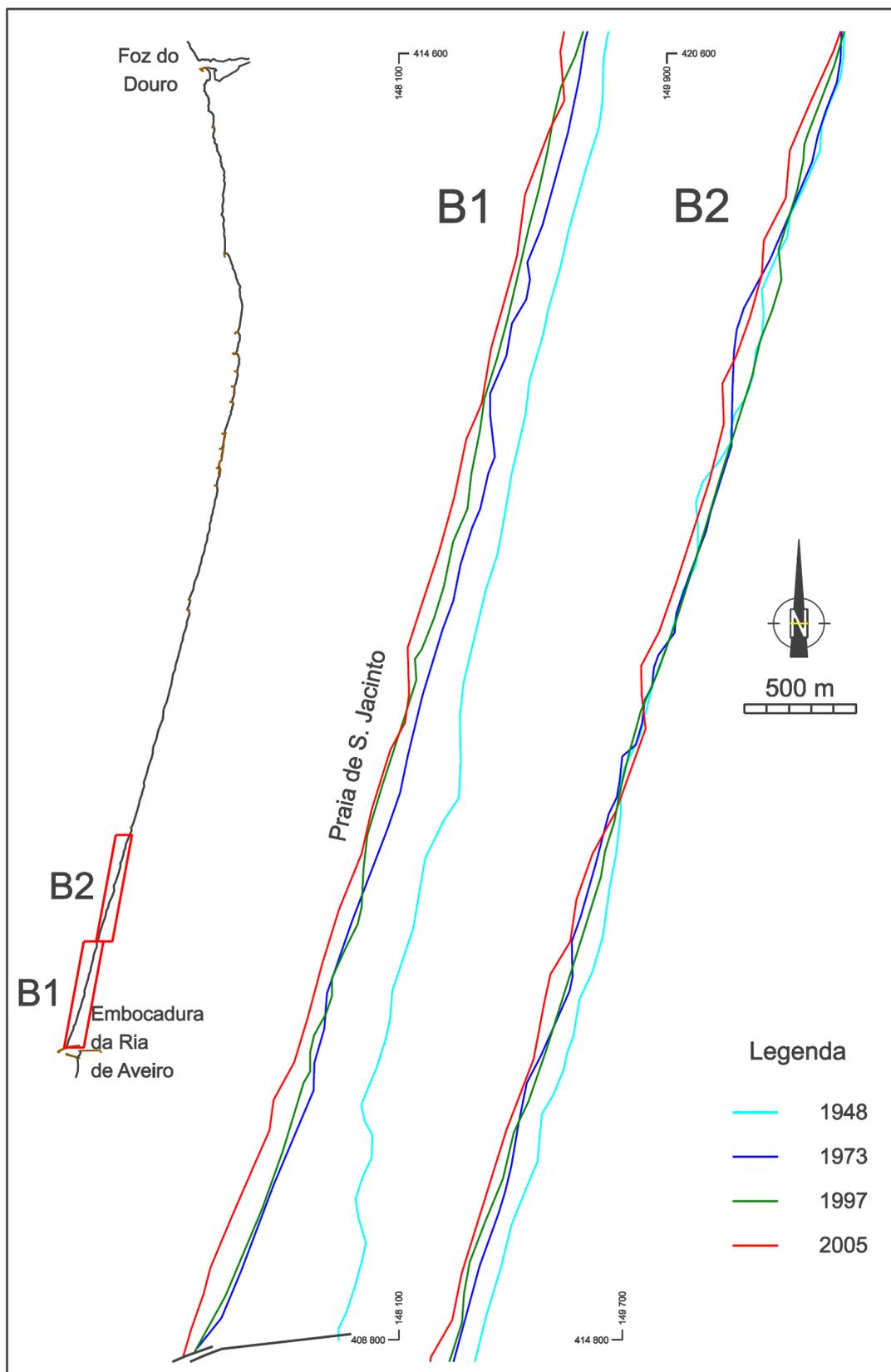


Fig. 5.3 - Variações da linha de água no Trecho B: segmentos B1 e B2.

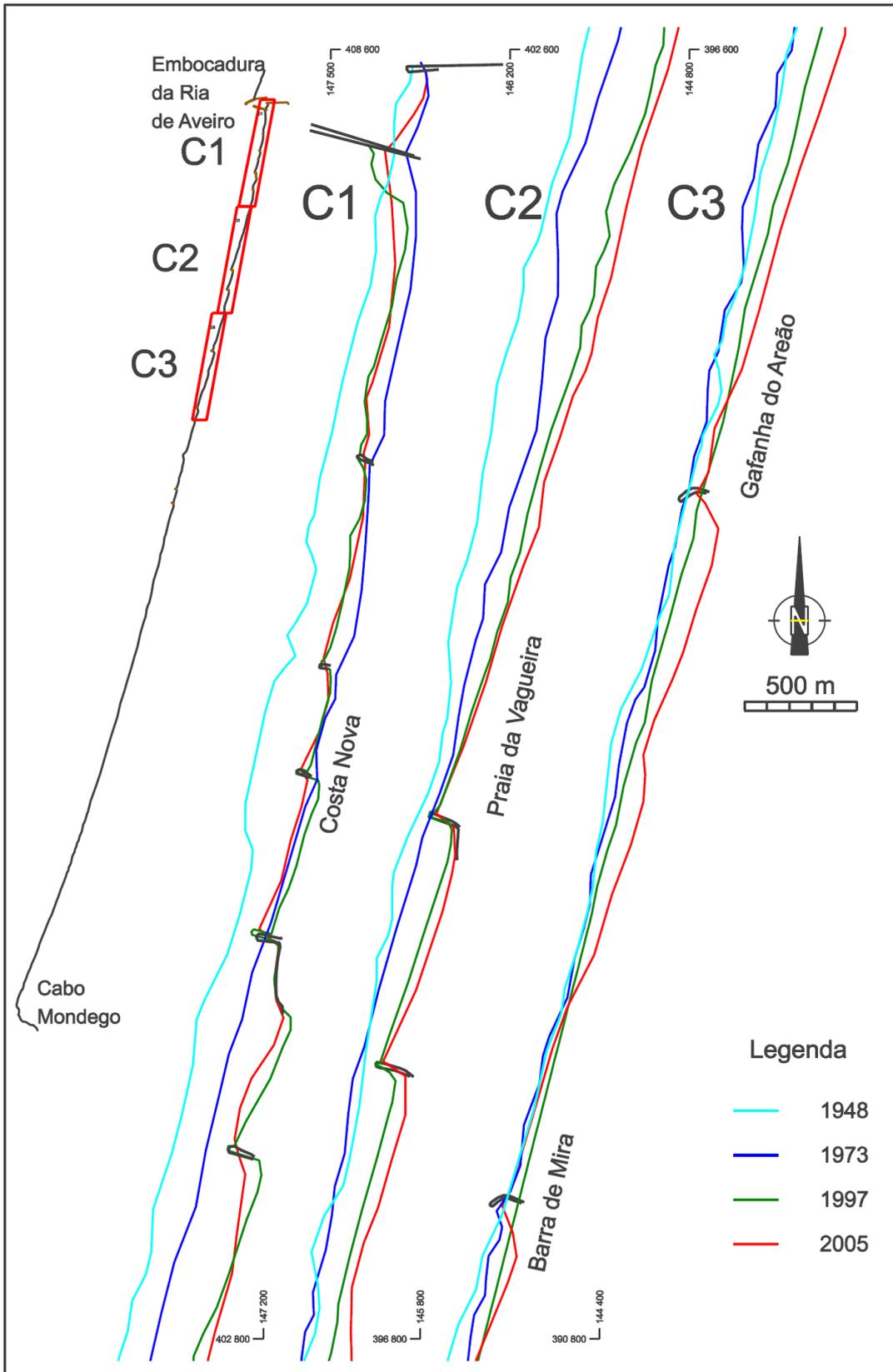


Fig. 5.4 – Variações da linha de água no Trecho C: segmentos C1, C2 e C3.

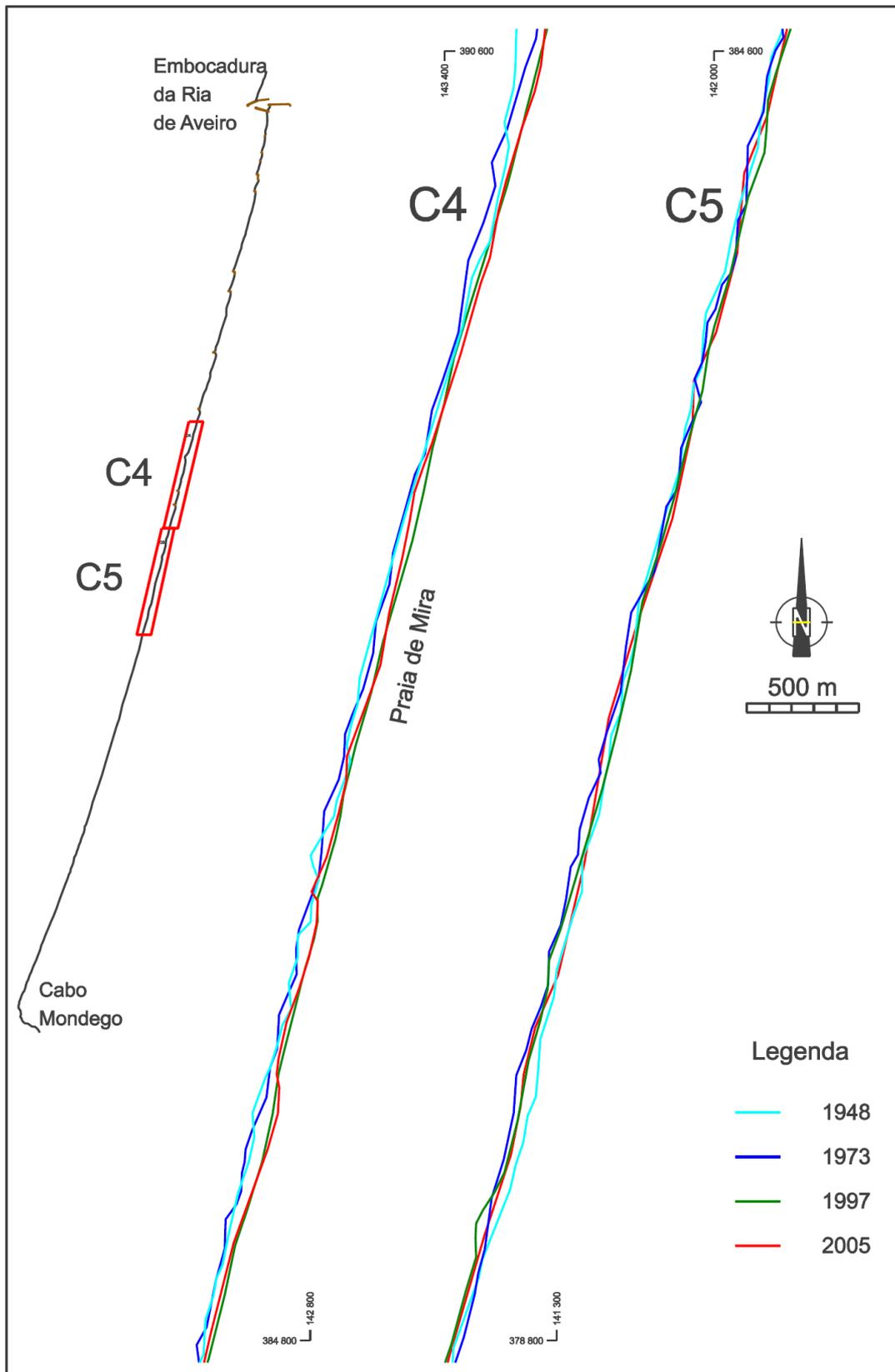


Fig. 5.5 – Variações da linha de água no Trecho C: segmentos C4 e C5.

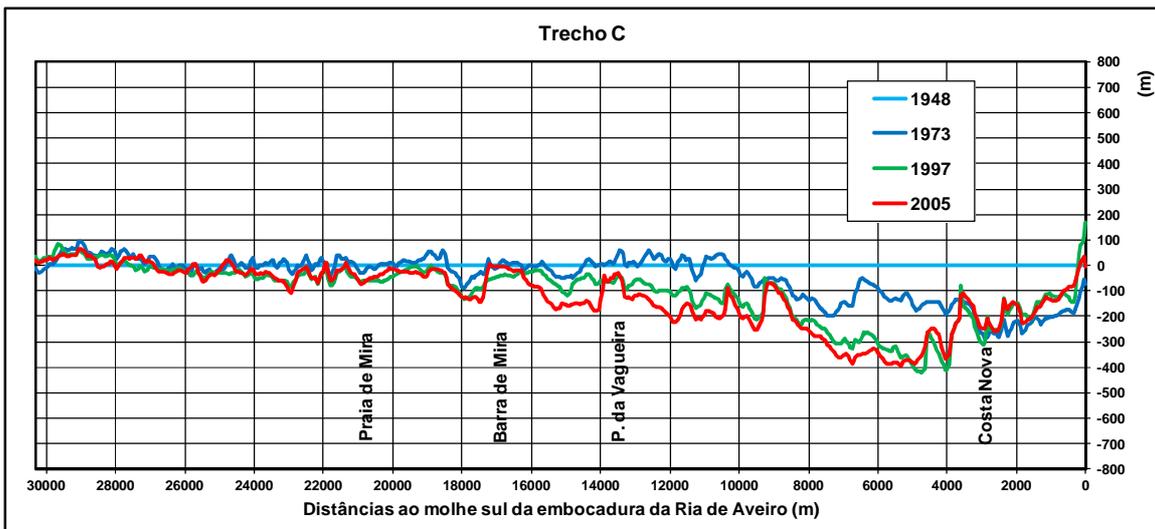
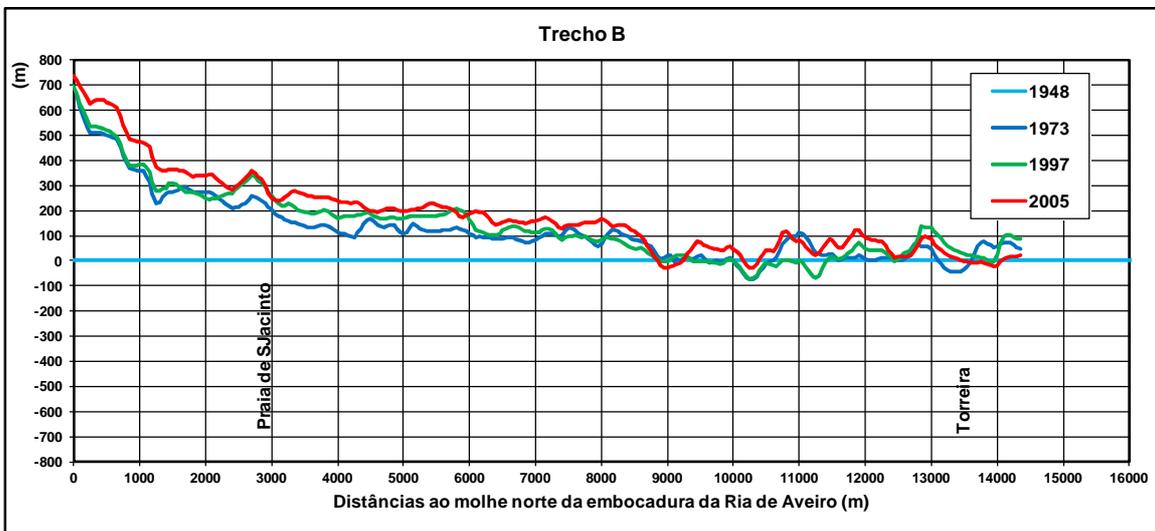
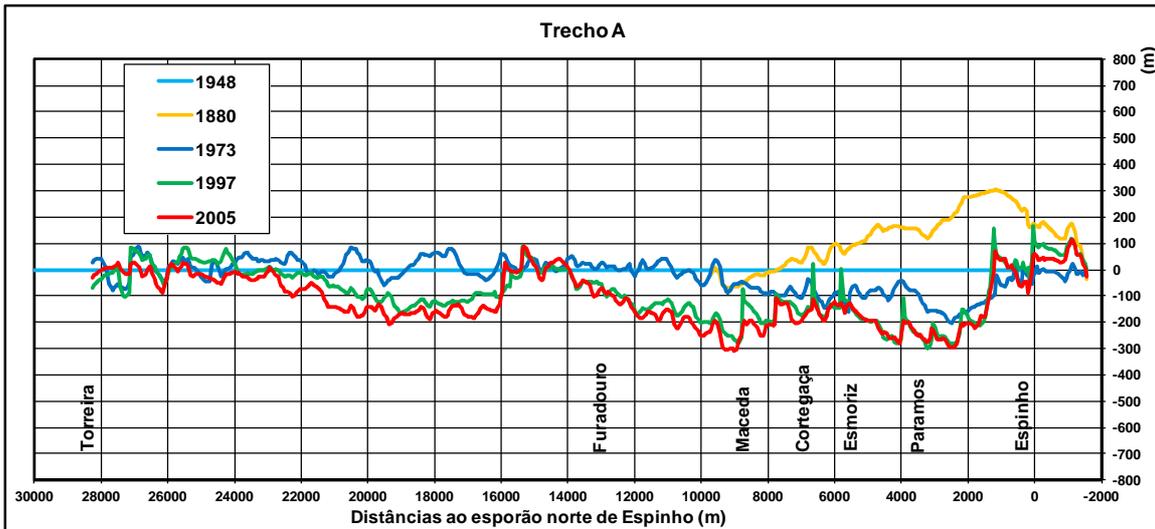


Fig. 6 – Recuos da linha de água nos Trechos A, B e C.

Quadro 1 - Variação de áreas, em hectares, nos diferentes trechos e períodos.

TRECHO	1880 a 1948	1948 a 1973	1973 a 1997	1997 a 2005	1880 a 2005
A	-135	-54	-181	-91	-461
B	0	+164	+25	+63	+252
C	0	-148	-182	-49	-379
T	-135	-38	-339	-76	-588

Quadro 2 - Variação de volumes, em milhões de metros cúbicos, nos diferentes trechos e períodos.

TRECHO	1880 a 1948	1948 a 1973	1973 a 1997	1997 a 2005	1880 a 2005
A	-16,9	-6,8	-22,7	-11,3	-57,7
B	0	+20,5	+3,1	+7,9	+31,5
C	0	-18,5	-22,8	-6,1	-47,3
T	-16,9	-4,7	-42,3	-9,6	-73,5

Com base nos quadros anteriores, elaborou-se a Fig. 7, onde se apresenta a evolução das áreas e volumes acumulados nos diferentes trechos.

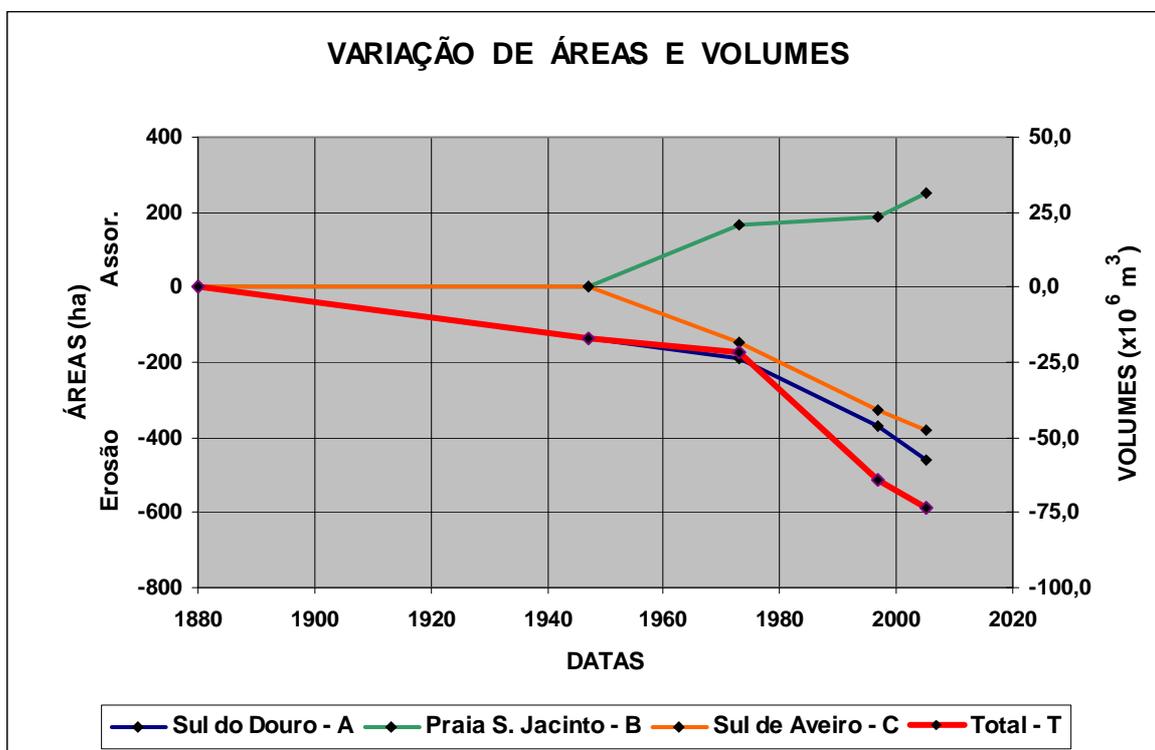


Fig. 7 - Variação de áreas e volumes acumulados, entre 1880 e 2005.

5. ESTIMATIVAS DE PERDAS, GANHOS E BALANÇOS ALUVIONARES

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Fez-se no ponto anterior a quantificação das perdas de áreas e volumes, a partir da evolução da linha de água. Trata-se de uma avaliação bastante credível, embora possa estar afectada no seu rigor por imprecisões na definição da linha de água e no factor de correlação entre as áreas perdidas pelo trecho de costa e os correspondentes volumes. Estes resultados apresentam bastante interesse, pois permitiram quantificar os volumes perdidos no processo erosivo e a evolução das perdas ao longo do tempo. São, no entanto, insuficientes para explicar as causas desse processo, pois não identificam a origem das perdas e ganhos aluvionares.

Para a interpretação do processo erosivo era indispensável complementar a análise anterior com a estimativa dos balanços de areia resultantes de perdas e ganhos ocorridos nas fronteiras norte e sul e no interior dos trechos. Para esse efeito foi preciso avaliar, com base na informação disponível: os débitos sedimentares da costa a norte do Douro; a alimentação sedimentar deste rio e da Ria de Aveiro; os volumes de extracção de areias para a construção; as dragagens de manutenção no acesso ao porto de Aveiro; e os volumes de intervenções de alimentação artificial. É esta estimativa que se apresenta seguidamente, com a elaboração dos balanços sedimentares de perdas e ganhos, em cada um dos trechos e em cada período.

O resultado do balanço de perdas e ganhos deveria coincidir com a quantificação efectuada a partir das linhas de água (Quadro 2), conforme se referiu na metodologia, de forma a satisfazer o princípio da continuidade de volumes. Encontraram-se, numa primeira análise, valores de balanços de perdas e ganhos cerca de 30% inferiores aos necessários para satisfazer esse princípio. Esta subavaliação de perdas não é de estranhar, dada a falta de rigor resultante quer das limitações de cálculo do débito das fontes sedimentares quer de lacunas de registo de extracções e dragagens.

Para obter uma coincidência aproximada, procedeu-se à correcção das incertezas e lacunas do balanço inicial através de: extrapolação das perdas

registadas para períodos contíguos em que se não dispunha de dados; interpolação dos dados de informação sobre os débitos aluvionares do rio Douro; e majoração das extracções de areia na praia de S. Jacinto. Estas extrapolações, interpolações e majorações são assinaladas e descritas na elaboração dos balanços que a seguir se desenvolve.

5.2 TRECHO A

5.2.1 Situação Anterior a 1880

A costa entre a foz do Douro e Espinho apresenta uma estabilidade permanente porque beneficia de uma protecção natural de afloramentos rochosos.

Embora haja referência a episódios de erosão anteriores a 1880, na frente marítima de Espinho, somente a partir desta data existem dados mensuráveis de um processo erosivo continuado neste trecho. Considerou-se, na presente análise, que os episódios erosivos anteriores a 1880 se terão devido a normais variações inter-anuais dos agentes morfológicos. Esta hipótese parece aceitável, pois estando Espinho localizada no extremo de barlar do trecho erodível, seria a primeira zona a ser afectada por oscilações inter-anuais quer dos saldos de transporte sólido litoral quer dos volumes de areia debitados pelo rio Douro. Admitiu-se, assim, que o funcionamento do Trecho A se encontrava, anteriormente a 1880, numa situação de equilíbrio e estabilidade morfológica.

Pela fronteira norte entrava, nas condições primitivas, a soma dos volumes de areia provenientes da costa marítima a norte com os debitados pelo rio Douro. A avaliação do débito de transporte sólido litoral proveniente da costa a norte do Douro, antes da construção do porto de Leixões, é de 150 000 a 180 000 m³/ano (Hidrotécnica Portuguesa, 1980-81). Esta avaliação baseou-se nos registos de dragagens de manutenção efectuadas na entrada do porto, tendo sido considerado que apenas 50% do material dragado apresentaria granulometrias compatíveis com sedimentos de praia. No presente estudo majorou-se essa fracção para 70%, o que conduz a caudais sólidos de 210 000 a 250 000 m³/ano.

Foi efectuada a estimativa, no mesmo estudo, por duas vias distintas, do débito aluvionar de sedimentos de praia proveniente do rio Douro, para a situação de regime natural anterior à construção de barragens na sua bacia e à extracção significativa de areias para a construção. A primeira consistiu na comparação das áreas das bacias tributárias do Douro com as dos cursos de água que desaguam a norte deste rio, com consideração da sua natureza geológica, tendo sido obtidos valores na gama de 750 000 a 1 200 000 m³/ano. A segunda, baseada na aplicação de fórmulas de transporte sólido fluvial, conduziu a um valor de 1 800 000 m³/ano.

Face a estes valores admitiu-se um débito total de alimentação entrado pela fronteira norte de 1 320 000 m³/ano constituído pela soma das duas parcelas: 220 000 m³/ano, proveniente da costa a norte; e 1 100 000 m³/ano de caudal sólido do Douro. Dada a referida estabilidade do trecho, saíam pela fronteira sul os mesmos 1 320 000 m³/ano. Este valor está de acordo com anteriores cálculos de transporte sólido litoral e quantificações efectuadas a partir de acumulações de areia nos molhes norte da Figueira da Foz e de Aveiro (Consulmar, 1988).

Não existe informação anterior a 1880 sobre extracções de areias no interior do trecho, razão pela qual foram consideradas inexistentes.

O equilíbrio e estabilidade morfológica do Trecho A, na situação primitiva, anterior a 1880, pode caracterizar-se em linha gerais da seguinte forma: entrada pela fronteira norte de um saldo do transporte sólido litoral de sentido norte-sul, de 1 320 000 m³/ano; existência de um fluxo de transporte com esse mesmo valor ao longo do trecho em estudo; e sua saída pela fronteira sul.

5.2.2 Período de 1880 a 1948

Neste período iniciou-se a erosão na zona de Espinho a qual progrediu até sul de Cortegaça, atingindo um total de 8 km (Fig. 6). A zona compreendida entre a foz do Douro e Espinho foi poupada à erosão, não só neste período como posteriormente, devido à referida protecção de afloramentos rochosos de que beneficia em toda a sua extensão.

Volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul

Considerou-se que o débito aluvionar da bacia hidrográfica do Douro manteve o seu valor primitivo de 1 100 000 m³/ano, atendendo a que até 1948 não eram ainda significativos os efeitos de regularização de caudais e de retenção de areias por barragens. Nos 68 anos deste período o Douro terá, desta forma, debitado para a costa 74 800 000 m³ de areia.

A parcela de alimentação proveniente da costa a norte do Douro atingiu apenas 880 000 m³, pois o referido valor de 220 000 m³/ano só permaneceu até 1884, data de construção do porto de Leixões, obra que interceptou totalmente o fluxo de transporte sólido litoral.

O elemento que condiciona a modificação do transporte sólido litoral médio num segmento de costa é a orientação da linha de água. Dada a ausência de evolução da costa a sul da Cortegaça, o fluxo de sedimentos na fronteira sul deverá ter mantido o valor primitivo de 1 320 000 m³/ano, ou seja, 89 760 000 m³ nos 68 anos.

Correspondem a estes valores (Quadro 3 A):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+75 680 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-89 760 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF):
-14 080 000 m³

Perdas no interior do trecho

Os primeiros registos de extracção de areias no trecho reportam ao período de 1973 a 1978, em que foram extraídos em média 185 000 m³/ano no cabedelo da foz do Douro e 80 000 m³/ano nas praias localizadas entre o Douro e Espinho. Estes valores deverão ser muito inferiores aos valores reais, devido a extracções clandestinas (Hidrotécnica Portuguesa, 1980-81).

Não se dispondo de informação anterior a 1973 extrapolou-se, para o período de 1880 a 1948, uma média de extracções de 50 000 m³/ano, cerca de 20 % do valor dos primeiros registos, ou seja (SI):

- **-3 400 000 m³**

Balanço aluvionar

Resulta para este período (Quadro 3A e Fig. 8A):

- Diferença entre os fluxos de areia pelas fronteiras norte e sul (SF)
-14 080 000 m³
- Perdas no interior do trecho (SI)
-3 400 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
-17 480 000 m³

5.2.3 Período de 1948 a 1973

Durante este período a erosão da zona de Espinho continuou até sul de Maceda, atingindo um total de 11 km (Fig. 6).

Volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul

Considerou-se que o débito aluvionar da bacia hidrográfica do Douro manteve o valor primitivo de 1 100 000 m³/ano durante este período, dado que em 1973 não era ainda significativos os efeitos de retenção das barragens e de extracção de areias no trecho de jusante do rio Douro. Admitiu-se que a alimentação proveniente da costa a norte do Douro continuou nula, visto ser interceptada pelo molhe norte do porto de Leixões, sem reposição a sul.

Na fronteira sul, dada a ausência de evolução a sul de Maceda, o fluxo de sedimentos que abandonava o Trecho A mantinha o valor de 1 320 000 m³/ano.

Correspondem a estas estimativas (Quadro 3 A):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+27 500 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)

-33 000 000 m³

- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF):

-5 500 000 m³

Perdas e ganhos no interior do trecho

Neste período há a considerar perdas de areia na parte norte do trecho. Não se dispo de informação anterior a 1973, extrapolou-se para o cabedelo do Douro e trecho de costa adjacente a sul, uma média de extracções de 90 000 m³/ano, ou seja cerca de um terço do montante correspondente ao período de 1973 a 1978, em que se efectuaram os primeiros registos.

Resulta um saldo de perdas no interior do trecho (SI) de:

-2 250 000 m³

Balanço aluvionar

Resulta para este período (Quadro 3A e Fig. 8A):

- Diferença entre os fluxos de areia pelas fronteiras norte e sul (SF)

-5 500 000 m³

- Perdas no interior do trecho (SI)

-2 250 000 m³

- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)

-7 750 000 m³

5.2.7 Período de 1973 a 1997

A erosão da zona de Espinho continuou a progredir até sul do Furadouro, atingindo um total de 24 km, o que levou à construção de mais dois esporões em 1972-73 e ao prolongamento de uma defesa frontal já existente, de forma a unir o enraizamento dos esporões (Fig. 6).

Volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul

De acordo com as já referidas elaborações da Hidrotécnica Portuguesa, os débitos do rio Douro seriam da ordem de 1 100 000 m³/ano na situação natural, anterior à construção de barragens e à intensificação da extracção de areias no estuário. Após a entrada em funcionamento da barragem de

Crestuma em 1985, o débito desta fonte ter-se-ia reduzido para 200 000 m³/ano.

Sabe-se, no entanto, que a extracção de areias no trecho de jusante do rio Douro apresentou valores muito significativos a partir do início da década de 1970, o que deverá ter enfraquecido esta fonte aluvionar. Registos oficiais em diferentes locais do estuário, entre 1973 e 1978, apontam para valores anuais de extracção da ordem de 1 400 000 m³. Embora não tenha sido possível estabelecer a correlação entre estas extracções e o débito aluvionar, estimou-se que entre 1973 e 1985 o Douro terá expulso 9 000 000 m³ para a costa a um ritmo médio de 750 000 m³/ano, sensivelmente inferior ao 1 100 000 m³/ano originais. Acrescentando 2 400 000 m³ correspondentes ao período de 1985 a 1997, em que a barragem de Crestuma se encontrava já em funcionamento, resulta um total de entrada na fronteira norte de 11 400 000 m³.

Na fronteira sul do Trecho A o fluxo de sedimentos terá mantido o valor de 1 320 000 m³/ano, ou seja um total de 31 680 000 m³.

Em resumo (Quadro 3):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+11 400 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-31 680 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-20 280 000 m³

Perdas e ganhos no interior do trecho

No período de 1973 a 1978, em que se efectuaram os primeiros registos, foram extraídos em média 185 000 m³/ano no cabedelo da foz do Douro e 80 000 m³/ano nas praias localizadas entre o Douro e Espinho. Em 1979 terminaram as extracções no Cabedelo. Consideraram-se, de acordo com estas informações, ritmos de extracção de areia no extremo norte do trecho, de 265 000 m³/ano até 1979 e de 80 000 m³/ano até 1997.

Corresponde um saldo de perdas (SI) de **3 030 000 m³**.

Balanço aluvionar

Resulta para este período (Quadro 3A e Fig. 8A):

- -20 280 000 m³ de diferença entre os fluxos de areia pelas fronteiras norte e sul (SF)
- -3 030 000 m³ de perdas no interior do trecho (SI)
- **-23 310 000 m³** de balanço no trecho, correspondentes à soma das duas parcelas anteriores (B).

5.2.8 Período de 1997 a 2005

A erosão da zona de Espinho continuou a progredir até norte da Torreira, atingindo um total de 27 km (Fig. 6).

Volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul

Considerou-se que o débito aluvionar da bacia hidrográfica do Douro manteve o valor de 200 000 m³/ano. O fluxo de saída pela fronteira sul do Trecho A manteve, por seu lado, o valor de 1 320 000 m³/ano.

Em resumo, tem-se para este período de 8 anos (Quadro 3A):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+1 600 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-10 560 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-8 960 000 m³

Como neste período não se verificaram as perdas que anteriormente ocorriam por extracção de areias na costa a norte de Espinho, este último valor corresponde ao balanço aluvionar (B).

5.2.9 Período de 1880 a 2005

Fazendo o somatório dos quatro períodos parciais obtém-se para o período total, de 125 anos (Quadro 3A e Fig. 8A):

- Volumes de entrada pela fronteira norte no período total (FN)
+116 180 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul no período total (FS)
-165 000 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-48 820 000 m³
- Perdas no interior do trecho (SI)
-8 680 000 m³ de m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
-57 500 000 m³

Quadro 3A – Balanço aluvionar do Trecho A.

PERÍODO	VOLUMES NAS FRONTEIRAS 10^6 m^3			INTERIOR DO TRECHO 10^6 m^3			BALANÇO 10^6 m^3 $B=SF+SI$
	NORTE FN	SUL FS	SALDO $SF=FN+FS$	PERDAS P	GANHOS G	SALDO $SI=P+G$	
1880 a 1948	+75,68	-89,76	-14,08	-3,40	-	-3,40	-17,48
1948 a 1973	+27,50	-33,00	-5,50	-2,25	-	-2,25	-7,75
1973 a 1997	+11,40	-31,68	-20,28	-3,03	-	-3,03	-23,31
1997 a 2005	+1,60	-10,56	-8,96	-	-	-	-8,96
1880 a 2005	+116,18	-165,00	-48,82	-8,68	-	-8,68	-57,50

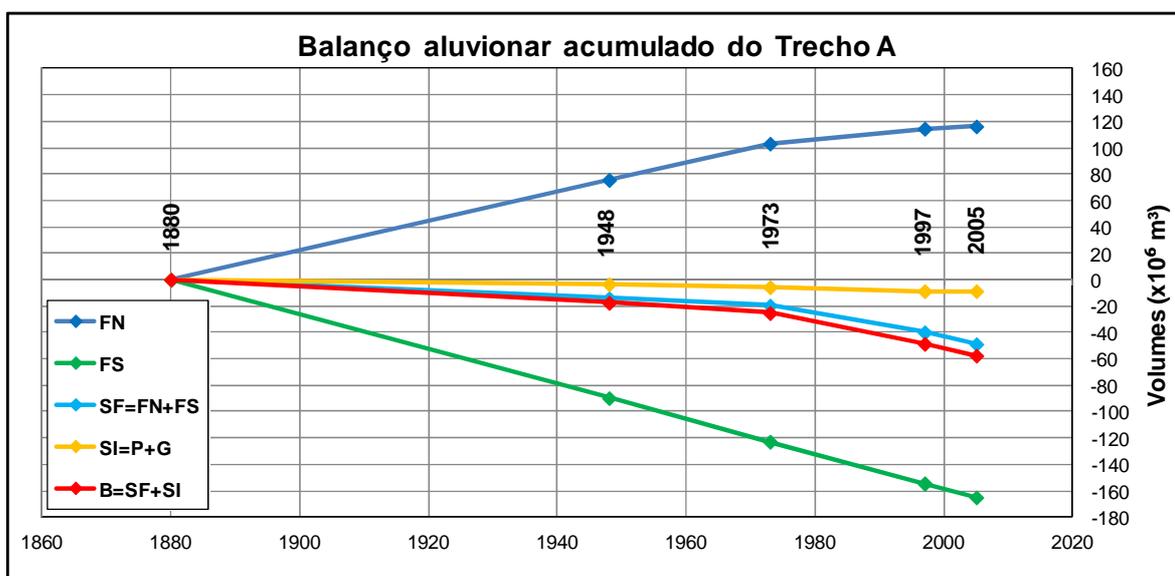


Fig. 8A – Balanço aluvionar acumulado do Trecho A, entre 1880 e 2005.

5.3 TRECHO B

5.3.1 Situação Anterior a 1948

Este trecho de costa encontrava-se até finais da década de 1940 numa situação de estabilidade morfológica, traduzida em linha gerais por: entrada pela fronteira norte do referido saldo de transporte sólido litoral de 1 320 000 m³/ano, com sentido norte-sul; existência de um fluxo de transporte com este mesmo valor ao longo do trecho em estudo; e sua saída pela fronteira sul.

A única intervenção humana de relevo anterior a 1948 foi a fixação da embocadura da Ria de Aveiro em 1808, segundo o projecto de Oudinot e Gomes de Carvalho (Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos, 1951). As alterações induzidas por esta intervenção tiveram um efeito muito limitado na morfologia da costa, dado que a principal obra de fixação, hoje designada por Molhe Central, não era saliente relativamente à linha de água.

5.3.2 Período de 1948 a 1973

Iniciou-se, a partir de 1948, um intenso processo evolutivo devido à construção dos extensos molhes exteriores da embocadura da Ria de Aveiro, caracterizado por acumulação de areia no molhe norte, acompanhada de recuo da linha de água a sul da embocadura. O avanço da linha de água devido à acumulação de areias atingiu uma extensão de 9 km (Fig. 6).

Volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul

Considerou-se a entrada pela fronteira norte de um transporte sólido litoral de sentido norte-sul de 1 320 000 m³/ano, saldo estimado para o trecho de costa na sua situação primitiva de equilíbrio. Num dado trecho de costa, o valor do transporte sólido litoral não sofre alterações desde que a orientação da sua linha de água se não modifique, situação que ocorria na referida fronteira onde não se verificou erosão ou acumulação. Terão entrado, desta forma, 33 milhões de metros cúbicos pela fronteira norte, correspondentes a 25 anos do referido transporte sólido litoral médio, de 1 320 000 m³/ano.

Pela fronteira sul terá saído o volume total de transposição do molhe norte da embocadura. Trata-se de um valor desconhecido, para cuja avaliação se recorreu ao princípio da continuidade, como se referiu na metodologia deste estudo. Neste período: entraram 33 milhões pela fronteira norte; ocorreu uma acumulação de 20,5 milhões no Trecho B, avaliada a partir do deslocamento da linha de água; e não ocorreram extracções de areia no interior do trecho. Resulta nestas circunstâncias que terão abandonado o trecho para sul, por transposição do molhe norte, 12,5 milhões de metros cúbicos, a um ritmo médio de 500 000 m³/ano.

Correspondem a estas estimativas (Quadro 3B):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+33 000 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-12 500 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
+20 500 000 m³
- Perdas nulas no interior do trecho (SI)
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
+20 500 000 m³

5.3.3 Período de 1973 a 1997

Durante este período não se verificou uma sensível progressão do avanço da linha de água a norte do molhe (Fig. 6). Entre 1983 e 1987 foi efectuado um prolongamento de 530 m do molhe norte, com inflexão a sudoeste.

Volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul

Como a costa imediatamente a norte do trecho continuava a manter inalterada a sua morfologia, e conseqüentemente o valor do transporte sólido litoral médio de 1 320 000 m³/ano, terão entrado 31,68 milhões de metros cúbicos de areia pela fronteira norte.

A saída pela fronteira sul correspondeu à transposição do molhe norte. Neste período, tendo em conta o princípio da continuidade, terão

abandonado o trecho para sul, por transposição deste molhe, 9,48 milhões de metros cúbicos, a um ritmo médio de 400 000 m³/ano, dado que: ocorreu uma acumulação de 3 milhões de metros cúbicos no interior do trecho segundo a evolução da linha de água; e se estimaram extracções de areia na praia de S. Jacinto de 19,2 milhões, como se apresenta a seguir, no ponto de perdas e ganhos.

Correspondem a estas estimativas (Quadro 3B):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+31 680 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-9 480 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
+22 200 000 m³

Perdas e ganhos no interior do trecho

Os registos das extracções na praia de S. Jacinto, junto do molhe norte da embocadura da ria de Aveiro, apresentam valores médios de 400 000 m³/ano, entre 1987 e 1997. Atendendo a que os valores registados deveriam ser bastante inferiores aos reais, o que parece ser confirmado pela quase estagnação do avanço da linha de água em S. Jacinto entre 1973 e 1997, majorou-se este ritmo oficial de extracção para 800 000 m³/ano. O total de extracções que corresponde às perdas no interior do trecho foi, desta forma, estimado em 19,2 milhões de metros cúbicos.

Balanço aluvionar

Resulta para este período (Quadro 3B e Fig. 8B):

- Diferença entre os fluxos de areia pelas fronteiras norte e sul (SF)
+22 200 000 m³
- Perdas no interior do trecho (SI)
-19 200 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)

+3 000 000 m³

5.3.4 Período de 1997 a 2005

Prosseguiu a acumulação de areia no molhe norte da embocadura de Aveiro tendo o avanço da linha de água atingido uma zona situada 14 km a norte do molhe (Fig. 6).

Volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul

Como a costa imediatamente a norte do trecho continuava a manter inalterada a sua morfologia e conseqüentemente o valor do transporte sólido litoral médio de 1 320 000 m³/ano, terão entrado durante o período de 8 anos, 10,56 milhões de metros cúbicos de areia pela fronteira norte.

A saída pela fronteira sul correspondeu à transposição do molhe norte. Neste período a transposição deste molhe terá sido aproximadamente nula, dado que: ocorreu uma acumulação de 7,9 milhões de metros cúbicos no interior do trecho, avaliada através da evolução das linhas de água; e se estimaram extracções de areia de 3,2 milhões de metros cúbicos na praia de S. Jacinto, conforme se apresenta a seguir no ponto de perdas e ganhos.

Correspondem a estas estimativas (Quadro 3B):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+10 560 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
0 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
+10 560 000 m³

Perdas e ganhos no interior do trecho

Os registos das extracções na praia de S. Jacinto, junto do molhe norte da embocadura da ria de Aveiro, apresentam entre 1997 e 2002, ano em que cessaram as extracções, um valor médio de 320 000 m³/ano e 1,6 milhões de metros cúbicos de valor acumulado. Atendendo a que, como se referiu, os valores registados deveriam ser bastante inferiores aos reais, majorou-

se este valor para um total de extracção de 3,2 milhões de metros cúbicos. O total de perdas terá ascendido, portanto a 3 200 000 m³.

Balanço aluvionar

Resulta para este período (Quadro 3B e Fig. 8B):

- Diferença entre os fluxos de areia pelas fronteiras norte e sul (SF)
+10 560 000 m³
- Perdas no interior do trecho (SI)
-3 200 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
+7 360 000 m³

5.3.5 Período de 1948 a 2005

Fazendo o somatório dos quatro períodos parciais obtém-se para o período total de 57 anos (Quadro 3B e Fig. 8B):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+75 240 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-21 900 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
+53 260 000 m³
- Perdas no interior do trecho (SI)
-22 400 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
+30 860 000 m³

Quadro 3B – Balanço aluvionar do Trecho B.

PERÍODO	VOLUMES NAS FRONTEIRAS 10^6 m^3			INTERIOR DO TRECHO 10^6 m^3			BALANÇO 10^6 m^3 $B=SF+SI$
	NORTE FN	SUL FS	SALDO $SF=FN+FS$	PERDAS P	GANHOS G	SALDO $SI=P+G$	
1948 a 1973	+33,00	-12,50	+20,50	-	-	-	+20,50
1973 a 1997	+31,68	-9,48	+22,20	-19,20	-	-19,20	+3,00
1997 a 2005	+10,56	-	+10,56	-3,20	-	-3,20	+7,36
1948 a 2005	+75,24	-21,90	+53,26	-22,40	-	-22,40	+30,86

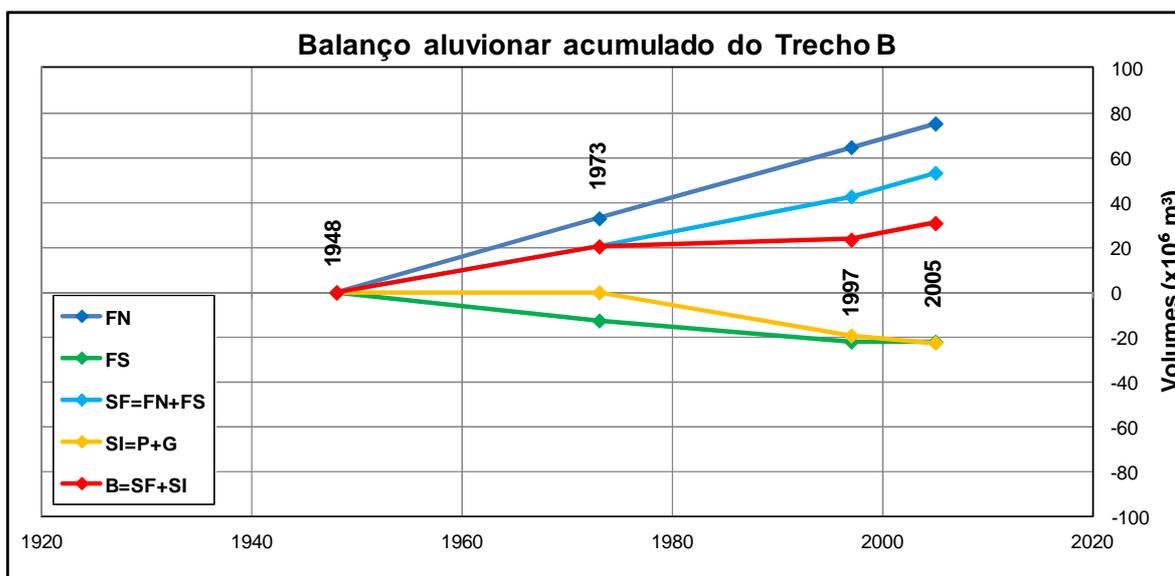


Fig. 8B – Balanço aluvionar acumulado do Trecho B, entre 1948 e 2005.

5.4 TRECHO C

5.4.1 Situação Anterior a 1948

Este trecho de costa encontrava-se numa situação de estabilidade morfológica até finais da década de 1940, traduzida em linhas gerais por: entrada pela fronteira norte do referido saldo do transporte sólido litoral, de sentido norte-sul, com um valor médio de 1 320 000 m³/ano; existência de um fluxo de transporte com esse mesmo valor ao longo do trecho em estudo; e sua saída pela fronteira sul.

Considerou-se que a embocadura da Ria de Aveiro não tinha uma contribuição aluvionar significativa, dado que as areias provenientes dos cursos de água afluentes à laguna se depositam no seu interior.

A única intervenção humana de relevo anterior a 1948 foi, como se referiu, a fixação da embocadura da Ria de Aveiro em 1808, a qual não provocou sensíveis alterações morfológicas da linha de água local.

5.4.2 Período de 1948 a 1973

Iniciou-se, a partir de 1948, um intenso processo evolutivo devido à construção de molhes na embocadura da Ria de Aveiro, caracterizado por acumulação de areia no molhe norte, acompanhada de recuo da linha de água a sul da embocadura, no Trecho C. Este recuo abrangeu uma extensão de costa de 11 km, até perto da Vagueira (Fig. 6).

Volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul

Entrou pela fronteira norte o volume de areia que neste período transpôs o molhe norte. Como se referiu anteriormente, esse volume deverá ter ascendido a 12,5 milhões de metros cúbicos, e fluído a um ritmo médio de 500 000 m³/ano.

Como a costa a sul do trecho continuava a manter inalterada a sua morfologia e conseqüentemente o valor do transporte sólido litoral médio de 1 320 000 m³/ano, terão saído 33 milhões de metros cúbicos de areia pela fronteira sul.

Correspondem a estas estimativas (Quadro 3C):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)

+12 500 000 m³

- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)

-33 000 000 m³

- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)

-20 500 000 m³

Perdas e ganhos no interior do trecho

As perdas e ganhos localizaram-se no extremo norte do trecho, pois estão relacionadas com dragagens de manutenção do canal de acesso da navegação à Ria de Aveiro, débito aluvionar da laguna e evolução morfológica do banco exterior da embocadura.

A embocadura, que não foi considerada uma fonte aluvionar significativa na condição primitiva, alterou essa situação no período de 1948 a 1973, devido à construção dos molhes na década de 1950. Estas obras intensificaram a hidrodinâmica lagunar, com aumento do prisma de maré e consequente aprofundamento progressivo dos canais próximos da embocadura, resultando a expulsão para o mar de apreciáveis volumes de areia. A avaliação dos caudais anuais debitados, efectuada a partir de dados de comparação de levantamentos e tendo em conta a subtracção dos volumes de dragagem e a fracção compatível com as granulometrias da praia, conduziu a um valor médio de 260 000 m³/ano no período de 1952 a 1973 (Hidrotécnica Portuguesa, 1980-81). Por outro lado, o robustecimento do banco exterior da embocadura reteve cerca 1 000 000 m³, durante o mesmo período, e as dragagens de manutenção de profundidades na barra apresentaram um valor médio de 150 000 m³/ano entre 1967 e 1973 (Vicente, 1990).

Calculando os correspondentes volumes de perdas e ganhos, neste período, tem-se:

- Volumes retidos devido ao crescimento do banco exterior da laguna
-1 000 000 m³
- Dragagens de manutenção na barra

-900 000 m³

- Expulsão de areias pela embocadura da laguna

+5 460 000 m³

Corresponde a estas parcelas um saldo de **+3 560 000 m³** (SI).

Balanço aluvionar

Resulta para este período (Quadro 3C e Fig. 8C):

- Diferença entre os fluxos de areia pelas fronteiras norte e sul (SF)

-20 500 000 m³

- Perdas no interior do trecho (SI)

+3 560 000 m³

- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)

-16 940 000 m³

5.4.3 Período de 1973 a 1997

Neste período foram executados: o vasto plano de diques de regularização dos canais lagunares de acesso ao porto de Aveiro, na década de 1980; e o prolongamento de 530 m do molhe norte, entre 1983 e 1987. Estas obras desencadearam um novo processo evolutivo, caracterizado por acentuado aumento do prisma de maré da laguna, o qual determinou um aprofundamento muito significativo dos canais corrigidos e de zonas do banco exterior. A estes aprofundamentos correspondeu a libertação para a costa a sul de alguns milhões de metros cúbicos de areia.

Apesar destas contribuições, como ocorreu uma acentuada diminuição do fluxo de areia que transpunha o molhe norte, o processo erosivo a sul da embocadura progrediu até sul de Mira, afectando 26 km de costa, o que levou à execução de esporões e defesas frontais (Fig. 6).

Volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul

Entrou pela fronteira norte o volume de areia que neste período transpôs o molhe norte. Como se referiu anteriormente esse volume ascendeu a 9,48 milhões de metros cúbicos, dando-se a transposição a um ritmo médio de 400 000 m³/ano.

Como a costa a sul do trecho continuava a manter inalterada a sua morfologia, e conseqüentemente o valor do transporte sólido litoral médio de 1 320 000 m³/ano, terão saído 31,68 milhões de metros cúbicos de areia pela fronteira sul.

Correspondem a estas estimativas (Quadro 3C):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+9 480 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-31 680 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-22 200 000 m³

Perdas e ganhos no interior do trecho

O ritmo de dragagens de manutenção na barra de Aveiro entre 1987 e 1992 ascendeu a 320 000 m³/ano, segundo a informação existente. Extrapolando este ritmo de dragagens para o período anterior, de 1973 a 1987, para o qual se não dispunha de dados, obtém-se um valor acumulado de 6,08 milhões de metros cúbicos, até 1992. A partir de 1992 deixaram de ser realizadas dragagens de manutenção devido aos efeitos de aprofundamento natural do canal de navegação, decorrentes do vasto plano de regularização interior e do prolongamento de 530 m do molhe norte.

O processo evolutivo, desencadeado pelo plano de regularização de canais da década de 1980, libertou para a costa a sul um elevado volume de areia. Esta alimentação, avaliada a partir da comparação dos levantamentos de canais interiores de 1987 e 2003 e admitindo que apenas 50% do material erodido era compatível com a granulometria das praias, atingiu 140 000 m³/ano (Hidrotécnica Portuguesa, 1980-81). O abaixamento de cotas do banco no mesmo período terá libertado 400 000 m³/ano (Rosa *et al.*, 2012). Considerando estes ritmos médios, obtêm-se ganhos de 1,4 e 4 milhões de metros cúbicos, no período de 1987 a 1997.

O enchimento com alimentação artificial do campo de esporões da Costa Nova, em 1990, terá envolvido um volume de areias da ordem de 500 000 m³.

Em síntese, as perdas e ganhos no interior do trecho neste período, foram:

- Dragagens de manutenção na barra de Aveiro
-6 080 000 m³
- Expulsão de areias pela embocadura de Aveiro devida ao aprofundamento dos canais interiores da laguna
+1 400 000 m³
- Libertação de areias para sul, devido ao abaixamento de cotas do banco
+4 000 000 m³
- Alimentação artificial do campo de esporões da Costa Nova
+500 000 m³

Corresponde a estas parcelas um saldo de **-180 000 m³** (SI).

Balanço aluvionar

Resulta para este período (Quadro 3C e Fig. 8C):

- Diferença entre os fluxos de areia pelas fronteiras norte e sul (SF)
-22 200 000 m³
- Perdas no interior do trecho (SI)
-180 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
-22 380 000 m³

5.4.4 Período de 1997 a 2005

O processo erosivo a sul da embocadura, embora não tenha progredido sensivelmente para sul, acentuou os recuos da linha de água entre a Costa Nova e a Barra de Mira (Fig. 6). Apesar dos problemas existentes não se recorreu à construção de mais esporões ou defesas frontais.

Volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul

Como se referiu anteriormente, transpôs o molhe e entrou pela fronteira norte um volume de areia praticamente nulo. Como a costa a sul do trecho continuava a manter inalterada a sua morfologia e conseqüentemente o valor do transporte sólido litoral médio de 1 320 000 m³/ano, terão saído 10,56 milhões de metros cúbicos de areia pela fronteira sul.

Correspondem a estas estimativas (Quadro 3C):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
0 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-10 560 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-10 560 000 m³

Perdas e ganhos no interior do trecho

Considerou-se que até 2003 ainda se fizeram sentir as libertações de areia devidas ao aprofundamento dos canais lagunares e ao abaixamento das cotas do banco, referidas no período anterior, com os ritmos de 140 000 m³/ano e 400 000 m³/ano, respectivamente (Rosa *et al.*, 2012).

Devido ao aprofundamento das cotas de equilíbrio sedimentar no canal de acesso ao porto, decorrentes do vasto plano de obras interiores e do prolongamento do molhe, não foi necessário efectuar dragagens de manutenção neste período.

Calculando os volumes de perdas e ganhos no interior do trecho, tem-se:

- Expulsão de areias pela embocadura de Aveiro devida ao aprofundamento dos canais interiores
+840 000 m³
- Libertação de areias para sul, devido ao abaixamento de cotas do banco
+2 400 000 m³

Corresponde um total de ganhos de **+3 240 000 m³** (SI).

Balanço aluvionar

Resulta para este período (Quadro 3C e Fig. 8C):

- Diferença entre os fluxos de areia pelas fronteiras norte e sul (SF)
-10 560 000 m³
- Ganhos no interior do trecho (SI)
+3 240 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
-7 320 000 m³

5.4.5 Período de 1948 a 2005

Fazendo o somatório dos quatro períodos parciais, obtém-se para o período total de 57 anos (Quadro 3C e Fig. 8C):

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+21 980 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-75 240 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-53 260 000 m³
- Ganhos no interior do trecho (SI)
+6 620 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
-46 640 000 m³

Quadro 3C - Balanço aluvionar do Trecho C.

PERÍODO	VOLUMES NAS FRONTEIRAS 10^6 m^3			INTERIOR DO TRECHO 10^6 m^3			BALANÇO 10^6 m^3 $B=SF+SI$
	NORTE FN	SUL FS	SALDO $SF=FN+FS$	PERDAS P	GANHOS G	SALDO $SI=P+G$	
1948 a 1973	+12,50	-33,00	-20,50	-1,90	+5,46	+3,56	-16,94
1973 a 1997	+9,48	-31,68	-22,20	-6,08	+5,90	-0,18	-22,38
1997 a 2005	-	-10,56	-10,56	-	+3,24	+3,24	-7,32
1948 a 2005	+21,98	-75,24	-53,26	-7,98	+14,60	+6,62	-46,64

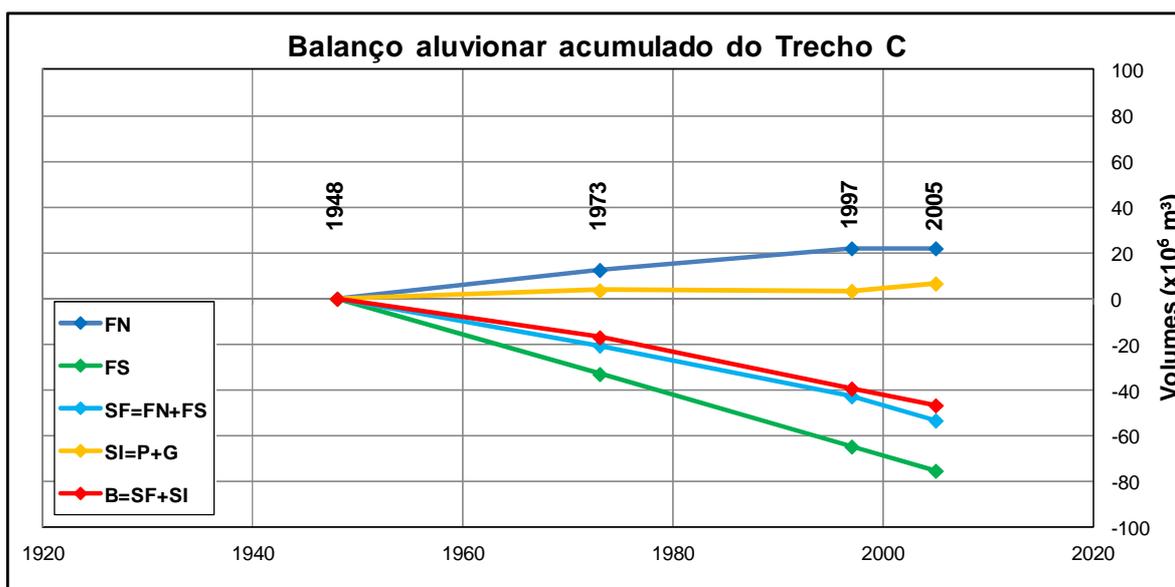


Fig. 8C - Balanço aluvionar acumulado do Trecho C, entre 1948 e 2005.

5.5 TRECHO T

5.5.1 Considerações gerais

Efectuou-se o somatório dos valores obtidos nos trechos A, B, e C, para obter o balanço global do trecho T (Quadro 3T e Fig. 8T).

5.5.2 Período de 1880 a 1948

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+75 680 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-89 760 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-14 080 000 m³
- Perdas no interior do trecho (SI)
-3 400 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
-17 480 000 m³

5.5.3 Período de 1948 a 1973

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+27 500 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-33 000 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-5 500 000 m³
- Ganhos no interior do trecho (SI)
+1 310 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
-4 190 000 m³

5.5.4 Período de 1973 a 1997

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+11 400 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-31 680 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-20 280 000 m³
- Perdas no interior do trecho (SI)
-22 410 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
-42 690 000 m³

5.5.5 Período de 1997 a 2005

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+1 600 000 m³
- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-10 560 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-8 960 000 m³
- Ganhos no interior do trecho (SI)
+40 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
-8 920 000 m³

5.5.6 Período de 1880 a 2005

- Volumes de entrada pela fronteira norte (FN)
+116 180 000 m³

- Volumes de saída pela fronteira sul (FS)
-165 000 000 m³
- Diferença entre os volumes entrados pela fronteira norte e saídos pela fronteira sul (SF)
-48 820 000 m³
- Perdas no interior do trecho (SI)
-24 460 000 m³
- Balanço no trecho, soma das duas parcelas anteriores (B)
-73 280 000 m³

Quadro 3T - Balanço aluvionar do Trecho T.

PERÍODO	VOLUMES NAS FRONTEIRAS 10^6 m^3			INTERIOR DO TRECHO 10^6 m^3			BALANÇO 10^6 m^3 $B=SF+SI$
	NORTE FN	SUL FS	SALDO $SF=FN+FS$	PERDAS P	GANHOS G	SALDO $SI=P+G$	
1880 a 1948	+75,68	-89,76	-14,08	-3,40	-	-3,40	-17,48
1948 a 1973	+27,50	-33,00	-5,50	-4,15	+5,46	+1,31	-4,19
1973 a 1997	+11,40	-31,68	-20,28	-28,31	+5,90	-22,41	-42,69
1997 a 2005	+1,60	-10,56	-8,96	-3,20	+3,24	+0,04	-8,92
1880 a 2005	+116,18	-165,00	-48,82	-39,06	+14,60	-24,46	-73,28

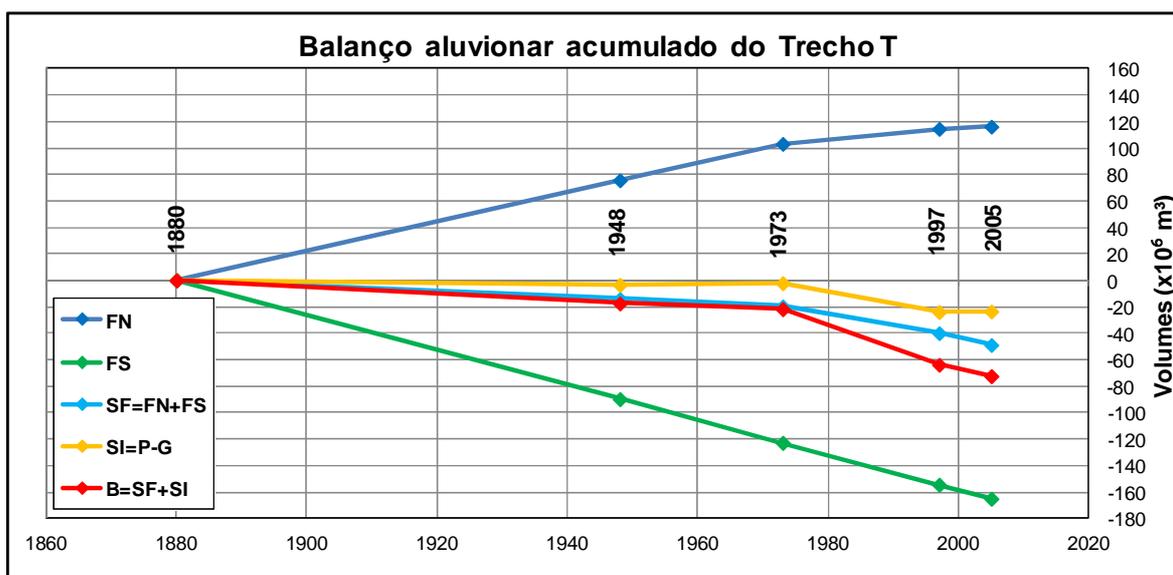


Fig. 8T – Balanço aluvionar acumulado do Trecho T, entre 1880 e 2005.

6 INTERPRETAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO

6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O trecho da costa portuguesa compreendido entre a foz do Douro e o cabo Mondego apresenta um processo acentuado de evolução, com erosões a sul de Espinho e a sul da embocadura da Ria de Aveiro e acumulação a norte desta embocadura (Figs. 1 e 6).

Este processo iniciou-se, a sul de Espinho, na década de 1880 e nas outras duas zonas no início da década de 1950, continuando ainda activo. A sua grande intensidade e permanência decorre: da forte dinâmica sedimentar associada ao severo regime de agitação marítima da costa oeste de Portugal; do quase anulamento da alimentação que penetrava pela fronteira norte do trecho, proveniente quer do rio Douro quer da costa a norte; das volumosas perdas de sedimentos associadas à extracção de areia para abastecimento da indústria da construção civil; das dragagens de manutenção de profundidades no acesso ao porto de Aveiro; e dos assoreamentos e erosões desencadeados pela construção dos molhes da embocadura da Ria de Aveiro.

Durante o desenvolvimento do processo erosivo foram construídos numerosos esporões e defesas frontais, com vista a controlar o recuo da linha de água em zonas em que este apresentava maiores inconvenientes.

A comparação de linhas de água de diferentes datas permitiu uma caracterização quantitativa: das áreas e volumes perdidos pelo trecho de costa; da evolução dessas perdas ao longo dos 125 anos do período total; e da sua distribuição espacial (Capítulo 4).

Estes resultados apresentam bastante interesse, pois permitem quantificar os volumes perdidos no processo erosivo, a sua distribuição espacial e a evolução ao longo do tempo. São, no entanto insuficientes para explicar as causas desse processo, pois não identificam a origem das perdas e ganhos aluvionares. Para este efeito tornou-se necessário complementar a análise anterior com a estimativa dos balanços de areia resultantes de perdas e ganhos ocorridos nas fronteiras norte e sul e no interior das três zonas em evolução, anteriormente referidas (Capítulo 5).

Apresenta-se a seguir, com base nos resultados dessas elaborações, uma interpretação quantificada dos processos de erosão e acumulação ocorridos entre a foz do Douro e o cabo Mondego.

6.2 TRECHO A – A SUL DO DOURO

A análise efectuada mostrou que a parte norte deste trecho, compreendida entre a foz do Douro e Espinho, foi sempre poupada à erosão, devido à protecção de afloramentos rochosos de que beneficia em toda a sua extensão.

Na frente marítima de Espinho, embora existam referências a episódios de erosão anteriores a 1880, somente a partir desta data há dados mensuráveis de um processo erosivo continuado. Considerou-se, na presente análise, que as erosões anteriores a 1880 não corresponderiam a um processo erosivo continuado, devendo-se antes a normais variações inter-anuais dos agentes morfológicos. Esta hipótese parece aceitável, pois estando Espinho localizada no extremo erodível de barlamar do trecho, seria a primeira zona a ser afectada por oscilações inter-anuais quer dos saldos de transporte sólido litoral quer dos volumes de areia debitados pelo rio Douro.

Conforme se analisou detalhadamente no Capítulo 5, o funcionamento do trecho Douro - Cabo Mondego deveria encontrar-se até 1880 numa situação de estabilidade morfológica e equilíbrio natural, traduzida em linhas gerais por um fluxo aproximadamente uniforme do saldo do transporte sólido litoral de sentido norte-sul, com entrada de um caudal de areia de 1 320 000 m³/ano na fronteira norte e uma saída desse mesmo caudal pela fronteira sul. O caudal de areia entrado pela fronteira norte seria a soma de 1 100 000 m³/ano debitados pelo Douro com 220 000 m³/ano provenientes da costa a norte deste rio.

Nestas circunstâncias primitivas era nulo o balanço sedimentar do trecho, conforme definido na metodologia deste estudo (Fig. 3). O rompimento desse equilíbrio natural deveu-se a intervenção humana, tendo ocorrido as perturbações que a seguir se indicam, e foram analisadas e estimadas no Capítulo 5:

- Diminuição, até 2005, de cerca de 48,8 milhões de metros cúbicos do fluxo de areias entrado pela fronteira norte, FN. Corresponde esta diminuição à soma das seguintes parcelas: 26,6 milhões por intercepção total do transporte sólido litoral de 220 000 m³/ano, proveniente da costa a norte, a partir de 1884, após a construção do porto de Leixões; e 22,2 milhões por diminuição do débito aluvionar do Douro ocorrida a partir de 1973, em resultado da extracção de areias no estuário e da construção, em 1985, da barragem de Crestuma.
- Verificação de um saldo negativo de ganhos e perdas de 8,7 milhões de metros cúbicos no interior do trecho, SI, decorrente da extracção de areia no cabedelo da foz do Douro e em praias do extremo norte do trecho.

As análises efectuadas para o período de 1880 a 2005, referentes a perdas de área costeira (Quadro 1), à evolução da linha de água (Figs 5.1 e 5.2) e a balanços aluvionares (Quadro 3A e Fig 8A), permitem a seguinte interpretação e quantificação dos principais aspectos do processo erosivo em curso neste trecho:

- Início da erosão na década de 1880, com continuação do processo erosivo até ao presente.
- Início da erosão na zona de Espinho e sua progressão gradual para sul: em 1948 as erosões ultrapassavam a Cortegaça; em 1973 a praia da Maceda; e em 2005 atingiam uma zona a norte da Torreira, afectando um comprimento de costa de 27 km.
- Recuo máximo de 500 m da linha de água, localizado entre Espinho e Paramos.
- Perda de cerca 460 ha de área costeira, na totalidade do período de 125 anos.
- Perda de 57,5 milhões de metros cúbicos de areia, como resultado da acumulação de balanços sedimentares negativos.

O processo erosivo afectou diversas áreas construídas da frente marítima, o que obrigou, para sua protecção, a executar numerosas obras fixas de defesa para controlo do avanço do mar.

As erosões na frente marítima de Espinho, originaram um recuo de 250 m da linha de água, entre 1880 e 1909, com destruição de um número apreciável de habitações e de uma igreja. Para travar o avanço do mar foi construída uma defesa frontal formada por uma muralha de cortina assente em estacaria. Esta obra revelou-se insuficiente tendo sido construídos três esporões entre 1911 e 1918. Antes de 1948 foi acrescentado mais um esporão a sul e construída uma defesa frontal de enrocamento. O prosseguimento da erosão obrigou ainda à construção, entre 1948 e 1962, de mais dois esporões a sul dos existentes (Hidrotécnica Portuguesa, 1980-81). Na década de 1980 foi finalmente realizado um plano mais completo de obras de defesa, constituído por cinco esporões de apreciável envergadura, tendo sido fixado, desta forma, um limite para o recuo da linha de água que não voltou a ser ultrapassado (Mota Oliveira *et al.*, 1982).

À medida que a erosão progredia para sul sucederam-se novas intervenções de defesa. Na frente litoral Esmoriz - Cortegaça foram construídos, entre 1985 e 1989, quatro esporões conjugados com uma extensa defesa frontal. Em 1972-73 construíram-se dois esporões no Furadouro, complementados com uma defesa frontal de enrocamento. Em 1974 foi efectuada a primeira protecção na Torreira, constituída por uma defesa frontal, à qual foi acrescentado um esporão em 1981 (CEHIDRO, 1998).

6.3 TRECHO B – A NORTE DA EMBOCADURA DA RIA DE AVEIRO

Não existindo notícias sobre a ocorrência de evoluções da costa até ao fim da década de 1940, este trecho deveria encontrar-se então numa situação de equilíbrio de longo prazo, que se considerou representada pela linha de água de 1948, única de que se dispunha nesse período. A única intervenção humana de relevo anterior a 1948, foi a referida fixação da embocadura da Ria de Aveiro em 1808. As alterações induzidas por esta intervenção tiveram, no entanto, um efeito muito limitado na morfologia da costa, dado

que as obras de fixação então construídas não eram salientes relativamente à linha de água.

Essa situação de estabilidade e equilíbrio natural do Trecho B, seria traduzida em linhas gerais por um fluxo aproximadamente uniforme do saldo do transporte sólido litoral de sentido norte-sul, com entrada de um caudal de areia de 1 320 000 m³/ano na fronteira norte e a saída desse mesmo caudal pela fronteira sul. Nestas circunstâncias era nulo o balanço sedimentar do trecho, conforme definido na metodologia (Fig. 3).

Os molhes da embocadura de Aveiro, iniciados em 1948 e terminados em 1958, passaram a constituir um importante obstáculo ao transporte sólido litoral, dada a sua saliência de cerca de 700 m relativamente à linha de água original. Iniciou-se então um intenso processo evolutivo caracterizado por acumulação de areia no molhe norte, acompanhada de recuo da linha de água a sul da embocadura. Há ainda a considerar o prolongamento de 530 m do molhe norte, efectuado entre 1983 e 1987, visando o melhoramento das condições de acesso da navegação à Ria de Aveiro. Este último prolongamento teve efeitos de retenção pouco acentuados, dado que foi projectado de forma a melhorar as condições de transposição do transporte sólido litoral.

A evolução determinada pelo rompimento do equilíbrio primitivo, traduziu-se no aumento de 30,9 milhões de metros cúbicos do balanço aluvionar do trecho, determinado pelas seguintes alterações:

- Diminuição de cerca de 53,3 milhões de metros cúbicos do fluxo de areia saído pela fronteira sul, FS, devido ao acentuado efeito de retenção do molhe norte, que coincide com essa fronteira. O fluxo na fronteira norte, FN, terá mantido o seu valor primitivo, pois essa zona não chegou a ser atingida por alterações significativas da posição e orientação da linha de água.
- Ocorrência estimada de perdas de 22,4 milhões de metros cúbicos no interior do trecho, SI, devido às intensas e prolongadas extracções de areia na praia de S. Jacinto.

As análises efectuadas para caracterização do processo de acumulação (Quadro 1), da evolução da linha de água (Fig. 5.3) e dos balanços

aluvionares (Quadro 3B e Fig. 8B), permitem destacar os seguintes aspectos:

- Início da acumulação em 1948 e sua continuação até ao presente.
- Início da acumulação junto do molhe norte, com gradual progressão até cerca de 15 km para norte.
- Avanço máximo da linha de água de 730 m, localizado junto ao molhe norte.
- Ganho de 250 ha de área costeira, na totalidade do período de 57 anos.
- Ganho de 30,9 milhões de metros cúbicos de areia, como resultado da acumulação.

6.4 TRECHO C - A SUL DA EMBOCADURA DA RIA DE AVEIRO

Como se referiu para o Trecho B, a linha de água de 1948 documenta a situação de equilíbrio primitiva, anterior ao processo erosivo que se iniciou após a construção dos molhes da embocadura de Aveiro.

Até esta data, o Trecho C deveria encontrar-se numa situação de estabilidade morfológica, traduzida em linhas gerais por um fluxo aproximadamente uniforme do saldo do transporte sólido litoral de sentido norte-sul, com transposição da embocadura da Ria de Aveiro por um caudal de areia de 1 320 000 m³/ano, e saída desse mesmo caudal pela fronteira sul. A contribuição da embocadura da laguna como fonte aluvionar não seria significativa, dado que as areias provenientes dos cursos de água afluentes à laguna se depositam no seu interior. Nestas circunstâncias era nulo o balanço sedimentar do trecho, conforme definido na metodologia (Fig. 3).

Este equilíbrio e correspondente morfologia foram profundamente alterados devido à referida retenção de areias pelo molhe norte, o qual constitui a fronteira norte do Trecho C. São também relevantes as perdas e ganhos que passaram a ocorrer no interior do trecho, devidos ao grande conjunto de obras e intervenções realizadas na embocadura e interior lagunar, com vista a satisfazer as crescentes necessidades da navegação portuária.

Referem-se: a expulsão de areias pela embocadura de Aveiro devida ao aprofundamento dos canais interiores, na sequência da construção de diques de regularização; as frequentes dragagens de manutenção de profundidades na barra de Aveiro; os efeitos de retenção e libertação de areias por evolução morfológica do banco exterior; e, ainda, uma acção de alimentação artificial de enchimento do campo de esporões da Costa Nova.

O rompimento do anterior equilíbrio, traduziu-se num balanço aluvionar negativo de 46,6 milhões de metros cúbicos, determinado pelas seguintes alterações:

- Diminuição de cerca de 53,3 milhões de metros cúbicos do fluxo de areia entrado pela fronteira norte, FN, devido ao acentuado efeito de retenção do molhe norte, que coincide com essa fronteira. O fluxo na fronteira sul, FS, não terá sofrido alterações, atendendo a que se manteve inalterada a morfologia do trecho de costa adjacente a sul.
- Ocorrência de um ganho de 6,6 milhões de metros cúbicos no interior do trecho, SI, devido ao saldo das contribuições de perdas e ganhos acima referidas.

As análises efectuadas para caracterização do processo erosivo (Quadro 1), da evolução da linha de água (Figs 5.4 e 5.5) e dos balanços aluvionares (Quadro 3C e Fig. 8C), permitem destacar os seguintes aspectos:

- Início da erosão em 1948 e sua continuação até ao presente.
- Início da erosão imediatamente a sul da embocadura, com progressão gradual para sul. Em 1973 a erosão atingia a zona da Vagueira e em 2005 o trecho a sul da praia de Mira, afectando um comprimento total de costa de 27 km.
- Recuo máximo local da linha de água de 400 m, localizado entre a Costa Nova e a Vagueira.
- Perda de cerca 380 ha de área costeira, na totalidade do período de 57 anos.
- Perda de 46,6 milhões de metros cúbicos, como resultado da acumulação dos balanços negativos.

O processo erosivo foi afectando áreas construídas da frente marítima o que obrigou à realização de diversas obras de protecção. Em 1972-73 foi construído na Costa Nova um campo de onze esporões, complementado com uma defesa frontal de 2 400 m de comprimento. Esta obra foi posteriormente remodelada, sendo actualmente constituída por cinco esporões de maior comprimento e mais espaçados entre si. Esta intervenção beneficiou de uma alimentação artificial de cerca de 500 000 m³, para enchimento do campo de esporões. Em 1978 iniciou-se a protecção da zona da Vagueira, com uma defesa frontal de enrocamento. Dado o agravamento das erosões foram posteriormente construídos dois esporões, um no limite sul da malha urbana e o outro 1 200 m mais a sul. À medida que a erosão progredia para sul foram ainda construídos um pequeno esporão na praia do Areão e dois esporões na praia de Mira (CEHIDRO, 1998).

6.5 TRECHO T – FOZ DO DOURO AO CABO MONDEGO

A evolução da costa entre a foz do Douro e o cabo Mondego apresenta, como se viu, duas zonas sujeitas a erosão (Trechos A e C) e uma terceira onde ocorre um processo de assoreamento (Trecho B).

Do ponto de vista das causas da evolução há a considerar duas situações distintas: o Trecho A, compreendido entre a foz do Douro e a Torreira, onde o processo erosivo se deve ao acentuado enfraquecimento da alimentação sedimentar do Douro, agravado pela intercepção pelos molhes de Leixões do transporte sólido litoral proveniente da costa a norte deste rio; e os Trechos B e C, onde a construção dos longos molhes da embocadura da Ria de Aveiro desencadeou uma intensa redistribuição da massa arenosa costeira, com acumulação a norte (Trecho B) e erosão a sul (Trecho C).

A conjugação das avaliações efectuadas para cada um dos Trechos A, B e C, permite efectuar uma caracterização global do Trecho T (Quadros 1 e 3T e Fig. 8T), de que se destacam os aspectos seguintes:

- Início da erosão no Trecho A na década de 1880, e do assoreamento e erosão nos Trechos B e C na década de 1950. Continuação destes processos de evolução até ao presente.

- Comprimento de 55 km de costa afectado significativamente pela erosão (Trechos A e C), e 15 km em que ocorreu assoreamento e avanço da linha de água (Trecho B).
- Perda de cerca 840 ha de área costeira nos Trechos A e C e ganho de 250 ha no Trecho B, resultando como saldo global no Trecho T uma perda de 590 ha.
- Perda de 104 milhões de metros cúbicos de areias nos Trechos A e C e ganho de 31 milhões no Trecho B, resultando como saldo global no Trecho T uma perda de 73 milhões de metros cúbicos.

Colaborou no presente trabalho o Técnico Vitor Pisco do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras (NEC) do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA) do LNEC.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Outubro de 2012.

VISTOS

O Chefe do Núcleo de
Estuários e Zonas Costeiras



Luis Portela

A Directora do Departamento de
Hidráulica e Ambiente

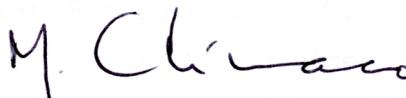


Rafaela de Saldanha Matos

AUTORIAS



Claudino M. Vicente
Eng^o Civil, Especialista em Hidráulica
Marítima



Manuel Clímaco
Eng^o Civil, Inv. Principal

BIBLIOGRAFIA

- Birkemeier, W. (1985) – Field Data on Seaward Limit of Profile Changes. *Journal of Waterways Ports, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. II, N.º 3, pp. 598-602. ASCE.
- CEHIDRO (1998) – Carta de Risco do Litoral. Trecho 2: Foz do Douro – Nazaré. Instituto Superior Técnico (IST). Instituto da Água (INAG).
- Consulmar (1988) - Estudo dos Problemas Litorais na Costa de Portugal Continental. Cabo Mondego - Rio Mondego. Direcção-Geral de Portos. Lisboa.
- Dias, J. M. A.; Taborda, R. P. M. (1988) – Evolução Recente do Nível Médio do Mar em Portugal. *Anais do Instituto Hidrográfico* nº 9 (1988).
- Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos (1951) – O Regime das Embocaduras Lagunares e o Problema do Melhoramento da Ria de Aveiro.
- Hidrotécnica Portuguesa (1980-81) – Leixões – Cabo Mondego. Problemas Litorais. Volumes 1 a 4. Direcção-Geral de Portos.
- Mota Oliveira, I. B. (2004) – Forty Years of Coastal Engineering in Portugal. 29th Conference on Coastal Engineering. ASCE. Lisboa
- Mota Oliveira, I. B.; Valle, A. J. S. F.; Miranda, F. C. C. (1982) – Littoral Problems in the Portuguese West Coast. 18th Conference on Coastal Engineering. ASCE.
- Per Bruun (1988) – The Bruun Rule of Erosion by Sea-Level Rise: A Discussion on Large Scale Two and Three-Dimensional Usages. *Journal of Coastal Research*, Vol. 4, N.º 4 (Autumn 1988), pp. 627-648. Coastal Education & Research Foundation, Inc.
- Portela, L. I. (2008) – Sediment Transport and Morphodynamics of the Douro River Estuary. *Geo-Marine Letters* (2008) 28:77-86. Springer.
- Rosa, T. L.; Barata, A.; Geadas Cabaço, J.; Teles, M. (2012) – Intervenções de Dragagem na Barra de Aveiro (Portugal) e de Protecção da

Zona Costeira a Sul. Revista da Gestão Costeira Integrada 12(1): 57-5 (2012).

Veloso-Gomes, F.; Neves, L.P. (2011) – Caso de Estudo Esmoriz Cortegaça (Portugal). Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos (IHRH) e Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). ANCORIM – Atlantic Network for Coastal Risks Management.

Vicente, C. M.; Clímaco, M. (1994) – Caracterização de Aspectos Fisiográficos de Praias da Costa Portuguesa. Orla Litoral da Ria de Aveiro. Contrato JNICT PEAM/C/CNT/51/91. Rel. 244/94 – NET, LNEC.

Vicente, C. M. (1990) – Evolução Costeira Devido a Obras Portuárias: Casos da Praia da Figueira da Foz e da Embocadura da Ria de Aveiro. Actas do 1º Simpósio Sobre a Protecção e Revalorização da Faixa Costeira do Minho ao Liz, Porto 20 a 22 de Junho.