

### 1.2. Campanha CORVET (Outono, 1996)

Neste cruzeiro foram ocupadas 94 estações, distribuídas pela plataforma continental Oeste Portuguesa. Na 1ª parte do cruzeiro, que decorreu entre 2 e 9 de Novembro, foi realizado um estudo regional, com três secções longas (fig.IV-9): uma, de direcção N-S ao longo do meridiano 12°W, com 10 estações; e duas perpendiculares à batimetria, a primeira entre o cabo de S. Vicente e o Banco de Gorringe (19 estações) e a segunda ao longo do meridiano 41°30' (11 estações). Na 2ª parte do cruzeiro (17-22 de Novembro) foi conduzido um estudo local na região a norte do paralelo 41°N, na qual se ocuparam cerca de 54 estações distribuídas por 7 secções (Fig. V-21). Esta parte do cruzeiro foi conduzida de norte para sul, tendo sido interrompida por um período de temporal de 2 dias (19-20 de Novembro), que alterou as condições oceanográficas prevalentes.

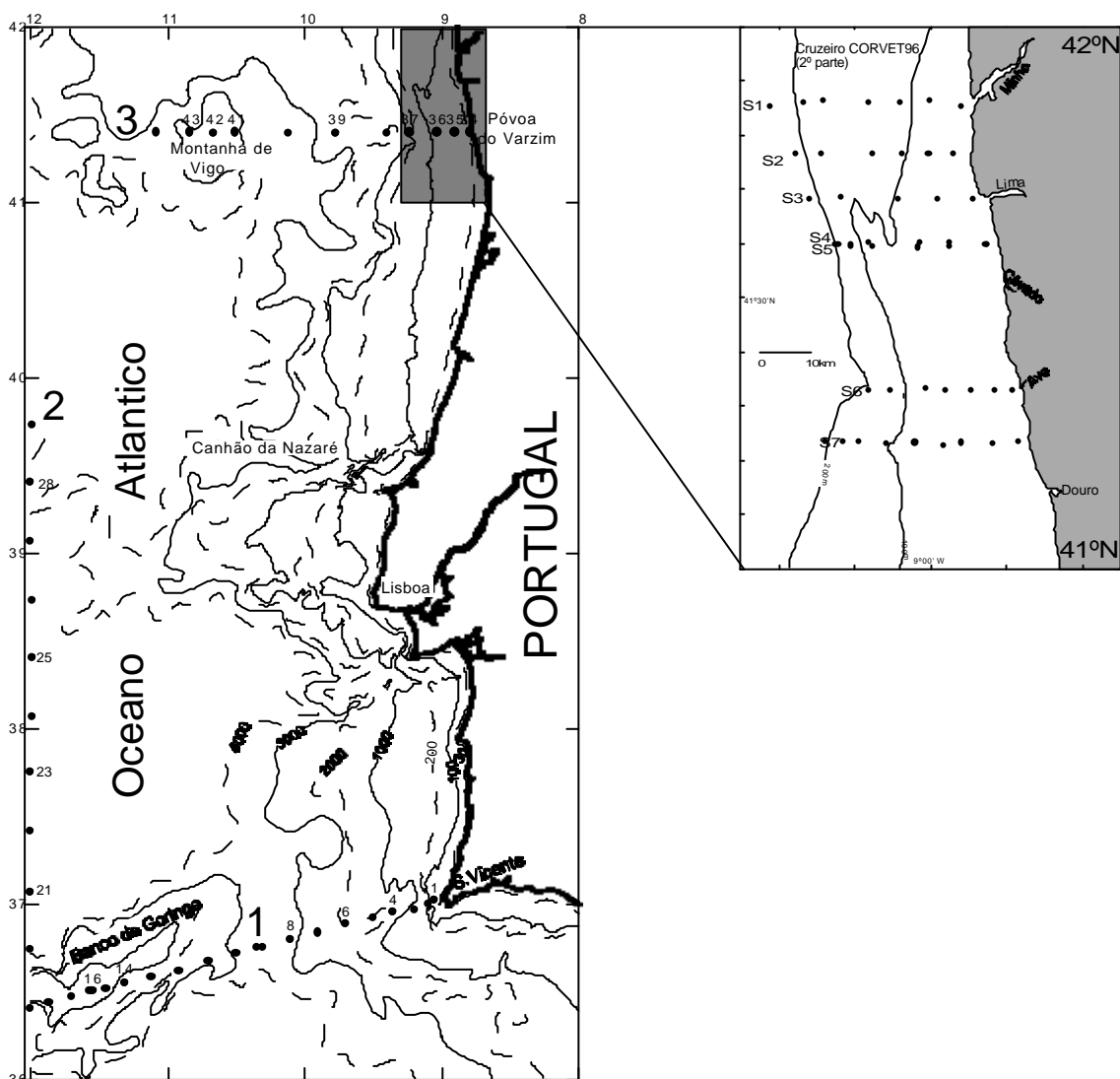


Figura IV-9. Mapa das estações hidrológicas ocupadas durante o cruzeiro CORVET96; 1ª parte com 40 estações distribuídas por 3 secções longas e 2ª parte com 54 estações localizadas na região em estudo.

### 1.2.1. Dados hidrológicos

No início do Outono de 1996, os caudais fluviais eram baixos, reflexo de quatro anos de seca e de um Verão quente e seco. Contudo, durante o decorrer do cruzeiro (2ª parte), ocorreram variações significativas do débito fluvial dos rios, devido às condições meteorológicas prevalentes. Os rios Douro e Minho foram os que apresentaram variações mais significativas, com valores de caudal de cerca de 99 m<sup>3</sup>/s e 131m<sup>3</sup>/s, no início, passando para 756 m<sup>3</sup>/s (Est. Crestuma-Lever) e 934 m<sup>3</sup>/s (Est. Foz do Mouro), no final do cruzeiro.

Durante este período, os rios Lima e Cávado, com maior controlo das barragens, apresentaram poucas variações, mantendo os caudais baixos. Para estes rios, os valores de caudal médio foram de 22m<sup>3</sup>/s (Est. Touvedo) e 42 m<sup>3</sup>/s (Est. Caniçada), respectivamente (Fig. IV-10).

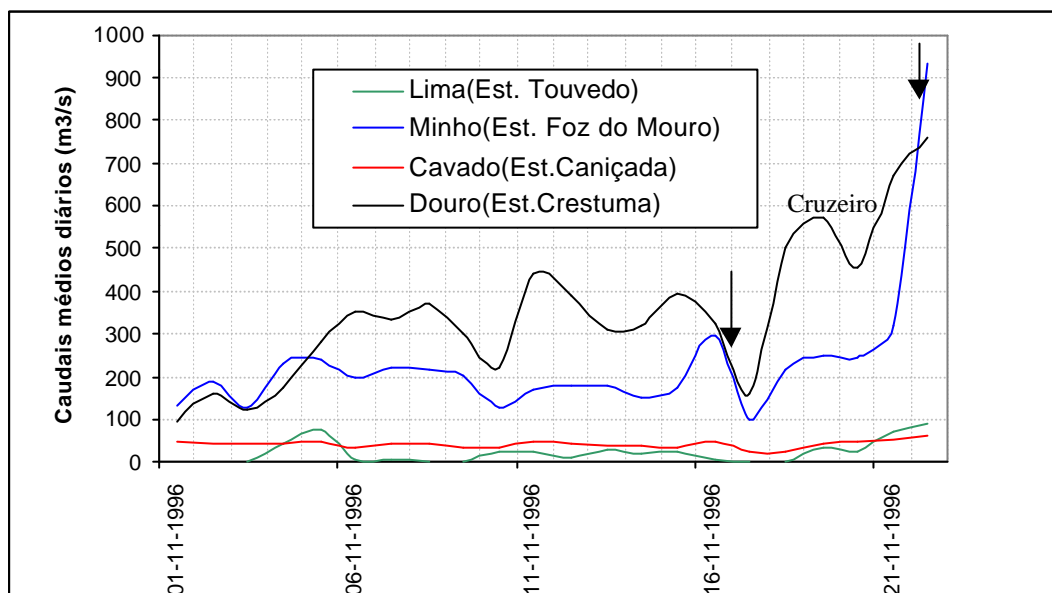


Figura IV-10. Caudais dos principais rios minhotos, para o período anterior ao cruzeiro e período da campanha CORVET 96 (fonte: CPPE).

A segunda parte do cruzeiro foi iniciada em período de marés mortas (3 primeiros dias), tendo sido maioritariamente realizada em marés vivas (9-16 de Novembro), com diferença máxima de altura entre maré cheia e vazia de 2,8m (11 de Novembro, Lua Nova).

### 1.2.2. Dados climáticos

O cruzeiro desenrolou-se com tempo instável, com a passagem de várias depressões a norte da Península Ibérica. Estas depressões, vindas de Oeste, provocaram mau tempo, com ondulação superior a 4m, ventos fortes e precipitações elevadas. Contudo, o anticiclone dos Açores persistiu a latitudes altas até à primeira semana de Novembro, prevalecendo, até essa altura, as condições de upwelling, com ventos de norte.

O primeiro temporal ocorreu a 11 de Novembro, quando uma baixa pressão passou acima da Península Ibérica e o segundo uma semana depois, a 19 de Novembro, quando um núcleo de baixas pressões se movia através do Golfo da Biscaia. Em ambos se registaram alturas significativas de ondas superiores a 6m e altura da onda máxima acima dos 10m. O período médio foi superior a 14s e 12 s, respectivamente (Vitorino, 1998). O vento era forte de SW (velocidade superior a 10 m/s), promovendo um regime de downwelling na plataforma norte portuguesa. Nos restantes dias do cruzeiro, a altura da onda variou entre 1,5-3m de NNW-NW com vento de NW, soprando por vezes forte de SW.

### *1.2.3. Diagrama TS de superfície*

Na área em estudo estavam presentes à superfície três massas de água (Fig. IV-11):

- I. uma massa de água estuarina fria ( $T < 14^{\circ}\text{C}$ ) e menos salina ( $S < 32$ ), representada apenas por uma estação, feita após o temporal de 19 de Novembro. Localizava-se a norte da desembocadura do rio Douro;
- II. uma massa de água costeira fria ( $13,7^{\circ}\text{C} < T < 14,2^{\circ}\text{C}$ ), mais salgada ( $34,8 < S < 35,5$ ), localizada, antes do temporal de 19 de Novembro, na plataforma interna e média. Depois do temporal, limitava-se à plataforma interna.
- III. uma massa de água com características marinhas ( $S > 35,5$ ) e com temperaturas variáveis ( $13,7^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}$ ), que ocupava quase toda a plataforma, após o temporal .

### *1.2.4. Diagrama TS de fundo*

No fundo observava-se também três massas de água:

- IV. uma massa de água costeira que apresenta temperatura baixa ( $13,5-14^{\circ}\text{C}$ ) e salinidade inferior a 35,7
- V. água central do Atlântico Norte, ramo subtropical ( $T > 13^{\circ}\text{C}$ ), que cobre o resto da plataforma;
- VI. massa de água do bordo da plataforma, mais fria, que incorpora Água Central do Atlântico Norte, modificada devido à interacção com outras massas de água.

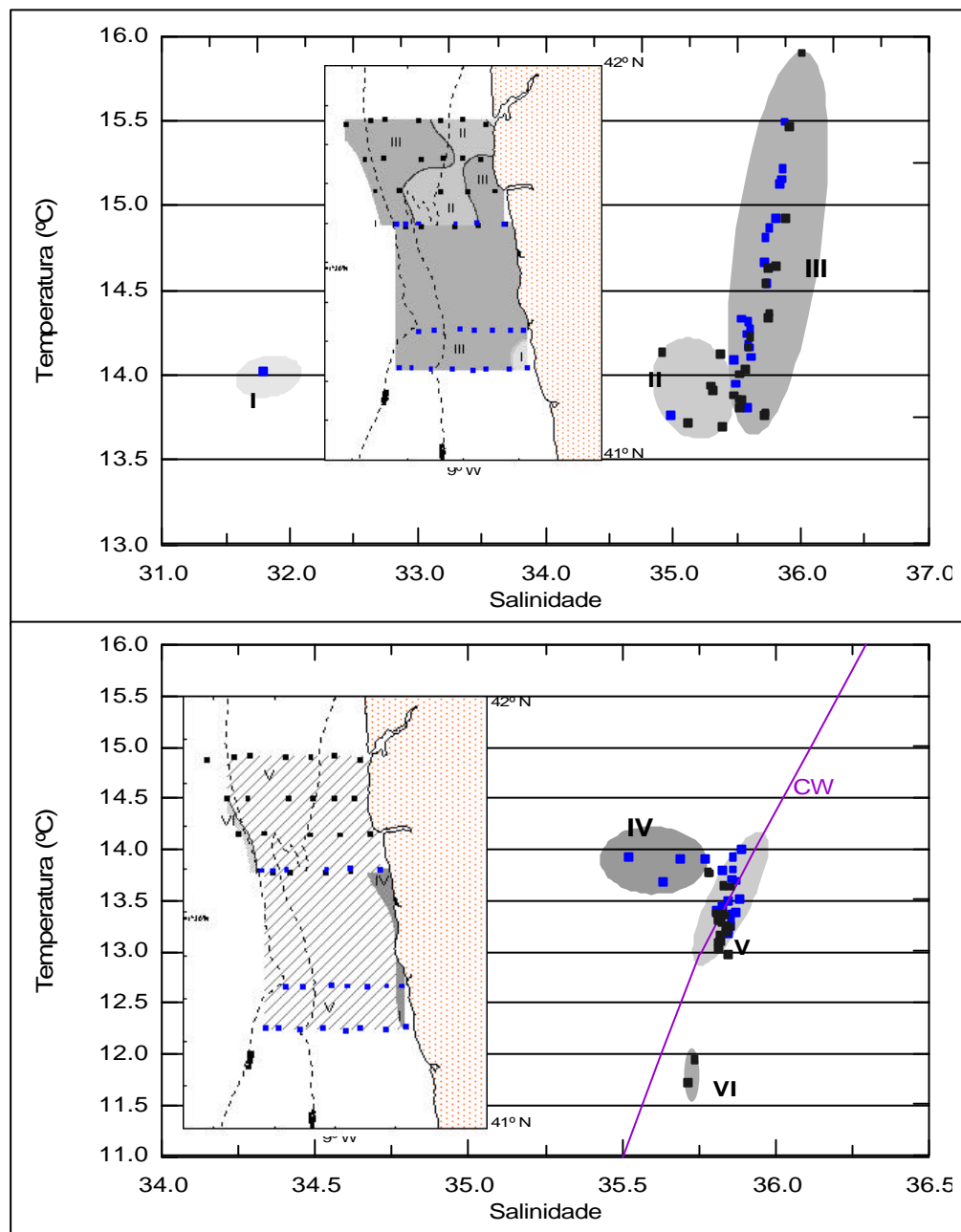


Figura IV-11. Diagramas TS para as águas superficiais (5m) e perto do fundo, para o cruzeiro CORVET96. Na fig. B, esta representada a linha de TS da água Central do Atlântico Norte (CW). I,II,III, IV, V e VI representam as massas de água referidas no texto.

### 1.2.5. Gradiente de salinidade de superfície

Esta campanha de mar foi interrompida por um temporal (19 de Novembro) que alterou completamente as condições oceanográficas prevaletentes e permitiu realizar a mesma secção em situação contrastada (secção 4 e 5). Assim, o mapa de distribuição da salinidade apresenta uma estrutura salina complexa e uma descontinuidade provocada por este episódio mais energético (fig. IV-12).

Antes do temporal prevalecia a situação de upwelling, com as plumas dos rios a expandirem-se pela plataforma média. Os valores mais baixos de salinidade estavam relacionados com a desembocadura do rio Minho. De salientar, nas secções 3 e 4, os baixos valores de salinidade ( $S < 35,5$ ) encontrados sobre a plataforma média, os quais poderão ter origem no estuário do rio Douro.

Com o temporal, passou-se para uma situação de downwelling, provocada pelos ventos fortes de SW que empurraram a água superficial para a costa. As ondas com alturas médias superiores a 6m promoveram a mistura e homogeneização da coluna de água. As duas secções realizadas apenas permitiram a identificação da pluma do Douro, muito restringida à plataforma interna e a norte da desembocadura deste rio. As águas oceânicas, com valores de salinidade muito homogêneos, ocupavam praticamente toda a plataforma.

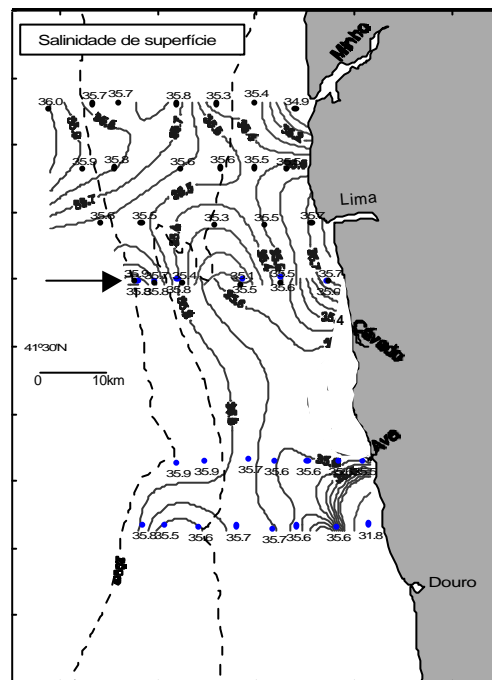


Figura IV-12. Distribuição horizontal da salinidade à superfície. Na figura observam-se dois domínios, um antes e outro depois do temporal de 19 de Novembro de 1996, assinalados pela seta a negro.

#### 1.2.6. Perfis E-W de salinidade

Antes do temporal, a secção 1 revela a existência de uma pluma superficial dessalinizada do rio Minho, com uma extensão de cerca de 18 km e uma profundidade que varia entre os 7m (junto à costa) e os 36m, ou seja, existia uma estrutura halina típica, com salinidades mais baixas perto da desembocadura do rio, aumentando para o largo (Fig. IV-25). Contudo, tal

Cruzeiro CORVET 96  
Salinidade  
Novembro 96

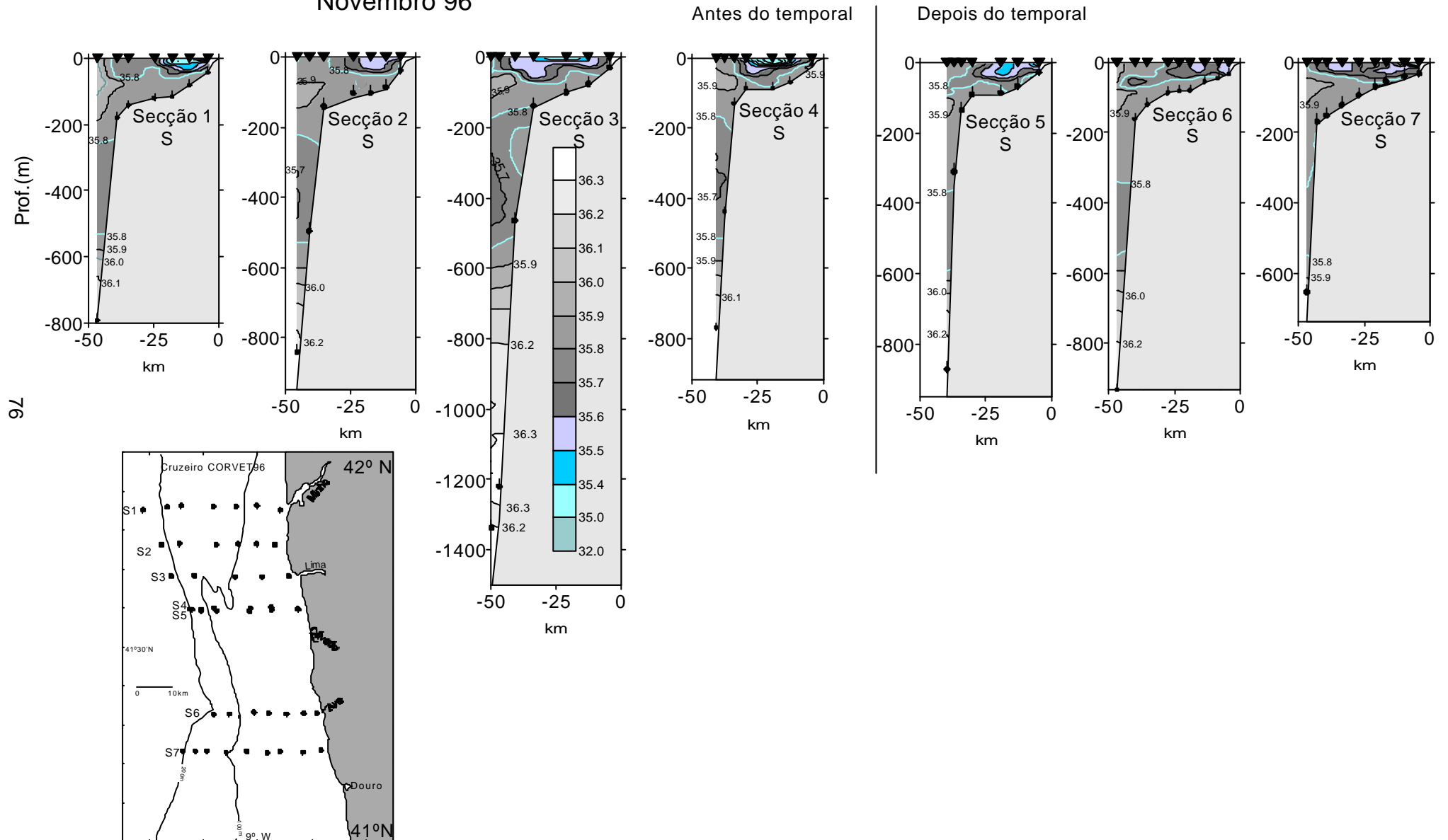


Figura V-16. Seções E-W de salinidade, realizadas durante o cruzeiro CORVET96

não se verifica nas secções 2, 3 e 4, onde as áreas menos salinas se encontravam na plataforma média, longe da desembocadura dos rios resultantes, provavelmente, de ciclos de marés anteriores e afastadas da costa pelos ventos de N-NW (resultantes do período de upwelling verificado anteriormente). Na secção 3, a área com salinidade inferior a 35,5 encontrava-se a mais de 20km da costa, ocupando os primeiros 13m da coluna de água. Na secção 4, esta massa de água desenvolvia-se entre os 19km e os 30 km da costa, ocupando os primeiros 23m da coluna de água.

Depois do temporal, a secção 5 mostra uma maior homogeneização da coluna de água. Junto à costa, detecta-se a presença de uma pequena pluma superficial dessalinizada, provocada pelo aumento do caudal dos rios da região (Cávado e Lima), nitidamente separada da massa de água menos salina da plataforma média, agora menos estratificada.

As secções 6 e 7 apresentam baixa estratificação salina, embora na última secção realizada seja possível individualizar a pluma do rio Douro, muito limitada à plataforma interna (5 km da costa) e ocupando os 14m superficiais da coluna de água.

#### *1.2.7. Gradiente de Temperatura*

Antes do temporal, a distribuição da temperatura à superfície (fig. IV-14) permite assinalar a ocorrência de águas com temperaturas ligeiramente inferiores a 14°C, na plataforma interna e média. No entanto, as temperaturas na imediação da desembocadura do rio Minho eram superiores ( $T=14,1^{\circ}\text{C}$ ), mostrando que as águas dos rios ainda não tinham atingido as temperaturas características do período de Inverno ( $T<12,5^{\circ}\text{C}$ ), verificadas no cruzeiro CLIMA97. A imagem de satélite, da semana de 3 a 9 de Novembro mostra que existia junto à costa uma massa de água mais fria, com temperaturas entre 13 e 14°C, resultante da mistura das águas dos rios da região com a massa de água oceânica, mais quente ( $T>14^{\circ}\text{C}$ ), mas também ao fenómeno de upwelling que traz para a superfície águas com esta temperatura (Fiúza, 1982).

Após o temporal, as águas oceânicas encontravam-se mais perto da costa, com a isolinha dos 14°C a deslocar-se cerca de 15 km da posição anterior. Contudo, a imagem de satélite (10-16 Novembro), que resulta da composição da temperatura superficial das águas durante 6 dias, mostra o aumento de importância da massa de água costeira fria durante este período, como resultado do aumento do caudal dos rios.

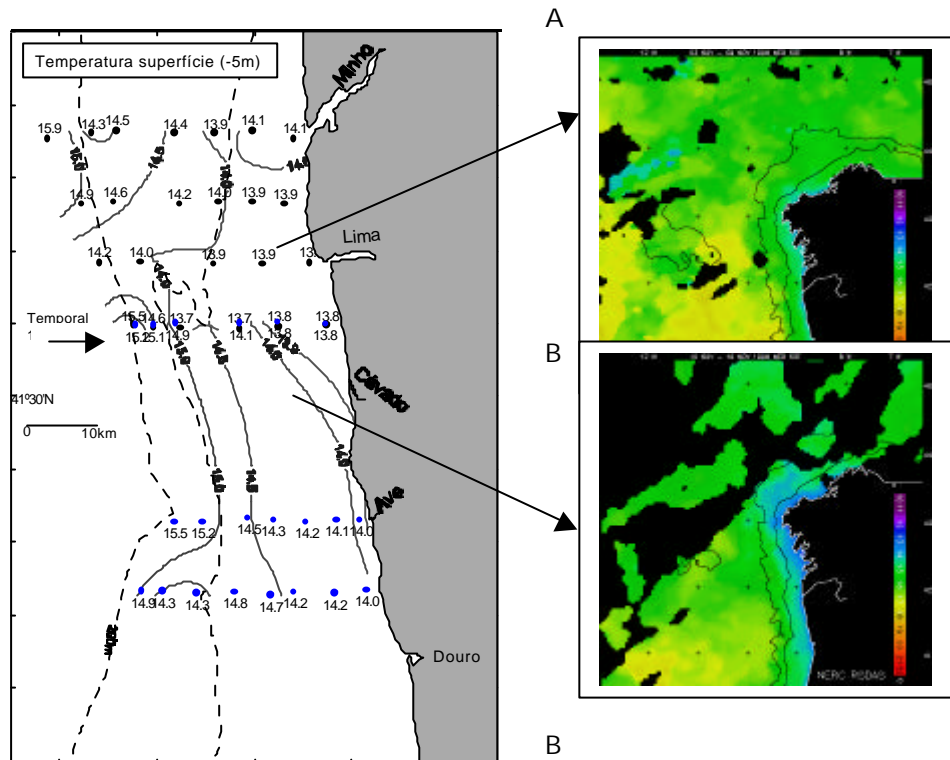


Figura IV-14. Carta de temperatura superficial da campanha CORVET96: A- Temperatura obtida por imagem de satélite do período de 3-9 Novembro de 1996; B- Temperatura obtida por imagem de satélite do período de 10-16 Novembro de 1996 (imagens cedidas gentilmente pelo Remote Sensing Data Analysis Service of the Plymouth Marine Laboratory). Na figura observam-se dois domínios, um antes e outro depois do temporal de 19 de Novembro de 1996, separados pela seta a negro.

1.2.8. Perfis E-W de temperatura

A coluna de água sobre a plataforma interna e média é muito homogénea do ponto de vista térmico, apresentando valores inferiores a 14°C. Nas estações mais externas a camada de mistura pode atingir os 40m de profundidade (fig. IV-15).

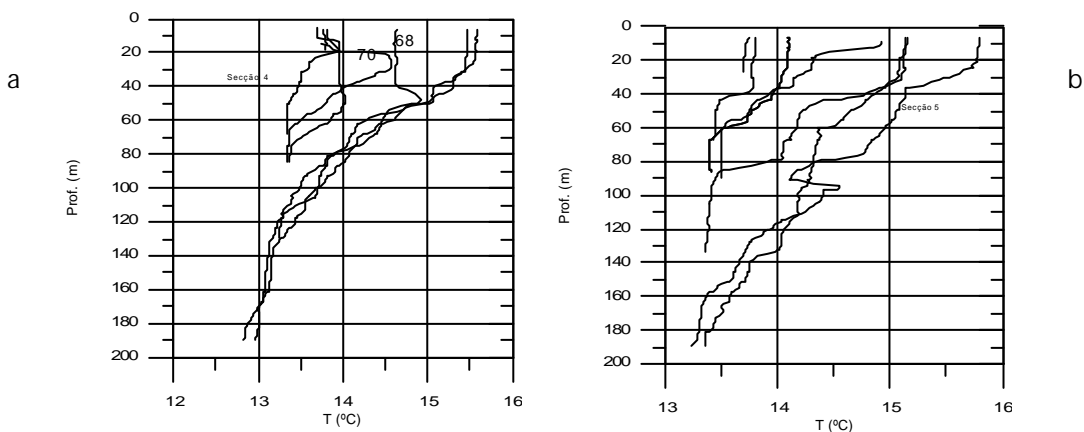


Figura IV-15. Perfis verticais de temperatura; a) antes do temporal (secção 4) e b) depois do temporal de 19 de Novembro (secção 5).



À medida que nos afastamos da costa, as temperaturas aumentam, principalmente depois do temporal, com o empurrar de águas oceânicas mais quentes ( $T > 15^\circ\text{C}$ ) para a vertente continental superior e plataforma externa (fig. IV-16).

#### 1.2.9. Gradiente de densidade

A carta de distribuição da densidade de superfície é muito semelhante ao mapa de distribuição da salinidade. Antes do temporal, os valores mínimos de densidade estão ligados à desembocadura do rio Minho, existindo na plataforma média (secção 3 e 4) áreas com densidade inferior a 26,5. Após o temporal estas áreas atenuam-se, individualizando-se as plumas de baixa densidade associadas aos rios Lima, Cávado e Douro (fig. IV-17).

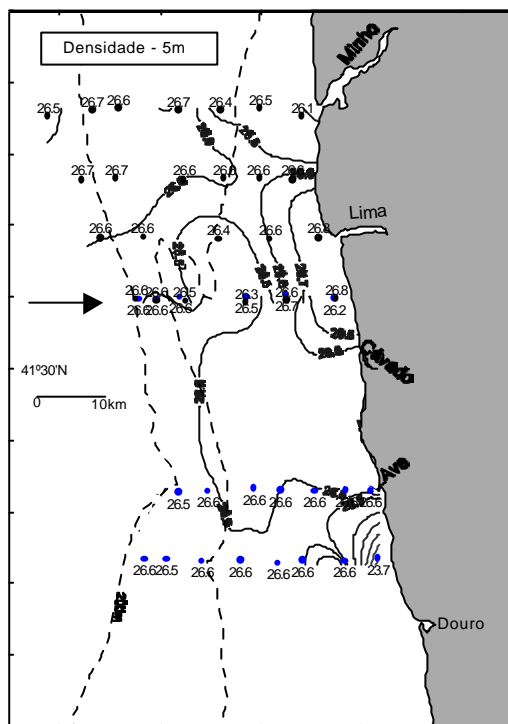


Figura IV-17. Carta de densidade superficial da campanha CORVET96 (Novembro de 1996). Na figura observam-se dois domínios, um antes e outro depois do temporal de 19 de Novembro de 1996, assinalados pela seta a negro.

#### 1.2.10. Perfis E-W de densidade

Estes perfis mostram que a coluna de água se encontrava mais estratificada antes do temporal (secção 1,3 e 4). Após este evento, os primeiros 30 a 35m da coluna de água na plataforma média encontravam-se homogêneos. Junto à costa, observou-se alguma estratificação relacionada com o abaixamento da salinidade das plumas dos rios (secção 5 e 7), que tendia a desaparecer com o aumento da profundidade (fig. IV-18).

Cruzeiro CORVET 96  
 Densidade  
 Novembro 96

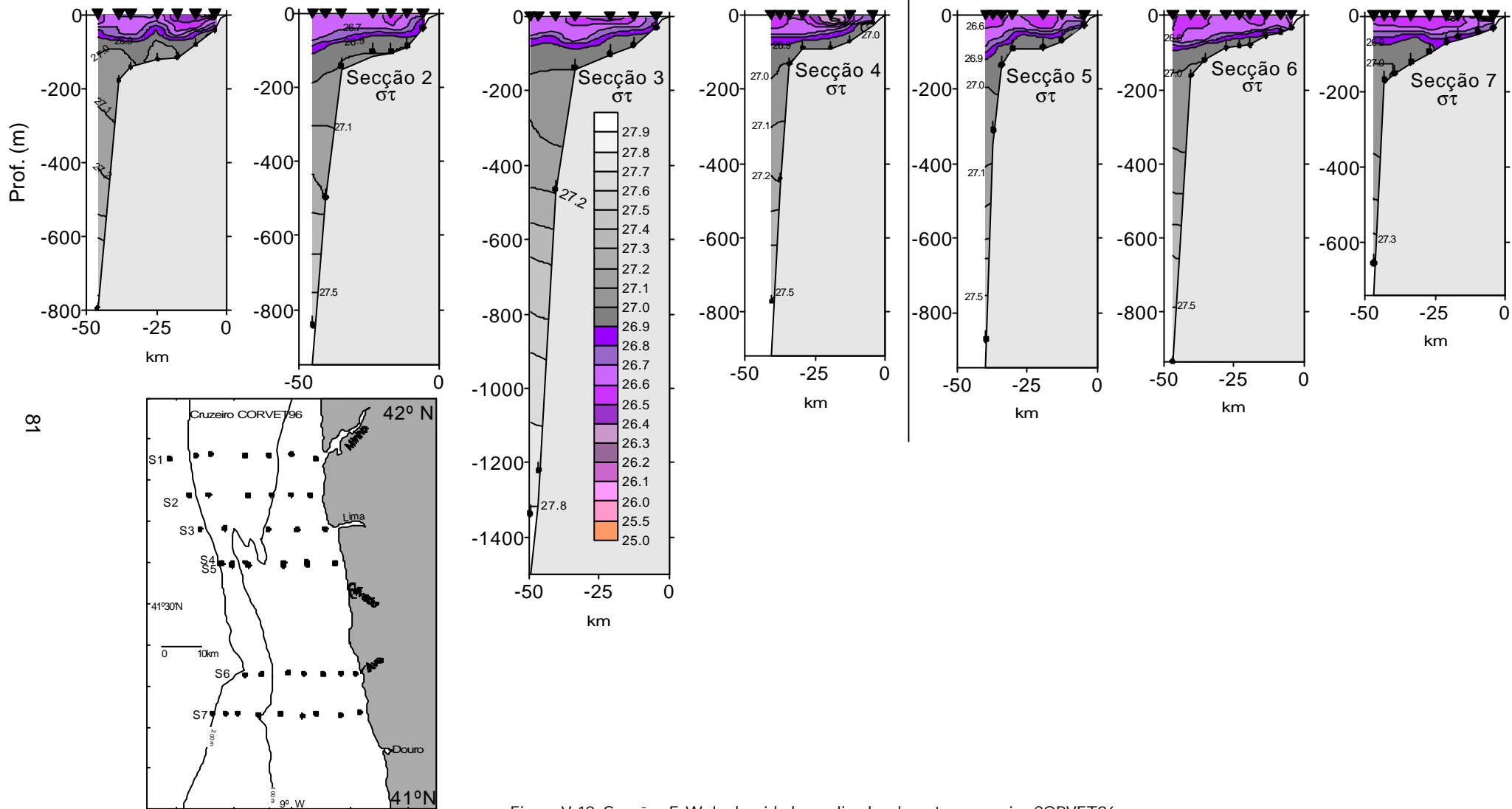


Figura V-18. Seções E-W de densidade, realizadas durante o cruzeiro CORVET96

### 1.2.11. Gradiente de turbidez de superfície e de fundo

Antes do temporal a turbidez era, de modo geral, baixa à superfície, com os valores a diminuírem gradualmente da costa para a plataforma média e externa (fig. IV-19). O valor mais elevado (0,93 FTU) encontrava-se perto da desembocadura do rio Lima. Após o temporal a turbidez aumentou ligeiramente perto da costa para valores de 1,66 FTU, mas com as isolinhas dos 0,5, 0,3 e 0,1 a deslocarem-se para Este.

Junto ao fundo, as alterações foram mais significativas. Antes do temporal, o valor mais elevado de turbidez encontrava-se perto da desembocadura do rio Lima (5,98 FTU), com a isolinha dos 1 FTU a aproximadamente 10 km da costa. Após o temporal as isolinhas deslocaram-se para oeste, com a isolinha dos 1 FTU a afastar-se para aproximadamente 20km da costa. O valor mais alto de turbidez (15,2 FTU) verificou-se a norte do rio Douro.

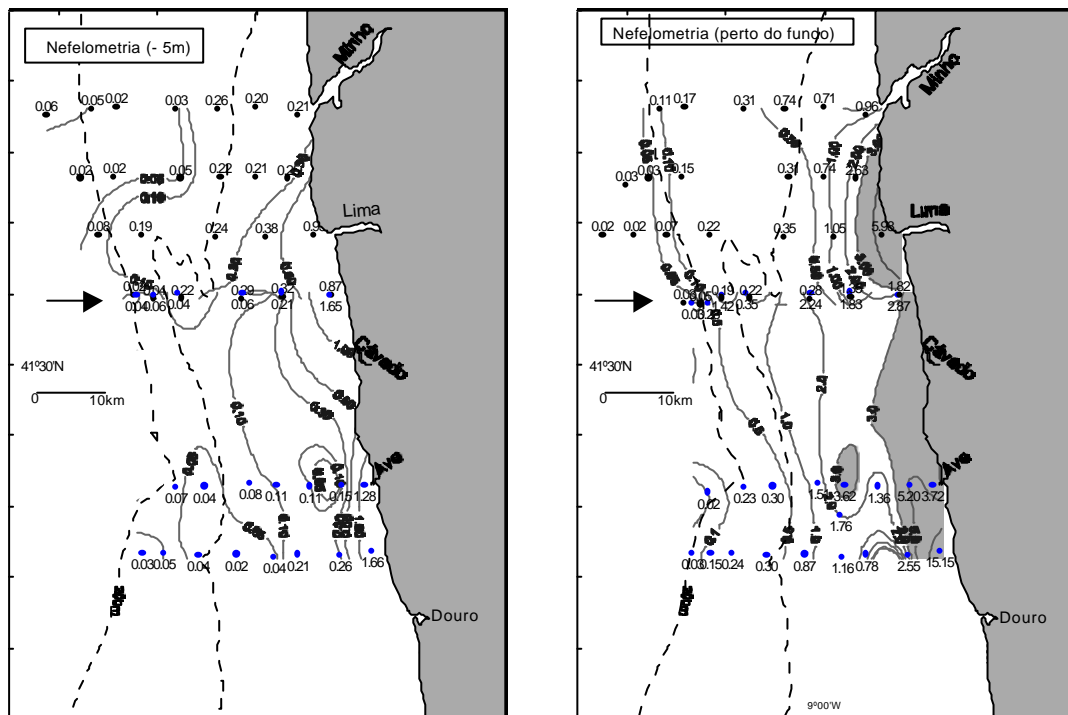


Figura IV-19. Carta de turbidez superficial e junto ao fundo da campanha CORVET96 (Novembro, 1996). Na figura observam-se dois domínios, um antes e outro depois do temporal de 19 de Novembro de 1996, assinalados pela seta a negro.

### 1.2.12. Perfis E-W de turbidez

A passagem do temporal de 19 de Novembro encontra-se bem expressa pelo comportamento dos nefelóides e valores de turbidez encontrados (fig. IV-20). Na secção 1, existe um nefelóide de fundo que se estende por toda a plataforma continental e um nefelóide de superfície, menos importante, mas que se estende por aproximadamente 18 km.



Os valores de turbidez são mais elevados na estação mais próxima da costa, diminuindo à medida que a profundidade aumenta.

Nas secções 2, 3 e 4 estão também bem visíveis estas duas camadas nefelóides, mas com aumento gradual de importância, tanto em dimensão (a CNS atinge o bordo da plataforma) como em valores de turbidez. A realização da mesma secção antes e depois do temporal (secção 4 e 5) permitiu avaliar o efeito deste nos perfis de nefelometria (Fig. V-21). Antes do temporal eram bem nítidas as duas camadas nefelóides separadas por águas mais lípidas (<0.1 FTU), apresentando a CNF uma espessura média de 30m e ocupando a CNS os primeiros 10-17m da coluna de água. Após o temporal a CNS desaparece, dando lugar a uma camada de mistura com espessura máxima de cerca de 40m, sendo a CNF mais espessa (30-50m) e com empolamentos locais sobre a plataforma média que possibilitam a formação de CNI sobre o bordo da plataforma.

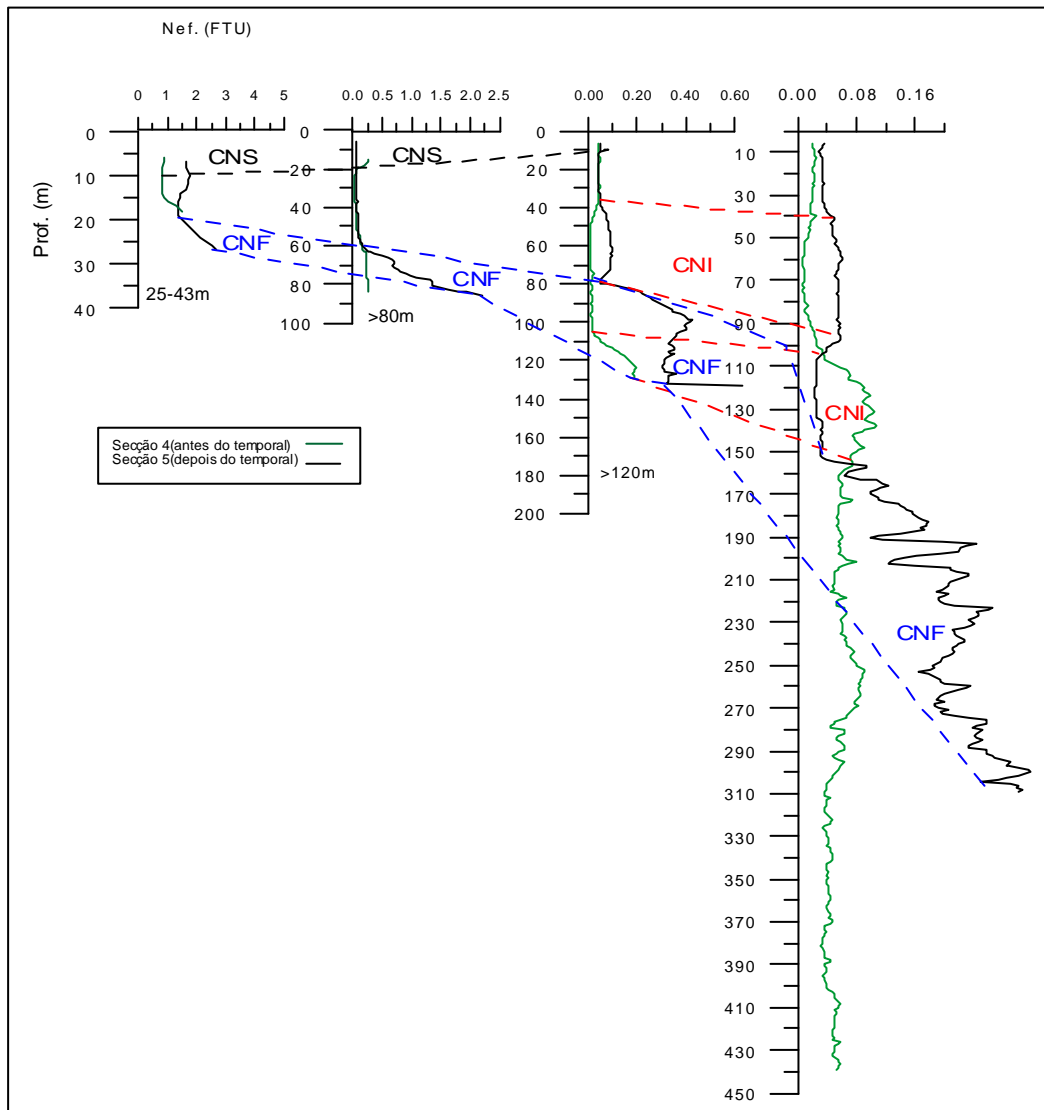


Figura IV-21. Perfis verticais de nefelometria realizados antes e depois do temporal. Batimetria dos 25-43m, 80-90m, 120-150m e bordo da plataforma (>160m). Delimitação das CNS, CNF e CNI.

### *1.2.13. Interpretação das condições hidrológicas e de circulação*

O cruzeiro CORVET 96 correspondeu a um período de transição entre uma situação de Verão, onde prevalece o fenómeno de upwelling, para uma situação de Inverno, onde dominam os temporais. Foi realizado após um mês, durante o qual o anticiclone dos Açores persistiu a latitudes altas, prevalecendo até essa altura os ventos de norte que induzem um regime de upwelling na plataforma continental norte portuguesa. Estas condições são expressas por uma diminuição da temperatura das águas, com a presença na plataforma média de um jacto equatorial. Durante o decorrer do cruzeiro, a passagem de um temporal (19 de Novembro) com ventos fortes de S-SW (velocidade acima de 10 m/s), provocou a alteração desta situação e promoveu um regime de downwelling na plataforma continental norte portuguesa. As situações meteorológicas distintas possibilitaram a realização de uma secção antes e depois do temporal. Antes do temporal, o aspecto mais importante era a presença de uma região de baixa salinidade junto à costa. A coluna de água exibia uma estratificação vertical salina, principalmente perto da costa (rio Minho), confinada aos primeiros 20-30m, e em algumas bolsas isoladas existentes na plataforma média.

Esta estratificação foi parcialmente destruída com a passagem do temporal (ondas com altura significativa de 6m), ficando limitada à plataforma interna (rio Douro). Do ponto de vista térmico, a camada de mistura atingia os 40m de profundidade. A velocidade de corte das ondas calculada por Vitorino (2001) era superior a 3.5 cm/s. Em resposta às condições de downwelling, as águas oceânicas de temperatura superior penetram na plataforma, pelos níveis superiores da coluna de água. Perto do fundo, o fluxo era para fora da plataforma, com orientação N-NW (Vitorino, 2001).

Os caudais verificados nas semanas anteriores à amostragem e no decorrer do cruzeiro foram relativamente fracos, ocasionado reduzida expulsão de sedimentos estuarinos para a plataforma. Contudo, o nefelóide de superfície e, em particular, o de fundo, eram extremamente importantes, sofrendo uma evolução na sua distribuição e comportamento, no decurso do cruzeiro.

O temporal provocou na CNF a ocorrência de máximos localizados sobre o complexo silto-argiloso do Douro na plataforma média a externa, sinal de uma provável resuspensão das partículas sedimentares. Esta resuspensão de material sedimentar é importante para a alimentação de CNI que se formam no bordo da plataforma.