
CAPI TULO VI I

Conclusões Gerais

1. Factores que influenciam a distribuição da MPS

Diferentes factores geológicos e hidrodinâmicos podem-se conjugar para explicar a remobilização, o transporte e a redistribuição dos sedimentos na plataforma e vertente continentais. O transporte da MPS é influenciado pelas fontes sedimentares (rios, erosão de arribas e cobertura sedimentar), largura da plataforma e batimetria, estratificação das águas (densidade), correntes tidais e subtidas, ondulação predominante (Baker & Hickey, 1986), ventos persistentes e débito fluvial. De entre todos estes factores, o fornecimento terrígeno, a morfologia da plataforma e vertente norte portuguesa, a circulação geral essencialmente promovida pelos ventos dominantes, a ondulação e também, mas em menor grau, a estratificação por densidade foram, no presente estudo, considerados os factores mais importantes pelas seguintes razões: 1) os rios fornecem a maioria da MPS terrígena distribuída para a margem continental W portuguesa, que aumenta com as chuvas de Outono (cap. II); 2) o rio Douro é a maior fonte de MPS, com cerca de 80% da contribuição total terrígena (Dias, 1987; Magalhães, 1999); 3) as forças essenciais para o transporte da MPS ocorrem, em especial, na situação de temporal com alturas de ondas superiores a 6m, na qual normalmente o caudal dos rios é elevado; 4) circulação geral na plataforma e vertente, com situações diferentes e contrastadas no Verão e no Inverno; 5) plataforma estreita, com batimétricas paralelas à costa, onde se individualiza, no bordo da plataforma, o canhão submarino do Porto, que certamente favorece o transporte sedimentar para a vertente e planície abissal.

2. Hidrologia e nefelometria

Os dados obtidos nos cruzeiros, mostram que a hidrologia da plataforma continental norte Portuguesa apresenta variações interanuais e sazonais importantes, estando por vezes muito dependente do volume de água doce introduzida pelos rios.

Foi, assim, possível estabelecer 4 situações tipo, cada uma característica de uma época específica.

1. Novembro de 1996 situação de Outono, com caudais fracos, não existindo frente termohalina bem definida, embora as águas se encontrassem estratificadas. Período marcado pela ocorrência de um temporal que homogeneizou a coluna de água e que possibilitou o

empurrar de águas oceânicas temperadas (14-15°C) para perto da costa, por acção do vento (vento forte de SW-S). Contudo, estas águas apresentavam temperaturas mais baixas do que durante o Inverno, facto possivelmente explicado pelo arrefecimento das águas costeiras, característico do final da época de upwelling (T=13-14°C). A água estuarina superficial encontrava-se muito limitada à plataforma interna e a frente salina era pouco nítida. A nefelometria mostra uma CNF bem desenvolvida, com valores que decresciam para a superfície.

2. Dezembro de 1997 situação de Inverno, com caudais elevados, caracterizada por uma frente salina que se estendia por toda a plataforma entre os rios Minho e Douro e que pode afectar toda a coluna de água. Esta estrutura situa-se geralmente entre a isóbata dos 50 e 120m e separa as águas costeiras menos salinas das águas oceânicas (S>35.5). Esta frente é mais evidente quando o débito fluvial é superior (caso do inverno de 1997). A temperatura é, no geral, bastante homogénea, com valores elevados (T>16°C), com um máximo (T>17°C) localizado a profundidades intermédias (50-100m). Este máximo poderá ter origem num episódio anterior de downwelling associado a ventos de S-SW, com as águas superficiais mais quentes a ficarem aprisionadas na plataforma média. A nefelometria é caracterizada por uma CNS muito limitada à plataforma interna e por uma CNF muito intensa que cobre a totalidade da área estudada.
3. Maio 99 o aquecimento das águas costeiras, com redução do caudal dos rios, faz desaparecer progressivamente a frente salina, aparecendo uma termoclina sazonal que se situa entre os 25-50m de profundidade e separa as águas quentes e menos salinas da superfície das águas frias do fundo (T<14°C). É impressionante a extensão desta massa de água menos salina que cobre a totalidade da plataforma continental e, mesmo, a vertente continental apresentando uma extensão de cerca de 50km, perto do rio Douro. Estas águas de superfície são advectadas para o largo, em grande parte devido à acção do vento (ventos intensos de N-NW). Abaixo da termoclina, as águas oceânicas aproximam-se da costa, podendo mesmo ser interrompida pelo aflorar de águas frias do fundo, fenómeno característico desta costa durante os meses de Verão. A nefelometria mostra duas camadas nefelóides bem desenvolvidas e separadas por águas mais límpidas, estendendo-se a CNS até ao bordo da plataforma. A CNF é mais importante do que a CNS e apresenta valores de turbidez mais elevados.

4. O início do cruzeiro de Maio de 99 possibilita uma breve visão do que se passa no período de Verão, com o aflorar de águas frias perto da costa (10 km da costa). As águas mais frias do fundo afloram (isotérmicas de 13 e 14°C), interrompendo a termoclina sazonal, com separação nítida das águas superficiais e estabelecendo-se como uma barreira vertical à progressão das águas mais costeiras. As isolinhas da turbidez tendem para a vertical, destruindo parcialmente a CNS. Contudo, pela acção do vento, as águas túrbidas são advectadas superficialmente para o largo.

Desde os primeiros trabalhos sobre a evolução e distribuição da turbidez na coluna de água que se evidenciou o seu decréscimo de forma exponencial desde a costa até zonas mais afastadas da plataforma continental (McCave, 1972; Castaing, 1981, Hermida, 1997).

Na plataforma continental norte Portuguesa, este comportamento também se verifica, com valores de turbidez que diminuem rapidamente à medida que nos afastamos da fonte, tornando-se relativamente homogéneos na plataforma externa.

Em geral, a CNS encontra-se confinada à plataforma interna, mesmo em períodos de caudal elevado. Durante o período de Primavera-Verão pode estender-se até ao bordo da plataforma, embora com valores de turbidez baixos.

A CNF é sempre mais desenvolvida que a CNS, tanto em extensão como em espessura, particularmente sobre o depósito silto argiloso do Douro e também no depósito do Minho-Galiza. As CNI desenvolvem-se através do descolamento da CNF no bordo da plataforma, encontrando-se também associadas com descolamentos das paredes do Canhão submarino do Porto. Formam-se com especial incidência durante o Inverno e Outono. Na Primavera, o deslocar da contra-corrente quente para níveis inferiores da coluna de água parece favorecer o aparecimento de CNI entre os 200-300m de profundidade. As características das CNS, CNI e CNF encontram-se sumariadas na tabela VII-1.

A circulação da maré na plataforma origina correntes residuais importantes para Oeste. No Verão, a maré exhibe uma estrutura barotrópica, com a elipse de maré na plataforma interna (39m), perpendicular as isóbatas. Existe uma diminuição da intensidade da corrente de maré do bordo para a plataforma interna.

No Inverno, a água doce trazida pelos rios pode originar fortes gradientes de densidade e promover uma circulação de densidade. Esta circulação, associada ao efeito de Coriolis (desvio para a direita), faz com que as águas expulsas pelos rios na plataforma interna se

desloquem para norte, ocasionando uma faixa de água menos densas que ocupa toda a plataforma interna.

A circulação induzida pelo vento orienta-se segundo um eixo norte-sul, para sul no Verão e para norte no Inverno, com poucas ocorrências de vento Leste. Esta circulação reforça a circulação de densidade ou, pelo contrário, opõe-se-lhe.

Na desembocadura dos rios, a maré e o débito fluvial controlam a expulsão da MPS para a plataforma continental. Assim, os máximos de expulsão devem ocorrer em situações de cheias associados a períodos de marés vivas.

Na plataforma continental, a circulação induzida pelo vento sobrepõe-se à influência da maré e mesmo à circulação induzida por diferenças de densidade, parecendo ser o principal agente dinâmico responsável pela dispersão.

Para se estabelecer um esquema de circulação superficial é indispensável que se tenha em conta os dados climáticos nomeadamente, a variação anual da frequência dos ventos e a ocorrência de ciclos de cheias e secas e a hidrologia da coluna de água. O referido esquema permite a elaboração de um modelo conceptual de dispersão das plumas dos rios na plataforma continental que diferencia uma situação de Verão e outra de Inverno (fig. VII-1), que apresentam normalmente características opostas.

A situação de Inverno e Outono é caracterizada por:

- ❖ circulação dirigida para o norte induzida por ventos de S e SW (circulação atmosférica ciclónica).
- ❖ estabelece-se em períodos de fortes caudais uma frente termo halina que impede a dispersão das massas de água superficial para o largo. A dispersão faz-se essencialmente na CNF, correspondendo a situações de downwelling.

Pelo contrário, a situação de Verão e Primavera é caracterizada por:

- ❖ Uma circulação para sul, induzida por ventos fortes e persistentes de N e NW (circulação atmosférica anticiclónica).
- ❖ Presença de uma termoclina sazonal que torna a massa de água superficial pouco espessa mas mais móvel, favorecendo a dispersão sob a acção do vento.
- ❖ Interrupção da termoclina nos locais onde o upwelling costeiro está activo, formando-se uma barreira vertical à dispersão da massa de água costeira. Fora da influência do

afioramento de águas frias do fundo, continua a haver dispersão para o largo, na camada mais superficial.

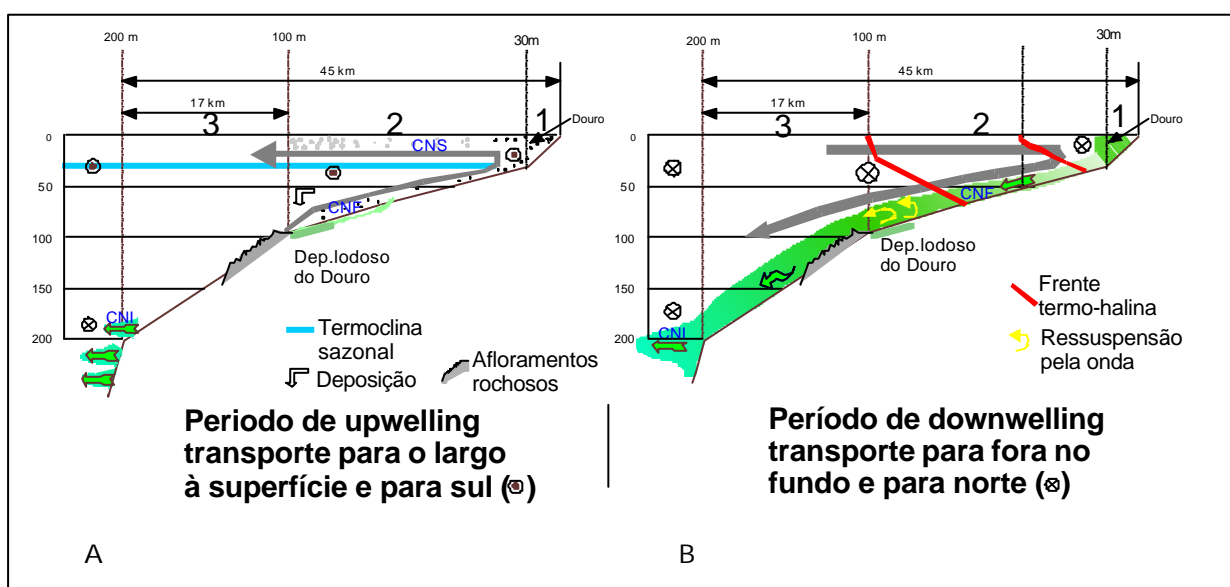
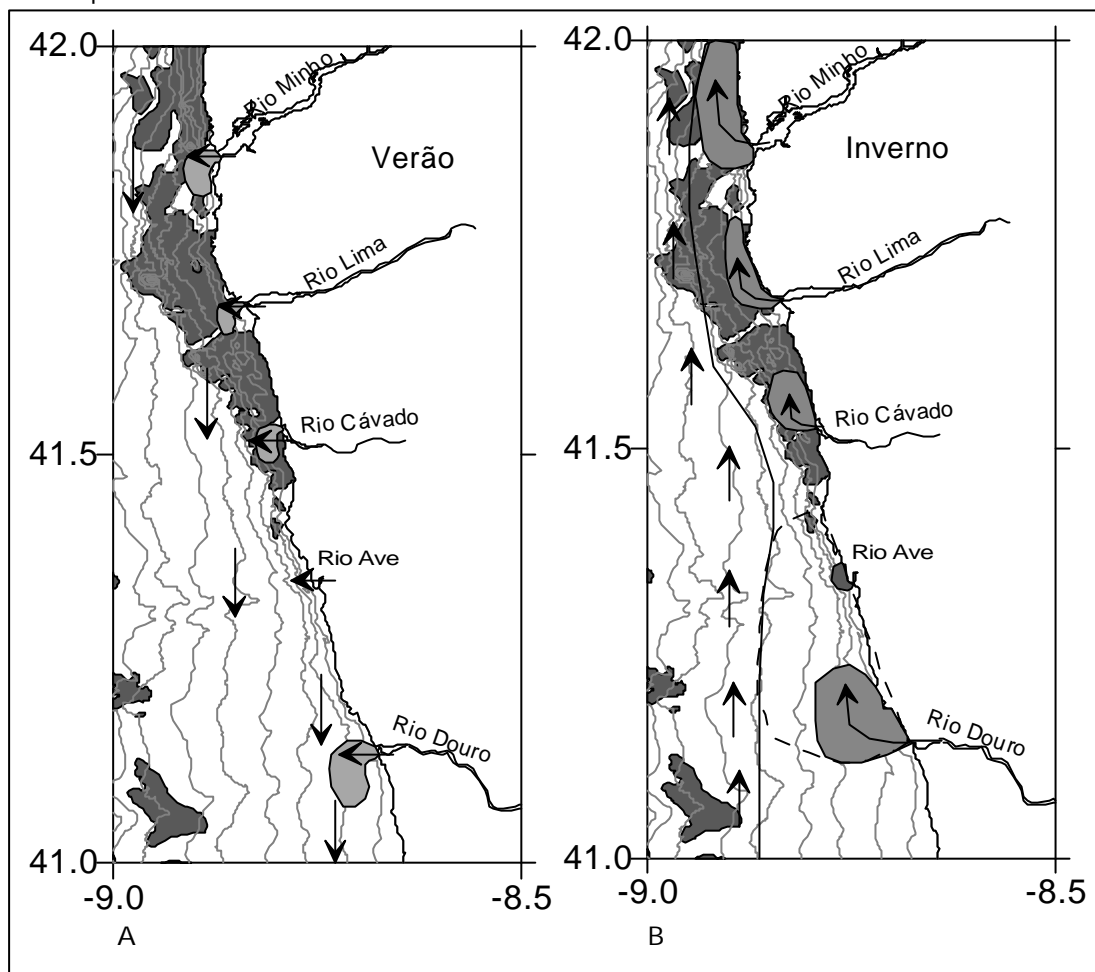


Fig. VII-1. Modelo conceptual de dispersão da MPS na plataforma continental NW portuguesa. Evolução sazonal. A) Verão; B) Inverno.

Tabela VII-1. Compilação das características da CNS, CNF e CNI.

upwelling	Características gerais	Bordo da plat. (3)	Plat. média (2)	Plat. interna (1)
CNS	30-40m (0.1-4.4 mg/l) estratificação da coluna de água composição orgânica/agregados atinge os 50 km COP>20%		frente de upwelling que migrou da plataforma interna, fluxo para Oeste	termoclina horizontal que pode ser interrompida pelo upwelling. Fluxo para sul
CNF	20-30m (0.2-3.7mg/l) fornece partículas ao depósito fino do Douro	-	correntes gerais, fluxo para este	maré
CNI	-	desenvolvem-se no bordo por acção conjunta da corrente da vertente e marés, ondas internas.	-	-
downwelling	Características gerais	Bordo da plat. (3)	Plat. média (2)	Plat. interna (1)
CNS	confinada à plat. interna (0.05-5.8 mg/l) composição inorgânica/agregados coluna de água homogénea (80-100m) COP<10%	(partículas de dim.>20µm)	(partículas de dim.>10µm) definição de uma frente termo-halina, fluxo para Este	débito dos rios (partículas de dim.5µm), fluxo para norte
CNF	20-50m (0.2-16 mg/l) composição terrígena fornece e recebe partículas do depósito fino do Douro (dim.34µm)	ondas internas, corrente da vertente	ressuspensão onda (6m); correntes (>25 cm/s), ondas internas, fluxo para oeste	ressuspensão onda, maré
CNI	-	seguem as isopícnicas, formam-se a partir da CNF	-	-

O presente estudo refere-se a situações contrastadas, por períodos curtos de tempo (10-15 dias), não tendo sido contemplada a variabilidade a longo prazo. Contudo, como as estruturas hidrológicas e nefelométricas tendem a ser persistentes, é de esperar que estas situações se repitam sazonalmente.

3. Composição da MPS

A inspecção visual de amostras seleccionadas ao microscópio electrónico, colhidas tanto na CNS como na CNF, revelou que o material ocorre em agregados contendo diminutos cocólitos. Durante o Inverno a comunidade de cocolitóforos que se desenvolve na plataforma e vertente continental portuguesa é rica e compreende tanto espécies de regiões temperadas como de regiões subtropicais. As diatomáceas, dinoflagelados e silicoflagelados eram menos

abundantes, e os foraminíferos eram raros ou ausentes. A componente biogénica era mais abundante à superfície, aumentando a componente litogénica na CNF.

A análise da componente terrígena por DRX mostrou que a CNS é maioritariamente formada por argilas (illite, caulinite, clorite e esmectite). Na CNS, muito perto da desembocadura dos rios e principalmente na CNF ocorrem outros minerais como quartzo, micas, plagioclases e feldspatos-K. Contudo, a MPS da CNS consiste sobretudo em restos biogénicos autóctones, produzidos por produção primária, sendo a componente terrígena dominante, perto dos rios, onde a dimensão das partículas é menor. Os conteúdos de COP determinados nos dois níveis nefelóides concordam com esta distribuição.

Na CNF, as amostras com valores superiores de concentração (perto dos rios e sobre o depósito silto-argiloso do Douro), eram formadas na sua maioria por quartzo e filossilicatos; a componente biogénica era insignificante e consistia em restos de cocolitóforos e diatomáceas.

A quantidade de cocólitos e diatomáceas presentes nas amostras reflecte a actividade fitoplanctónica, modificada pelo *grazing* do zooplâncton.

Na CNF e CNS, as partículas terrígenas em suspensão provêm directamente dos perfis de alteração dos solos da região montanhosa do Minho (>1000m). Os rios em períodos de cheias transportam quantidades importantes de sedimentos em suspensão com uma composição muito semelhante à encontrada nas suspensões e sedimentos finos da plataforma. Outra importante fonte de partículas para a CNF é a resuspensão que ocorre em resultado do incremento das correntes de fundo.

A ressuspensão de sedimentos do fundo pode ser demonstrada pelas modas presentes na CNF, tendo sido identificada uma moda comum por volta dos 17.7-20.5 μ m e pela presença de cocólitos resistentes aos processos de dissolução, como o *C. pelagicus* que ficam conservados no sedimento de fundo. Durante os cruzeiros esta espécie não foi identificada na coluna de água, desenvolvendo-se provavelmente em períodos (Verão) anteriores a estes, sofrendo agora ressuspensão e incorporar a CNF.

4. Formação e desenvolvimento das camadas nefelóides

As isolinhas de nefelometria correspondem, por vezes, às isopícnicas. No caso do cruzeiro Clima, a CNS que se desenvolve na vertente continental, era claramente limitada inferiormente pela picnoclina, o mesmo se verificando para o cruzeiro OMEX II. A observação dos valores de nefelometria e de densidade ao nível da picnoclina revela um decréscimo dos

valores da turbidez com o aumento do gradiente vertical de densidade. A semelhança entre a espessura da CNS e a da camada de mistura superficial pode ser interpretada como o resultado da mistura vertical que tem lugar em situações de Inverno moderado e Outono. A espessura da camada de mistura superficial e a CNS é variável e atinge profundidades de 70m-120m.

A CNF estende-se por toda a plataforma, devido à dispersão de material terrígeno proveniente dos rios, principalmente do rio Douro e à remobilização local de partículas finas (depósitos silto-argilosos) anteriormente depositadas. Durante o Outono, Inverno e Primavera, a CNF destaca-se para formar uma CNI que foi observada ao longo do bordo da plataforma. CNI s de menor magnitude ocorrem às mais variadas profundidades entre os 200 e os 1500m, em águas mais homogêneas, com especial incidência de Primavera. As CNI s seguem superfícies isopícnicas e dispersam-se através da coluna de água.

5. Sedimentos finos da plataforma média

A presença de um depósito fino na plataforma média ao largo do rio Douro foi associado ao acarreo de material oriundo dos rios (nomeadamente o rio Douro), essencialmente em períodos de cheias (Drago, 1998, Araújo, *et al.*, 1994). A composição mineralógica da fracção fina dos rios e da plataforma é muito semelhante, permitindo concluir que a componente detritica da MPS que se encontra na plataforma é directamente exportada pelos rios, constituindo a principal fonte sedimentar. Como traçadores mineralógicos nas águas da plataforma continental, foram identificados a caulinite para o rio Cávado e a clorite para o rio Minho. O rio Douro apresenta altas taxas de ilite e caulinite, que constituem os dois minerais predominantes da MPS das águas da plataforma minhota e dos sedimentos de fundo.

Estes depósitos têm normalmente origem na deposição da MPS em áreas protegidas da ondulação, que na plataforma norte Portuguesa se situam por volta dos 65-130m de profundidade.

McCave (1972) argumenta que o limite externo de deposição da MPS ocorre onde a concentração decresce relativamente à taxa de frequência de resuspensão pelas ondas e correntes, ou seja em zonas onde a eficácia da onda decresce, não sendo capaz de manter em suspensão o material fino.

Outra explicação para a presença de altos valores de MPS e de alguns depósitos na plataforma média como a "Grand Vasière" ao largo da Bretanha e o depósito Oeste do Gironda é a concordância entre a localização do depósito e o processo de bloqueio à dispersão da MPS, provocado por zonas frontais que separam massas de água com diferentes temperaturas e salinidade (Castaing, 1981; Hermida, 1997). Este processo de bloqueio pode também ocorrer na plataforma norte portuguesa, principalmente em alturas de cheias, visto que foi detectada uma frente termo-salina em períodos de caudal elevado.

A ressuspensão dos sedimentos pelas ondas, particularmente ondas de temporal, constitui uma das características mais comuns das plataformas continentais e é um factor importante na região estudada, tal como nas plataformas do Mar do Norte, Costa Este dos Estados Unidos, Califórnia e Mar de Bering (Meade *et al.* 1975; Feeley *et al.*, 1979; Drake *et al.*, 1980, Young *et al.*, 1981; Drake & Cacchione, 1986, 1989), para a remobilização e transferência de MPS para profundidades superiores. Contudo, o grau de ressuspensão depende muito do grau de coesão dos sedimentos (Eisma, 1993).

Os sedimentos que formam os depósitos finos do Douro e Minho-Galiza são essencialmente siltosos com baixa percentagem de argila (média de 6%), podendo ser considerados sedimentos não coesivos (Jouanneau *et al.*, 2001). Estes sedimentos são colocados em suspensão por ondas de temporal de 6m (altura máxima 10 m) de altura e períodos de 12s (temporal de 19 de Novembro de 1996). Tais ondas induzem, junto ao fundo, velocidades orbitais superiores a 20cm/s, com valor máximo de 40 cm/s (Vitorino & Coelho, 1998). Durante os temporais, as correntes junto ao fundo, predominantemente para NW-W, favorecem a transferência de MPS na CNF, que pode depositar-se a maiores profundidades (vertente ou rampa continentais) ou ser transportada para norte. Este transporte para norte também foi comprovado pelo aumento para norte da maturidade dos sedimentos finos da plataforma e índice de cristalinidade das argilas.

6. Perspectivas futuras de investigação

O estudo da MPS iniciou-se no princípio do século XX, sendo raras as publicações existentes antes de 1920. Assim, desenvolveu-se sobretudo após as actividades do homem (canalização e construção de barragens nos rios, planos de irrigação, desflorestação, agricultura, minas, regularização da costa com estruturas de engenharia, construção de estradas e poluição) que já tinham causado grandes alterações regionais no fornecimento, composição, transporte e dispersão do material em suspensão. Contudo, estas alterações e os seus efeitos adversos são

de interesse científico geral e um importante estímulo para a continuação dos estudos da MPS.

Estes estudos futuramente deverão compreender a utilização:

- de satélites, que permitem visualizar os movimentos horizontais de massas de água superficiais em vastas zonas e determinar a posição relativa das plumas túrbidas dos rios, relacionando-as com os factores hidrodinâmicos;
- de técnicas de medição *in-situ* (na coluna de água) de gradientes de velocidade, turbulência, gradientes de concentração, dimensão das partículas, velocidades de queda das partículas, que estão actualmente disponíveis e são necessárias para validação dos modelos de transporte de MPS;
- de modelos numéricos de transporte de MPS, validados por dados de campo, que possibilitam uma previsão das condições dos sistemas (estuário, plataforma) em diversas situações;

A utilização integrada destes dados aplicadas à região em estudo vão permitir o conhecimento global do meio natural e os processos que o controlam, oferecendo assim uma ferramenta para a gestão integrada e responsável do ambiente de plataforma continental e estuários.

O estudo da dispersão das águas estuarinas e da dinâmica da MPS na plataforma associa-se ao estudo da circulação a longo termo das massas de água. Infelizmente, na plataforma portuguesa, e especificamente na plataforma norte não existem séries contínuas longas de medições de correntes nem estações de monitorização multi-parâmetros (temperatura, salinidade, turbidez, correntes, ondas) que iriam certamente melhorar o conhecimento oceanográfico desta região.

Outros estudos específicos são:

- realizar uma estimativa de balanços sedimentares nos estuários, principalmente durante cheias. Noutras regiões, verificou-se que durante cheias a concentração dos sedimentos pode aumentar 40 a 50 vezes e a descarga dos sedimentos é equivalente a 30 ou 50 anos de fornecimento normal (Eisma, 1993).
- Estudar o efeito conjunto dos temporais e das cheias no fluxo geral de sedimentos na plataforma continental.
- Implementar o estudo da MPS nos canhões submarinos e ao longo da vertente continental.

- Contemplar este tipo de estudos noutras regiões da plataforma utilizando as técnicas usadas nesta tese e outras mais inovadoras.