

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente

**CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA DA COSTA SUL
PORTUGUESA**

Sara Isabel Fernandes Cardeira

**Tese de Mestrado orientada pela Professora Doutora Alexandra Cravo e
co-orientada pelo Professor Doutor Paulo Relvas**

TESE DE MESTRADO EM OCEANOGRAFIA

Faro, 2007



O conteúdo desta tese é da exclusiva responsabilidade da autora:

Sara Isabel Fernandes Cardeira

20 06 08 76150
551.46
Cae x Cae

1/31

I. ABSTRACT

In this study an oceanographic characterisation of the region of the Portuguese south coast was carried out during the oceanographic cruise that took place between the 1st and the 5th of October 2006, in the sub superficial layer of the ocean (until 250m). In this cruise it was analysed three sections/ transects: i) in front of the mouth of the Guadiana river, ii) in front of Portimão and iii) in front of Sagres. During this period, the discharges of the rivers Guadiana and Arade did not seem to influence the hydrography of the studied region. During the cruise, northerly winds were dominant despite some changes in direction and intensity. The coastal upwelling process was evident at the coastal stations, characterised by colder and less salty waters as well as a water mass coming from the Cadiz Gulf at the more oceanic stations, characterised by higher values of temperature and salinity particularly in the Guadiana river and Sagres sections.

At these three sections it was made a hydrographic (thermo-haline) and chemical characterisation regarding the concentration of: chlorophyll *a*, dissolved oxygen, nutrients (nitrates, phosphates and silicates). The maximal values of chlorophyll *a* concentrations (1.2 to 3.1 $\mu\text{g l}^{-1}$) may be considered high for this period of the year, particularly at the Portimão transect. As a consequence, despite the prevalence of the coastal upwelling, in this area the nutrients concentrations were low. In the offshore waters, identified as proceeding from the Cadiz Gulf, the concentrations of chlorophyll *a* and of nutrients were low, typical of waters of low biological productivity. So, the data revealed that waters under influence of coastal upwelling are more productive than those proceeding from the Cadiz Gulf.

With this work it is possible to conclude that the sub superficial layer is strongly affected by the physical stress induced by wind. The wind stress strongly affects the dynamics of this system and consequently the hydrographical, chemical and biological characteristics, which may be highly changeable in space and time.

Key-words: coastal upwelling, chlorophyll *a*, dissolved oxygen, AOU, nutrients, N:P ratio, Si:N ratio.

II. RESUMO

Foi feita uma caracterização oceanográfica da região da costa sul Portuguesa durante o cruzeiro oceanográfico decorrido de 1 a 5 de Outubro de 2006, na camada subsuperficial do oceano (até aos 250 m). Neste cruzeiro foram analisados três secções/transectos, frente à foz do rio Guadiana, a Portimão e a Sagres. Durante este período, o escoamento dos rios não pareceu ter influência da hidrografia da região estudada e houve predominância dos ventos de norte apesar de alguma alteração do regime e intensidade de ventos. Assim, foi observada a ocorrência do fenómeno de afloramento junto à costa, caracterizado por águas mais frias e menos salinas e a presença de uma massa de água proveniente do Golfo de Cádiz, nas estações mais ao largo, particularmente nas secções Guadiana e Sagres, com características de temperatura e salinidade mais elevadas.

Nas três secções estudadas foi feita a caracterização hidrográfica (termo-halina) e química relativa às concentrações de: clorofila *a*, oxigénio dissolvido, nutrientes (nitratos, fosfatos e silicatos). Os valores máximos de concentrações clorofila *a* nos três transectos (1,2 a 3,1 $\mu\text{g l}^{-1}$) podem considerar-se elevados para a época do ano e foram observados na zona mais costeira e particularmente no transecto Portimão. Como consequência, nesta zona, as concentrações de nutrientes foram baixas, apesar da prevalência do afloramento costeiro. Nas águas ao largo, identificadas como provenientes do Golfo de Cádiz, as concentrações quer de clorofila *a* quer de nutrientes foram baixas, típicas de águas de baixa produtividade biológica. Assim, pode-se concluir que as águas de afloramento costeiro são águas produtivas, o que já não acontece nas provenientes do Golfo de Cádiz.

A partir deste trabalho pode inferir-se que a camada subsuperficial é fortemente afectada pelo forçamento físico associado ao vento. O regime de ventos condiciona a dinâmica deste sistema e por consequência as características hidrográficas, químicas e biológicas, que podem ser assim altamente variáveis no espaço e no tempo.

Palavras-chave: Afloramento costeiro, clorofila *a*, oxigénio dissolvido, AOU, nutrientes, razão N:P, razão Si:N.

III. AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Alexandra Cravo, orientadora deste trabalho, pelo apoio e auxílio prestado, disponibilidade e dedicação durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Paulo Relvas, co-orientador deste trabalho, pelo apoio prestado durante o decorrer deste trabalho.

Ao CIMA (Centro de Investigação Marinha e Ambiental), pela minha participação no cruzeiro (CIMA-Cruzeiro 2006) e por terem colocado à minha disposição os dados para a elaboração desta tese.

Ao técnico Superior de 1ª Miguel Madureira pela ajuda na elaboração da preparação da campanha.

À Técnica Superior Acessora Filomena Rita pelo companheirismo e condições laboratoriais proporcionadas durante a análise das amostras.

À Mónica pela ajuda prestada nas análises laboratoriais.

Aos meus familiares, os quais adoro muito, e sem eles esta tese não teria sido possível.

A todos os amigos, onde se inclui o PENTÁGONO, que tiveram um contributo muito importante, pela força e apoio.

À tripulação do NRP D.CARLOS I, pela oportunidade do embarque bem como pelo profissionalismo que demonstrou na interacção de trabalho com a equipa CIMA.

IV. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Conceito da Linha Teórica de Diluição.....	3
Figura 2 – As maiores regiões mundiais de afloramento costeiro, adaptado de Mann & Lazier (1996).	4
Figura 3 – Espiral de Ekman. Adaptado de Open University, (1989).	5
Figura 4 – Localização Geográfica da área de estudo.	11
Figura 5 – Posicionamento das estações de amostragem e identificação das três secções/transectos em estudo.	13
Figura 6 – Caudais Médios diários dos rios Guadiana e Arade, entre 1 - 5 de Outubro de 2006. Fonte: SNIRH, INAG.	21
Figura 7 – Precipitação diária nas estações meteorológicas de Alcoutim e Santa Iria (Rio Guadiana), da Barragem do Arade (Rio Arade). Fonte: SNIRH, INAG.	21
Figura 8 – a) Imagem de satélite da temperatura da superficial da água do mar, do dia 5 de Outubro de 2006, Fonte: CERSAT Data Center - IFREMER, b) Imagem de Satélite do vector do vento no oceano, do dia 3 de Outubro de 2006, Fonte PO.DAAC OceanESIP Tool (POET).	22
Figura 9 – Representação da temperatura (°C), nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	24
Figura 10 – Representação da salinidade, nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	25
Figura 11 – Representação da concentração de clorofila a ($\mu\text{g l}^{-1}$), nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	27
Figura 12 – representação da concentração de feopigmentos ($\mu\text{g l}^{-1}$), nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	28
Figura 13 -Representação da percentagem de degradação de clorofila a , nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	29
Figura 14 – Representação da concentração de oxigénio dissolvido (mg l^{-1}), nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	29
Figura 15 – Representação da percentagem de saturação de oxigénio (% saturação O_2), nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	30
Figura 16 – Representação da concentração de nitratos (μM) nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	32

Figura 17 – Representação da concentração de fosfatos (μM) nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	33
Figura 18 – Representação razão Azoto/Fósforo (N:P) nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	34
Figura 19 – Representação da concentração de silicatos (μM) nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	35
Figura 20 – Representação da razão Silício/Azoto (Si:N) nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.	36
Figura 21 – Representação da razão Azoto: Fósforo para os três transectos em estudo.	48
Figura 22 – Representação da razão Si:N, para os três transectos em estudo.	49
Figura 23 – Representação da razão $O_2 : NO_3^-$ (b), para os três transectos em estudo.	50

V. ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Representação dos mínimos e máximos de cada parâmetro em análise nos três transectos em estudo.	23
Tabela 2 – Correlação entre as variáveis, no transecto Guadiana.	37
Tabela 3 – Correlação entre as variáveis, no transecto Portimão.	38
Tabela 4 – Correlação entre as variáveis, no transecto Sagres.	38
Tabela 5 – Correlação entre as variáveis, para os três transectos analisados.	39
Tabela 6 – Caracterização da água proveniente do Golfo de Cádiz.	43
Tabela 7 – Concentrações de clorofila a ($\mu\text{g l}^{-1}$), nitratos, fosfatos, silicatos (μM) observadas na camada superficial em diferentes regiões do Oceano.	44

VI. ÍNDICE

I.	Abstract.....	i
II.	Resumo	ii
III.	Agradecimentos.....	iii
IV.	Índice de Figuras.....	iv
V.	Índice de Tabelas.....	v
VI.	Índice	vi
1.	Introdução.....	1
1.1.	Influência dos Rios no Oceano.....	2
1.1.1.	Influência dos Rios Na costa Algarvia.....	3
1.2.	Afloramento Costeiro	4
1.2.1.	Afloramento costeiro na Costa Portuguesa	6
1.3.	Contracorrentes	9
1.3.1.	Contracorrente na costa sul Portuguesa.....	9
1.4.	Processos Oceanográficos no Golfo de Cádiz	10
1.5.	Objectivo.....	11
2.	Material e Métodos.....	12
2.1.	Campanha Oceanográfica CIMA-Cruzeiro 2006.....	12
2.2.	Aquisição de dados.....	13
2.2.1.	Imagens de Satélite SST, Ventos e CTD	13
2.3.	Processamento das amostras de água	14
2.3.1.	Clorofila a.....	14
2.3.2.	Oxigénio dissolvido.....	15
2.3.3.	Nutrientes	16
2.3.4.	Análise estatística	19
3.	Resultados.....	20
3.1.	Caudais dos Rios e Precipitação.....	20
3.2.	Temperatura Superficial da Água do Mar e Regime de Ventos	21
3.3.	Caracterização físico-química das secções Guadiana, Portimão e Sagres.....	23
3.3.1.	Temperatura e Salinidade.....	24

3.3.2.	Clorofila a.....	26
3.3.3.	Oxigénio dissolvido.....	29
3.3.4.	Nutrientes.....	31
3.3.5.	Correlação entre Variáveis.....	36
4.	Discussão.....	40
5.	Conclusões.....	52
6.	Referências Bibliográficas.....	54
	ANEXO I – Imagens de Satélite de SST e regime de ventos.....	63
	ANEXO II – Diagramas T-S.....	67
	ANEXO III – Distribuição da AOU (μM).....	68

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são regiões de grande importância, uma vez, que estão na interface de três compartimentos distintos: o oceano, o continente e a atmosfera. Deste modo, estas zonas são influenciadas pelos processos que ocorrem no próprio oceano, nos continentes e na atmosfera.

Os nutrientes, no meio marinho, são compostos secundários de origem inorgânica com carácter não conservativo (Carter, 1988; Millero, 1996), que se apresentam normalmente em concentrações relativamente baixas, na ordem dos micromolar (μM) (Libes, 1992; Millero, 1996; Marty *et al.*, 2002). Os nutrientes desempenham uma função importante no meio aquático devido ao facto de serem essenciais ao fitoplâncton, ou seja, tem um papel muito importante no controlo da produção primária (base da cadeia trófica marinha) (Therriault *et al.*, 1990; Libes, 1992; Cravo *et al.*, 2006). A assimilação dos nutrientes pelo fitoplâncton é dada pela razão de Redfield C:N:P, 106:16:1, e quer o azoto ou o fósforo, dependendo da situação, podem ser considerados limitantes na produtividade primária (Libes, 1992). O perfil vertical típico dos nutrientes caracteriza-se assim por concentrações baixas ou quase nulas à superfície, devido à sua utilização pelos organismos, seguindo-se um aumento gradual em profundidade, resultante da sua regeneração pela acção bacteriana, ou seja, da deposição do material biogénico e da sua menor utilização pelos fitoplânctontes (Libes, 1992; Millero, 1996).

Deste modo, torna-se importante quer o estudo das concentrações de nutrientes, quer da densidade fitoplanctónica que se pode expressar pela concentração da clorofila a , pois constituem uma ferramenta essencial para a compreensão dos processos químicos e biológicos que ocorrem nos oceanos. Por outro lado, estes parâmetros são fortemente afectados quer por processos de entrada no meio marinho quer pelas características físicas da água, particularmente pela temperatura e salinidade e forçamentos físicos como os ventos e correntes.

A plataforma continental está sujeita a entradas de material quer particulado quer dissolvido, de várias fontes, que podem afectar as características químicas da água, nomeadamente a nível de salinidade, temperatura, nutrientes e clorofila a . Destas, destacam-se os rios e as ribeiras que nela desaguam, que de uma forma geral vão influenciar a zona costeira (Magalhães, 2001; Falcão & Vale, 2002; ICES, 2002; Cravo

et al., 2006; Navarro *et al.*, 2006). Como tal, nestas zonas podem ocorrer fortes gradientes que não são geralmente observadas em oceano aberto.

Para além dos rios, no próprio oceano, ocorrem factores físicos, como as correntes provocadas normalmente pela mudança do regime de ventos, que influenciam todas as características químicas da água do mar. Estes fenómenos físicos, tanto podem ser o afloramento costeiro bem como as contracorrentes (Relvas & Barton, 2005).

De seguida, será feita uma descrição da forma como os rios, afloramento costeiro e contracorrentes influenciam os processos químicos e biológicos.

1.1. INFLUÊNCIA DOS RIOS NO OCEANO

Na zona costeira, sabe-se que a principal fonte de nutrientes, advém dos rios. Os rios transportam os nutrientes para o mar, devido quer à erosão das rochas pertencentes à sua bacia, quer por acção antropogénica (fertilizantes agrícolas, descargas de águas residuais, etc). O nutriente que é o indicador de água doce é o silicato. Este encontra-se na água doce 1 a 2 ordens de grandeza acima daquela que se encontra no oceano (Liss & Pointon, 1973; Cravo *et al.*, 2003). A erosão das rochas causada pelos rios aumenta com a intensificação dos períodos de chuva. Durante os períodos de chuva intensa, os caudais dos rios aumentam e a área afectada pela água doce pode ser, em extensão, algumas dezenas de km a partir da foz do rio, formando-se assim, na zona costeira, zonas de plumas de água doce (Cravo *et al.*, 2003). Nesta situação e nestes locais são observadas concentrações de nutrientes muito elevadas, à superfície e nos primeiros metros de coluna de água (2-3 m), as quais diminuem gradualmente com o aumento da distância à costa.

Um outro factor chave indicador de presença de água doce é a salinidade, em que os valores são muito próximos de zero nas águas dos rios. As regiões adjacentes à costa são caracterizadas por fortes gradientes de salinidade à superfície (ou nos primeiros metros de coluna de água), acompanhados por gradientes de nutrientes como foi referido anteriormente, em que as zonas com maior influência de água doce apresentam consequentemente valores mais baixos de salinidade e mais elevados de nutrientes. Daí que nessas zonas muitas vezes se aplique o conceito da linha teórica de diluição e se determine o carácter mais ou menos conservativo dos compostos dissolvidos em função da salinidade (variável que caracteriza as massas de água) (Fig. 1).

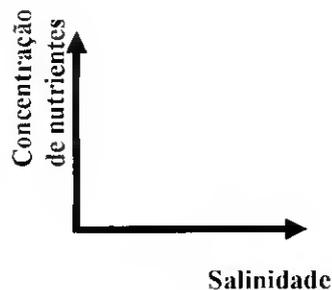


Figura 1 – Conceito da Linha Teórica de Diluição.

A Figura 1 ilustra o esquema do conceito da linha teórica de diluição das concentrações de nutrientes em função da salinidade, traçador de massas de água. Este é um esquema característico da transição de águas doce para salgadas. Deste modo, pode verificar-se que o comportamento da concentração dos nutrientes varia inversamente com a salinidade, devido às variações das concentrações originadas pelas fontes de água doce e salgada, onde as concentrações de nutrientes são máxima e mínima, respectivamente.

1.1.1. INFLUÊNCIA DOS RIOS NA COSTA ALGARVIA

A plataforma Algarvia está sob a influência de dois rios principais que aí desaguam. O rio Guadiana e o rio Arade são rios com caudais relativamente elevados para o meio marinho adjacente. No caso do rio Guadiana, este é o quarto maior rio da Península Ibérica. O Guadiana tem um comprimento de cerca de 810 km e com uma área de drenagem de cerca de 67 000 km², 17 % da qual é em Portugal. O caudal deste rio é irregular relativamente às escalas temporais tanto intra- como inter- anuais, relativo a variações climáticas e a variações de direcção de escoamento (Cravo *et al.*, 2003, 2006). No entanto, a média de caudal entre 1990 e 2006 é de 140,9 m³/s (<http://snirh.inag.pt>).

O rio Arade é o maior rio do Algarve, tem cerca de 75 km de comprimento e um caudal médio entre 1990 e 2006 de cerca de 1,65 m³/s (<http://snirh.inag.pt>).

Os caudais dos rios representam a maior fonte de nutrientes para a zona costeira (Cruzado *et al.*, 2002). No entanto, a extensão da costa influenciada, pelo caudal dos rios, depende principalmente do regime do mesmo. É de notar que se a descarga dos rios for baixa, a concentração de nutrientes exportada será baixa, sendo a influência

sobre a zona costeira fraca. Contudo, após períodos de chuva intensa verifica-se o contrário, a pluma dos rios atinge algumas dezenas de kms e são verificadas concentrações elevadas de nutrientes, tal como observado junto à foz do Guadiana (Cravo *et al.*, 2006).

Relativamente à influência do Rio Arade sobre a concentração de nutrientes na costa adjacente, não se conhecem até à data, dados bibliográficos.

1.2. AFLORAMENTO COSTEIRO

O afloramento costeiro, vulgarmente conhecido pelo termo inglês *coastal upwelling*, é um fenómeno físico que ocorre nos oceanos, particularmente na zona costeira que constitui uma fronteira natural, e em especial nas regiões de fronteira leste dos oceanos (Open University, 1989; Brink & Cowles, 1991; Haynes *et al.*, 1993; Mann & Lazier, 1996; Garcia-Muñoz *et al.*, 2004). Este fenómeno oceanográfico, consiste no afloramento de massas de água de níveis subsuperficiais até à superfície oceânica (Open University, 1989; Mann & Lazier, 1996). É bastante relevante para a actividade da pesca, pois as regiões de afloramento correspondem a zonas de elevada produtividade biológica. As margens oceânicas cobrem apenas 8 % da superfície do oceano, mas sustentam 18 a 33% da produção biológica global e 27 a 50% da exportação da produção global (Alvarez-Salgado *et al.*, 2001).

As cinco principais correntes costeiras associadas ao afloramento costeiro são a corrente da Califórnia, a corrente do Peru, a corrente das Canárias (que passa por Portugal, sendo aqui por vezes denominada por Corrente de Portugal), a corrente de Benguela e a corrente da Somália, como se pode observar na Figura 2. É de referir que esta última fica situada na fronteira Oeste do Oceano Índico (Mann & Lazier, 1996), e possui um regime oceanográfico distinto das restantes quatro regiões.



Figura 2 – As maiores regiões mundiais de afloramento costeiro, adaptado de Mann & Lazier (1996).

O processo de afloramento costeiro é induzido pelo vento que sopra paralelamente à costa sobre a superfície do oceano, provocando o movimento nas massas de água, mas não na mesma direcção do vento. Este movimento de água sob o efeito da força de Coriolis, desvia a corrente de água superficial para a direita, no Hemisfério Norte (HN), e para a esquerda no Hemisfério Sul (HS). Esta deslocação da corrente para a direita no hemisfério Norte é explicada pela teoria de Ekman (Stewart, 2004). A camada de água que sofre influência do atrito do vento é designada de camada de Ekman, onde à superfície o vector de velocidade da corrente atinge o máximo e é desviado 45° para a direita. Na camada imediatamente a seguir, a água sofre um pequeno desvio mais para a direita e o vector de velocidade diminui de magnitude. Nos níveis abaixo ocorre o mesmo processo, ou seja, com o aumento da profundidade a direcção da corrente será sempre mais à direita que a anterior e a magnitude da corrente decresce

exponencialmente ao longo da camada de Ekman. Este mecanismo designa-se espiral de Ekman, e está esquematizado na Figura 3.



Figura 3 – Espiral de Ekman. Adaptado de Open University, (1989).

A equação da continuidade impõe que haja uma substituição de água que é transportada para a direita relativamente à direcção do vento (isto no Hemisfério Norte). A água de substituição surge das camadas subsuperficiais, uma vez que à esquerda está a costa. Deste modo, a água será proveniente de níveis subsuperficiais, não excedendo os 200 a 250 metros de profundidade. A este processo dá-se o nome de afloramento costeiro (Open University, 1989).

A frente térmica que separa a água fria aflorada junto à costa das águas do largo, apresenta uma configuração animosa, com meandros, plumas e filamentos de água aflorada. Estes são línguas de água fria que se projecta para o largo.

O afloramento costeiro já é considerado como um fenómeno recorrente em vários sítios do globo, assim têm sido observado em várias regiões mundiais de afloramento, como por exemplo, ao largo da costa da Califórnia e do Oregon, de Portugal e do Noroeste Africano (Brink & Cowles, 1991; Sánchez & Relvas, 2001).

Muitos dos transportes de massa na camada superficial para o largo ou para a costa, sobre a plataforma continental média e exterior, devem ser determinados, apenas com base na velocidade do vento, de acordo com a teoria de Ekman (Sánchez & Relvas, 2001). Segundo Flament *et al.* (1985), o transporte de Ekman observado para o largo, durante um período de afloramento costeiro, pode ser comparado com o transporte de Ekman teórico, para o mesmo registo de vento. No entanto, o transporte observado nos filamentos é muito superior ao esperado tendo em conta apenas o mecanismo de Ekman.

Do ponto de vista químico o afloramento de água traduz-se no aumento de nutrientes provenientes das águas mais profundas para a zona eufótica, por serem águas enriquecidas em nutrientes. Como tal, estas têm tendência para apresentarem, alguns dias após o afloramento, elevadas densidades de biomassa fitoplantónica (Tranganza *et al.*, 1980; Brink & Cowles, 1991; Sánchez & Relvas, 2001). A comunidade fitoplanctónica desenvolve-se muito rapidamente, consumindo as concentrações de nutrientes que se encontram na água e como consequência podem atingir níveis muito baixos (Joint *et al.*, 2001a). No entanto, nos estados iniciais favoráveis ao afloramento, os núcleos do afloramento costeiro são caracterizados por baixas concentrações de clorofila *a*, temperaturas baixas e elevadas concentrações de nutrientes (Alvarez-Salgado *et al.*, 2001). Uma vez que, o crescimento de fitoplâncton não é simultâneo com o aumentos das concentrações de nutrientes por afloramento de água, há um desfasamento de mais ou menos uma semana (tempo necessário ao crescimento da comunidade fitoplanctónica), entre os máximos de nutrientes e os máximos de clorofila *a*. É por este motivo, que após este período, as zonas de afloramento costeiro são caracterizadas por baixas concentrações de nutrientes e aumentos de concentração de clorofila *a*.

1.2.1. AFLORAMENTO COSTEIRO NA COSTA PORTUGUESA

A Península Ibérica faz parte da fronteira leste do Oceano Atlântico Norte. A região oceânica ao longo desta fronteira, onde as águas costeiras interagem com as águas do largo, chama-se, zona de transição costeira Ibérica (CTZ do termo inglês *coastal transition zone*). A CTZ Ibérica, mais propriamente a costa Portuguesa, está

associada a eventos de afloramento costeiro. O afloramento na zona costeira de Portugal resulta de ventos fortes de norte associados ao deslocamento da alta pressão dos Açores para norte e ao enfraquecimento da baixa pressão da Islândia. Este vento provoca, como consequência do mecanismo de Ekman, uma elevação dinâmica da superfície do mar, decrescendo em direcção à costa e resulta numa corrente geostrófica em direcção ao Equador, que pode contrariar a corrente de declive para o pólo perto da superfície observado durante o Inverno, estabelecendo assim uma corrente em direcção ao sul, durante a época de afloramento (Relvas & Barton, 2002). Ao longo da costa Portuguesa existe uma aparente contradição entre duas circulações, a corrente para o pólo da Água Central do Atlântico Norte (NACW) e a Corrente de Portugal para sul. Esta contradição pode ser explicada pela consideração de sazonalidade da CTZ Ibérica (Sánchez & Relvas, 2001): afloramento de Abril a Setembro com escoamento superficial para sul, e escoamento para norte nos restantes meses.

A zona de Sagres até ao cabo de Santa Maria é caracteristicamente uma zona de afloramento costeiro onde as águas são ricas em nutrientes (Navarro *et al.*, 2006).

O Cabo de São Vicente constitui a zona mais ocidental da região do Algarve, sendo a extremidade sudoeste da Península Ibérica, onde as costas sul e oeste se intersectam, a cerca de 37° N e 9° W. A Plataforma Continental sul tem uma largura de cerca de 25 km e a plataforma oeste cerca de apenas 10 km (Moita, 2001). Por vezes, a água aflorada na costa oeste estende-se à volta do Cabo de São Vicente e para este ao longo da Plataforma do Algarve (Fiúza, 1983; Relvas & Barton, 2002). Contudo, na costa sul da Península Ibérica, os ventos favoráveis a este fenómeno são os ventos vindos de Oeste (Relvas & Barton, 2002).

Na região de Sagres, estão associados 3 padrões de circulação preferenciais. O padrão de maior persistência é a corrente em direcção a Este ao longo da plataforma sul, que se junta com a água aflorada localmente, a qual começa a separar-se da costa, possivelmente devido à progressão ao longo da costa de uma contracorrente mais quente proveniente do Golfo de Cádiz. O segundo é resultado do desenvolvimento para sul dum filamento de afloramento frio sustentado pelas águas frias afloradas mais a norte e, assim, representa a extensão mais a sul do jacto de afloramento costeiro, o qual vai muito para além dos limites do cabo de S. Vicente. Por último, a característica menos frequente ocorre sob a forma dum filamento de água fria que se dirige para oeste à latitude deste cabo e parece ser o resultado da instabilidade do jacto associado ao afloramento (Relvas & Barton, 2002).

O padrão de afloramento na costa continental Oeste de Portugal é determinado tendo em conta a morfologia da costa e o regime de ventos locais, bem como as características batimétricas da plataforma e da vertente superior (Fiúza, 1983). Na região do cabo de S. Vicente a costa apresenta uma orientação meridional, com uma plataforma estreita de declive acentuado (Moita, 2001). O afloramento costeiro nesta zona é frequente no período compreendido entre Abril e Setembro (Fiúza *et al.*, 1982), podendo em Setembro os filamentos atingir 200 km de comprimento (Haynes *et al.*, 1993). Em Outubro estes filamentos podem desaparecer completamente com o cessar dos ventos favoráveis (Barton *et al.*, 2001). Contudo, durante os meses de afloramento os períodos de vento favorável aos eventos de afloramento são alternados com os períodos de relaxamento do vento, o que pode levar ao afundamento das massas de água, pois cada um destes eventos de afloramento apenas possui uma duração de alguns dias, atingindo um máximo de 2 semanas, dependendo sempre do período de ventos favoráveis (Joint *et al.*, 2001a). Segundo Sánchez & Relvas (2003), na região do cabo de S. Vicente, o transporte de Ekman associado é mais forte em Julho, ocorrendo um máximo superior a $600 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$, enquanto que em Janeiro é observado um mínimo no transporte de Ekman ($<50 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$) devido às velocidades do vento serem mais reduzidas.

A análise de imagens de satélite da temperatura da água do mar no cabo de S. Vicente, entre 1982 e 1991, mostram que os eventos de afloramento costeiro nesta região pode ser considerado um fenómeno recorrente. No entanto, já foi observado nesta região filamentos persistentes entre Maio e Outubro. Segundo a análise destes dados, a frequência de ocorrência de eventos de afloramento costeiro na costa sul apenas representa 50% da frequência dos eventos na costa oeste (Relvas & Barton, 2002).

O fenómeno de afloramento costeiro é estudado mundialmente por vários grupos de investigação, nas diversas áreas da oceanografia (física, química, biologia e geologia). Este é um fenómeno com grande importância nas diversas áreas científicas, uma vez que interage com as zonas de transição costeira e da circulação oceânica, afectando a produtividade biológica do oceano. Em Portugal uma das áreas mais estudadas associadas a este fenómeno é a do cabo de S. Vicente, ou muito próximo dela, onde este ocorre recorrentemente. Os trabalhos de oceanografia física de Sánchez & Relvas (2001), Relvas & Barton (2002), Sánchez & Relvas, (2003), Sánchez (2005) reflectem alguns desses estudos recentes próximos desta região.

1.3. CONTRACORRENTES

As contracorrentes são correntes que tem direcção contrária à circulação habitual da região. As contracorrentes superficiais podem desenvolver-se quando os regimes de vento são desfavoráveis ao afloramento costeiro, ou seja, vento de sudeste. Habitualmente, as contracorrentes são caracterizadas por parâmetros físicos e químicos diferentes das águas oceânicas circundantes (Relvas & Barton, 2005). No entanto, pouco se sabe acerca deste tipo de correntes, mesmo a nível mundial e as suas consequências a nível de variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos associados.

1.3.1. CONTRACORRENTE NA COSTA SUL PORTUGUESA

A plataforma continental do sul da Península Ibérica é tipicamente muito estreita (Ruiz *et al.*, 2006).

O Golfo de Cádiz, situa-se nas latitudes médias do Atlântico Noroeste, e corresponde à zona onde se dá o primeiro encontro entre o jacto de água mais salina e quente de origem mediterrânica e o oceano aberto, após o estreito de Gibraltar (Ruiz & Garcia-Lafuente, 2006). Aqui ocorrem trocas entre o Oceano Atlântico, à superfície, e o Mar Mediterrâneo, em profundidade (Sánchez *et al.*, 2006). Para alguns autores, o Golfo de Cádiz é considerado a área total da costa sul portuguesa e a costa sul espanhola até ao estreito de Gibraltar (Navarro & Ruiz, 2006).

Através de estudos de imagens de temperatura superficial do oceano tem sido observado que, na plataforma continental da costa sul portuguesa, as águas superficiais são mais frias do que as águas da bacia do Golfo de Cádiz, na zona mais a leste, durante o verão (Ruiz *et al.*, 2006). Também através dessas imagens foi possível mostrar que conforme o regime de ventos predominante, podem ser geradas condições de divergência e convergência (up – e downwelling) quando sopra da direcção oeste e este, respectivamente (Ruiz *et al.*, 2006, Sánchez *et al.*, 2006).

A costa sul do Algarve, delimitada, a Oeste, por Sagres, e a este, por Vila Real de Santo António, está sujeita, a uma contracorrente costeira proveniente do Golfo de Cádiz (Relvas, 1999; Relvas & Barton, 2002; Sánchez & Relvas, 2003; Sánchez, *et al.*, 2006). Esta contracorrente transporta água mais quente do que a água oceânica. Isto acontece normalmente durante o regime de ventos de sudeste ou em períodos de relaxamento de vento favorável ao afloramento costeiro, provocando o movimento das correntes no sentido de V.R.S.A. – Sagres. Uma vez, que mais ao largo a água fria

proveniente de afloramento na costa oeste ou na parte oeste da costa sul continua a fluir para este, chama-se a esta, contracorrente.

A contracorrente na costa sul Portuguesa desenvolve-se para oeste na forma de uma “língua” estreita costeira de água quente, onde o efeito do vento é sentido apenas até aos 50 metros de profundidade (Navarro *et al.*, 2006).

1.4. PROCESSOS OCEANOGRÁFICOS NO GOLFO DE CÁDIZ

Alguns dos estudos efectuados na região do Golfo de Cádiz, revelaram a existência de diferentes estruturas oceanográficas físicas no Golfo (i): uma estrutura quente-fria-quente dirigindo-se para sudeste do cabo de Santa Maria (Faro), nomeadamente a Frente de Huelva (Stevenson, 1977; Navarro & Ruiz, 2006); (ii) áreas de afloramento intenso no cabo de S. Vicente; e (iii) Zonas de mistura no Cabo Trafalgar (Fiúza *et al.*, 1982, Fiúza, 1983; Navarro & Ruiz, 2006).

Na região da foz do Rio Guadiana, também, já foram encontradas várias massas de água (Relvas & Barton, 2005; Criado-Aldeanueva *et al.*, 2006; Navarro *et al.*, 2006): (i) NACW que apresentou propriedades físicas de salinidade variando entre os 35,6 e 36,5 e de temperatura entre os 11° e os 17°C, (ii) água de origem mediterrânica (MW), em profundidade, a qual apresentou salinidade elevada e (iii) água Atlântica de superfície (SAW), à superfície até baixas profundidades, a qual é caracterizada por ter salinidades aproximadas de 36,4 e temperaturas cerca dos 16°C. Esta última massa de água é considerada como água que deriva da NACW através da estratificação e das interações ar-água (Relvas & Barton, 2005; Navarro *et al.*, 2006).

No centro do golfo de Cádiz, tem sido bem visível a presença de uma massa de água quente, e na zona mais costeira sobre a plataforma, uma outra mais quente no verão ou mais fria no Inverno (contracorrente costeira), que se desenvolve entre os rios Guadalquivir e Guadiana (Navarro & Ruiz, 2006). Segundo Ruiz *et al.* (2006), as águas quentes mais costeiras sobre a plataforma, nos períodos do verão não são oligotróficas, contrariamente às águas oceânicas, por poder haver influência do escoamento de rios. Aqui têm sido observadas concentrações de nutrientes relativamente elevadas acompanhadas de valores relativamente elevados de clorofila *a*.

1.5. OBJECTIVO

A região sul de Portugal (Fig. 4) está muito pouco documentada oceanograficamente do ponto de vista químico, existindo muito pouco trabalho publicado nesta área da investigação. A que existe refere-se a dados pontuais de zonas específicas e não da região algarvia como um todo. Uma vez que a componente química também condiciona a produção primária e a produtividade biológica em geral da região costeira, é de todo o interesse fazer esta caracterização.

Deste modo, do ponto de vista oceanográfico, foi objectivo deste trabalho caracterizar física e quimicamente a camada mais superficial (até 250 m) desta região costeira em três zonas distintas: frente à foz do rio Guadiana, Portimão e Sagres onde a influência da actividade fitoplanctónica e de potenciais forçamentos físicos - escoamento de rios, afloramento costeiro e contracorrente será mais evidente. A escolha destas três zonas foi feita tendo em consideração as suas características. O rio Guadiana é o maior rio que desagua no Algarve, por isso influencia a plataforma continental adjacente e, pelo facto de sofrer influência do Golfo de Cádiz, pode também sofrer forte influência da contracorrente. Portimão é uma zona que sofre a influência do Rio Arade (um dos principais rios do Algarve), também podendo ser afectado quer pelo afloramento costeiro quer pela contracorrente. Sagres é uma zona onde o afloramento costeiro é predominante durante uma grande parte do ano, sendo este fenómeno recorrente e por vezes muito intenso.

Esta caracterização será feita a nível da temperatura, salinidade, concentração de oxigénio, de clorofila *a* (indicador biológico) e de nutrientes (nitratos, nitritos, amónia, fosfatos e silicatos) da água. Com excepção da clorofila *a* serão analisados os seus perfis de distribuição vertical, na camada superficial do oceano até aos 250 m de profundidade. Para a clorofila *a* em geral, serão apenas analisados os perfis verticais até aos 75 m de profundidade, pois é até aí que existe luz suficiente para a realização de fotossíntese por parte do fitoplâncton.

Será ainda efectuada uma comparação, destas três zonas costeiras com outras regiões mundiais.

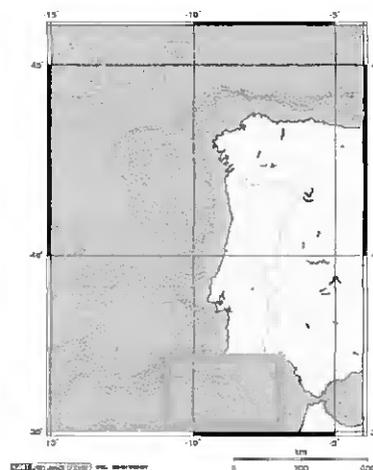


Figura 4 – Localização Geográfica da área de estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. CAMPANHA OCEANOGRÁFICA CIMA-CRUZEIRO 2006

Os dados analisados neste trabalho foram obtidos no decorrer do cruzeiro oceanográfico CIMA-Cruzeiro 2006, realizado entre o dia 1 e 5 de Outubro de 2006, a bordo do “N.R.P. D. Carlos I”. Nesta missão foram amostradas 90 estações, espaçadas de 2,5 milhas náuticas em cada transecto, um total de 10 transectos meridionais. A grelha de amostragem (Fig. 5) está compreendida entre os 37.1167° e 36.3167° N de Latitude e os 7.4° e 9° W de Longitude compreendendo assim uma área de cerca de 7952 km². Foram estudados horizontalmente cerca de 142 km de costa por 56 km da costa em direcção ao oceano.

Em todas as estações foi feita a caracterização física através de registo obtido pelo CTD *Idronaut* OS 316, que recolheu dados de temperatura, salinidade e profundidade, acoplado com fluorímetro e de um ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) de 150 kHz em contínuo, para obter os dados de velocidade da corrente. A caracterização química e biológica foi feita em 45 estações através da recolha de água por 7 garrafas de *Niskin General Oceanics* acopladas a uma *rosette* operada por um guincho de profundidade.

Esta missão foi interdisciplinar com trabalhos realizados na área da Oceanografia Física, Química, Biológica e Geológica. Do ponto de vista da Oceanografia Química teve como objectivo a caracterização química na área da plataforma continental sul do Algarve, bem como, a distribuição e variação vertical e horizontal de nutrientes, clorofila *a* e oxigénio dissolvido, nos vários transectos seleccionados e determinar a influência dos forçamentos físicos associados.

No entanto, neste trabalho apenas serão tratados os dados referentes às três secções meridionais assinaladas a azul na Figura 5, ou seja, em frente à foz do rio Guadiana, Portimão e Sagres.

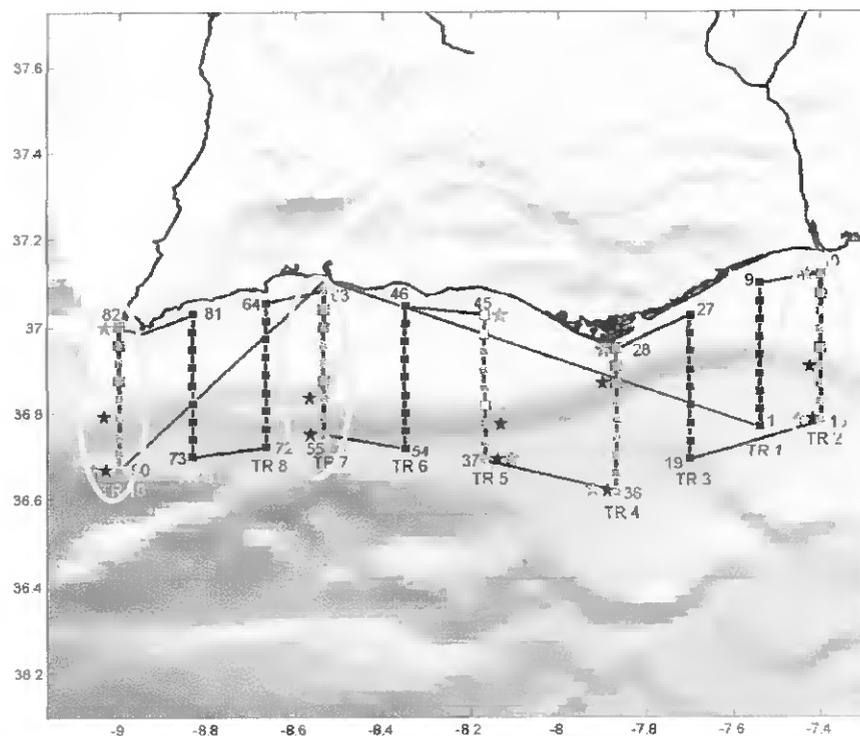


Figura 5 – Posicionamento das estações de amostragem e identificação das três seções/transectos em estudo.

2.2. AQUISIÇÃO DE DADOS

2.2.1. IMAGENS DE SATÉLITE SST, VENTOS E CTD

As imagens de satélite da temperatura superficial do oceano (SST) foram obtidas através do CERSAT Data Center- IFREMER. Estas imagens têm um nível de processamento, com uma resolução espacial de 4 km. São imagens diárias, no entanto, com médias de 12 horas. Foram obtidas as imagens de SST de todos os dias referentes ao cruzeiro.

Os dados de ventos são provenientes do sensor de microndas SeaWinds, colocado a bordo do satélite QuikScat e foram obtidos através do portal PO.DAAC OceanESIP Tool (POET). A resolução espacial é de 0,25° e a resolução temporal de um dia.

A aquisição de dados de temperatura, salinidade e profundidade foi obtida *in situ* através do CTD. Em cada estação foi obtido um perfil vertical contínuo destes

parâmetros. O movimento vertical do CTD foi realizado a 1m/s com duas leituras por segundo.

2.3. PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

Uma vez que os fenómenos de afloramentos costeiro e contracorrentes são superficiais e a influência dos rios se faz sentir na camada superficial das massas de água, para a caracterização química dos parâmetros de clorofila *a*, oxigénio e nutrientes água, foram feitos perfis verticais da superfície até aos 250 metros de profundidade, aos níveis 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150 e 250 m, através da utilização de garrafas de Niskin acopladas à rosette.

2.3.1. CLOROFILA *A*

a) Procedimento a bordo

Em cada estação foi colhida uma amostra de 1 litro de água do mar para os níveis 5, 10, 20, 30, 50, 75 e a profundidade de concentração máxima de clorofila *a*, que foi dado pelo pico de fluorescência registado pelo fluorímetro acoplado ao CTD.

É de salientar que para a determinação de clorofila *a* não se amostraram níveis abaixo dos 75 metros, porque a partir desta profundidade a luz torna-se limitante para o crescimento do fitoplâncton. Aliquotas de 250 ml foram filtradas a bordo através de filtros de acetato de celulose Gelman, de porosidade 0.45 μm . Após a filtração, os filtros foram colocados em tubos de centrifugação revestidos de papel de alumínio, congelados a -20°C até ao momento da análise.

b) Procedimento de laboratório

Para a determinação da concentração de clorofila *a* os filtros foram descongelados e dissolvidos com 10 ml de acetona a 90%, centrifugados a 3000 rpm, durante 10 minutos. A análise deste pigmento foi feita por espectrofluorimetria com utilização de um espectrofluorómetro Perken-Elmer, no Laboratório de Fitoplâncton do IPIMAR (Instituto de Investigação das Pescas e do Mar) em Lisboa, chefiado pela Doutora Teresa Moita.

Para avaliar a percentagem de degradação de clorofila *a*, esta foi calculada através da seguinte fórmula: $\%Degradação = \frac{[Feopigmentos]}{[Feopigmentos] + [Clorofila\ a]}$

2.3.2. OXIGÉNIO DISSOLVIDO

a) Procedimento de bordo

Para a determinação da concentração de oxigénio dissolvido as amostras em duplicado foram recolhidas em frascos de Winkler por cada nível nas diferentes estações amostradas, a partir de garrafas de Niskin, cheios até verter para evitar a presença de bolhas de ar. O método utilizado nesta determinação é o método de Winkler (1888).

Após a colheita das amostras foram adicionados, de imediato, os compostos Winkler I e II, respectivamente, para a fixação do oxigénio dissolvido. Após a formação do precipitado e este ter sedimentado foi adicionado ácido sulfúrico e posteriormente fez-se a titulação da amostra com uma solução padrão de tiosulfato de sódio (0.02 N), usando o amido como indicador do ponto de viragem.

O cálculo da concentração de oxigénio dissolvido é feito com base na seguinte fórmula:

$$\text{Oxigénio dissolvido (mg/l)} = \frac{(a - b) \times f \times 0,16 \times 10^3}{V - 2}$$

a – volume (ml) de solução de tiosulfato necessário à titulação da amostra

b – volume (ml) de solução de tiosulfato necessário à titulação do Branco

f – factor de padronização do tiosulfato ($f = \frac{5}{V_{KIO_3}}$)

V_{KIO_3} = volume (ml) de solução de tiosulfato usado na padronização da solução primária de iodo – KIO_3

V – volume (ml) do frasco de Winkler

0,16 – 1ml de tiosulfato [0,02N] corresponde a 0,16mg de oxigénio

A percentagem de saturação de oxigénio dissolvido (% SAT) foi calculada usando o algoritmo dado pela UNESCO (1973).

$$\ln C = A_1 + A_2\left(\frac{100}{T}\right) + A_3 \ln\left(\frac{100}{T}\right) + A_4 \ln\left(\frac{100}{T}\right) + S \left[B_1 + B_2\left(\frac{100}{T}\right) + B_3\left(\frac{100}{T}\right)^2 \right]$$

$$A_1 = -173.4292; A_2 = 249.6339; A_3 = 143.3483; A_4 = -21.8492;$$

$$B_1 = -0.033096; B_2 = 0.0142259; B_3 = -0.0017000$$

T e S são a temperatura absoluta (K) e a salinidades em unidades de salinidade prática.

A utilização aparente de oxigénio, AOU (*Apparent Oxygen Utilization*), representa a diferença entre o oxigénio dissolvido teórico ($O_{2_teorico}$) à pressão atmosférica normal (NAEC- Normal Atmospheric Equilibrium Concentration) para as condições de temperatura e salinidade presentes nestes transectos e o oxigénio dissolvido observado ($O_{2_observado}$). Este parâmetro indica o consumo de oxigénio desde que a massa de água deixou a superfície, altura em que estava em equilíbrio com a atmosfera (Libes, 1992). É calculada através da seguinte fórmula: $AOU = O_{2_teorico} - O_{2_observado}$, e expressa em μM .

2.3.3. NUTRIENTES

a) Procedimento de bordo

Para a determinação da concentração de nutrientes, dos três compostos de azoto (amónia, nitritos e nitratos), fosfatos e silicatos, em cada estação foi colhida uma amostra de 1 l de água do mar para cada nível seleccionado em cada uma das estações, através de garrafas de Niskin. Cada amostra de água foi imediatamente filtrada, por um filtro Gelman de acetato de celulose, de 0.45 μm de porosidade, previamente lavado e descontaminado, e congelada a -20°C até ao momento de análise.

b) Procedimento de laboratório

A concentração dos nutrientes foi determinada através de métodos espectrofotométricos de absorção molecular, em que os comprimentos de onda (λ)

foram escolhidos de acordo com o espectro de absorção máxima de cada nutriente, com base na construção de rectas de calibração. Foram feitas soluções padrão, de concentração conhecida de cada um dos nutrientes, de forma a englobar a concentração esperada das amostras. O coeficiente de correlação das rectas de calibração foi sempre superior a 99%. Os métodos utilizados para a determinação das concentrações de nutrientes foram os descritos por Grasshoff *et al.* (1983), para amostras de água do mar. Para cada nutriente foram analisados 3 replicados de 5 ml e ajustado o correspondente volume de reagente. O cálculo final foi obtido de acordo com a seguinte fórmula:

$Concentração\ dos\ Nutrientes = \frac{abs - a}{b}$, onde *abs* é a absorvância, *a* é a ordenada na origem e *b* é o declive da recta de calibração.

O limite de detecção de cada um dos nutrientes estudados foi calculado através da seguinte fórmula:

$$L.D = \frac{3 \times desvio\ padrão_{brancos}}{declive\ da\ recta}$$

Os limites de detecção, expresso em μM , determinados foram os seguintes:

Amónia: 0,20

Nitritos: 0,02

Nitratos: 0,10

Fosfatos: 0,04

Silicatos: 0,08

De forma a controlar a qualidade analítica dos resultados usou-se como material de referência as soluções – Marine Nutrient Standard Kit, da OSIL, Reino Unido, que foram usados como padrões internos. Este procedimento de determinação da concentração dos nutrientes revelou uma elevada exactidão, com um erro relativo $\leq 2,5\%$. A precisão calculada foi de $\pm 1\%$ para os silicatos, nitritos e fosfatos, $\pm 2\%$ para nitratos e $\pm 2,5\%$ para a amónia.

A determinação da concentração de amónia (NH_4^+) foi realizada, em meio alcalino, com a adição de fenol na presença de nitroprussiato de sódio (catalizador). A

concentração do composto azul de indofenol formado na presença de amónia foi determinada a 630 nm.

A determinação de nitritos (NO_2^-) foi realizada através do método adaptado por Bendschneider & Robinson (1952) e que se baseia na reacção Griess. Este ião, em condições ácidas (pH 1.5-2.0), reage com uma amina aromática (RHN_2) para formar um composto diazo, o qual foi posteriormente complexado com outra amina aromática ($ArNH_2$) para originar uma mistura azo. A concentração de nitritos foi determinada através da formação de um composto de azoto após a adição de sulfanilamida e de bicloreto de N-(1-naftil)-etilenodiamina. A concentração deste composto corado foi determinada a 540 nm. A quantidade de mistura azo formada foi proporcional à concentração inicial de nitrito.

A determinação da concentração de nitratos (NO_3^-) foi baseada no método de redução de nitratos a nitritos. A redução de nitratos a nitritos foi feita pela passagem da amostra pela coluna de cádmio, previamente tratada com sulfato de cobre, havendo oxidação do cobre.

As condições de redução foram ajustadas de modo a que os nitratos fossem praticamente todos reduzidos a nitritos. A eficácia da redução depende do metal utilizado na coluna redutora, do pH da solução e da actividade da superfície metálica. O cloreto de amónia foi adicionado como complexante e como tampão. Após o processo de redução, a análise dos nitratos foi idêntica à utilizada para a determinação da concentração de nitritos. Após a determinação do teor de nitritos na amostra, a concentração de nitratos foi determinada pela diferença.

A concentração de fosfatos (PO_4^{3-}) foi determinada em meio ácido, contendo o ião molibdato, ácido ascórbico e o ião antimónio como catalizador, dando origem ao ácido fosfomolibdico, o qual é reduzido a azul de molibdénio pela acção do ácido ascórbico. Esta reacção é acelerada com a adição de um catalizador, antimoniltartarato de potássio.

A concentração deste composto corado foi determinada a 880 nm.

O método utilizado para a determinação da concentração de silicatos (SiO_4^{4-}) é baseado na formação do ácido silico-molibdico (de cor amarela) quando, em meio ácido, a amostra é tratada com uma solução de molibdato de amónio. A amostra reage com esta solução em condições ácidas, originando complexos de molibdato de sílica, de fósforo e de arsénio. É adicionada uma solução redutora (contendo ácido ascórbico e

ácido oxálico), reduzindo os complexos amarelos do ácido silico-molibdico, decompondo simultaneamente algum molibdato de fósforo e de arsénio que se tenham formado. A amostra foi determinada a 810 nm.

É de salientar que a absorvância de amónia e de silicatos em água salgada sofre uma diminuição pela presença dos sais (interferência), logo os resultados obtidos têm que ser corrigidos por um factor salino correspondente ao valor de salinidade (tabela) para a água do mar.

2.3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Por forma a avaliar a correlação entre variáveis analisadas foram elaboradas matrizes de correlação, através do coeficiente de correlação de Pearson (r), para um nível de significância igual ou superior a 95%.

3. RESULTADOS

3.1. CAUDAIS DOS RIOS E PRECIPITAÇÃO

De forma a avaliar-se a potencial influência da descarga dos rios Guadiana e Arade na zona costeira adjacente, foram analisados os caudais destes rios na altura do cruzeiro oceanográfico.

Na Figura 6 está representado o registo de caudal dos dois rios em estudo. Os caudais dos rios Guadiana e Arade foram baixos, como típico para esta época do ano (final de Verão - início do Outono). Relativamente ao rio Guadiana observaram-se caudais cerca de 16 m³/s, na estação hidrométrica do Pulo do Lobo. O caudal médio mensal de Outubro de 2006 foi de 45,34 m³/s e o caudal médio anual de 2006 foi cerca de 161,82 m³/s. Para o rio Arade, para o período de amostragem, não existem registos, nas estações hidrométricas. No entanto, serão caudais sempre inferiores aos do Guadiana, pois é um rio de dimensões bastante inferiores. Contudo, o seu caudal médio mensal referente a Outubro de 2006, foi de 0,48 m³/s, com uma média anual para este ano de 1,625 m³/s (<http://snirh.inag.pt>), cerca de duas ordens de grandeza inferiores ao registado para o rio Guadiana.

No que se refere, ao registo da precipitação diária (que terá influência no caudal dos rios), nas estações meteorológicas próximas dos dois rios em estudos, observaram-se valores bastante baixos (Fig. 7). Na estação meteorológica de Alcoutim (Guadiana), não foi registada precipitação (0 mm) (<http://snirh.inag.pt>), durante os dias da amostragem. No entanto, na estação de Santa Iria (acima de Alcoutim) foram registados cerca de 0.1 mm (<http://snirh.inag.pt>), apenas no dia 1 de Outubro de 2006, o que é considerada bastante baixa. Para o rio Arade e zonas circundantes, apenas foi possível analisar o registo da estação meteorológica da barragem do Arade (<http://snirh.inag.pt>). Foram observados períodos de chuva fraca nos dois primeiros dias de amostragem, com máximo de 1,5 mm, no primeiro dia. No segundo dia, o registo máximo de precipitação foi de 0,2 mm, sendo para os restantes dias inexistente (0 mm).

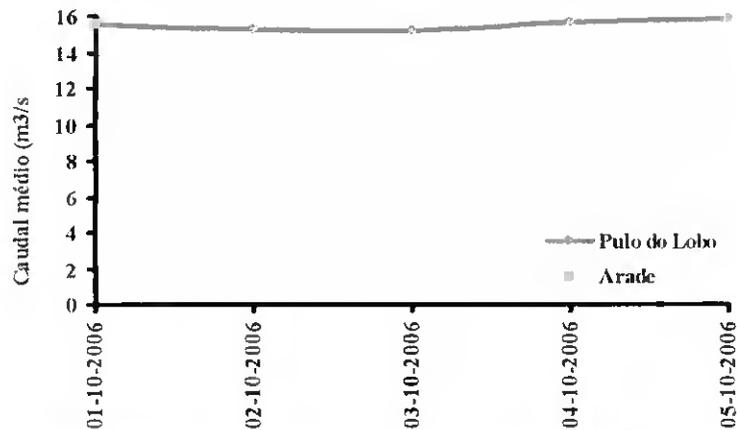


Figura 6 – Caudais Médios diários dos rios Guadiana e Arade, entre 1 - 5 de Outubro de 2006. Fonte: SNIRH, INAG.

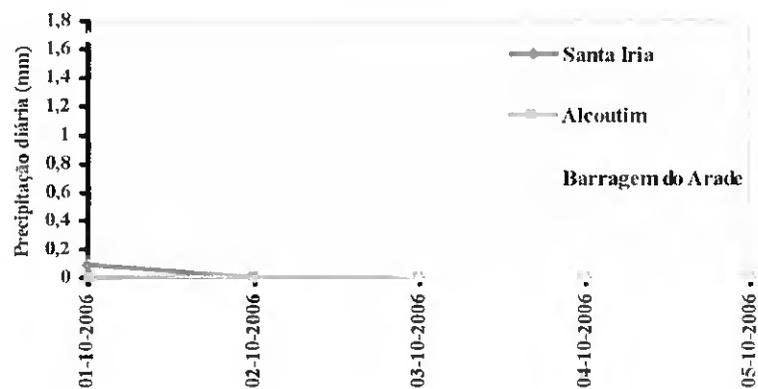


Figura 7 – Precipitação diária nas estações meteorológicas de Alcoutim e Santa Iria (Rio Guadiana), da Barragem do Arade (Rio Arade). Fonte: SNIRH, INAG.

3.2. TEMPERATURA SUPERFICIAL DA ÁGUA DO MAR E REGIME DE VENTOS

As imagens de satélite apresentadas são referentes à temperatura da superfície da água do mar (SST) e ao regime de ventos (Fig. 8), sentidos na região de estudo, durante o período de amostragem (1-5 Outubro de 2006).



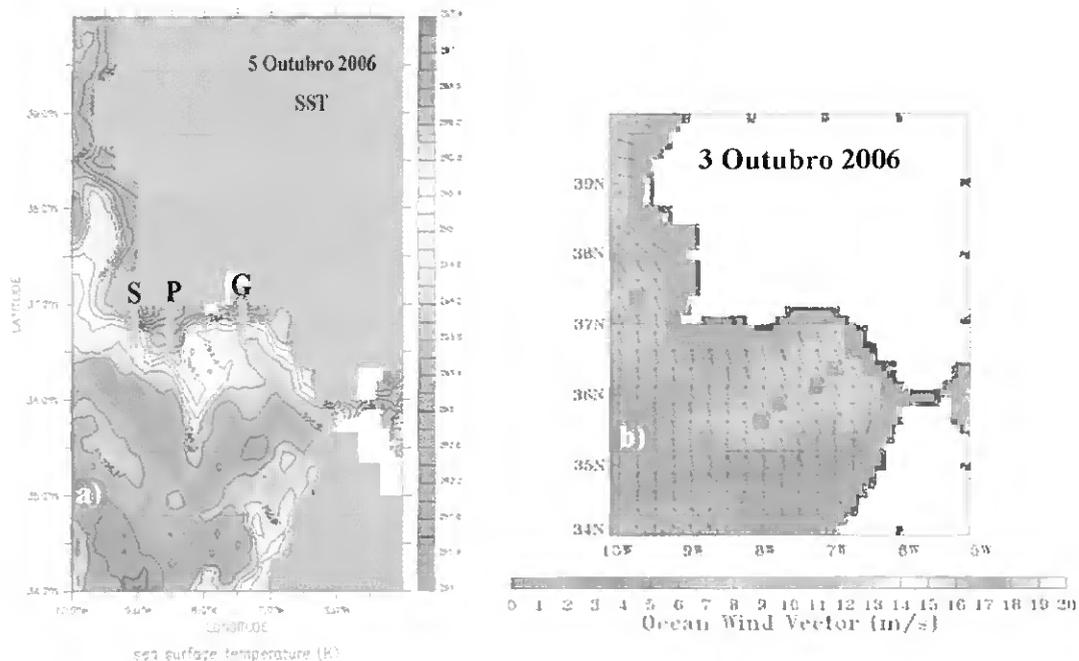


Figura 8 – a) Imagem de satélite da temperatura da superficial da água do mar (k), do dia 5 de Outubro de 2006, Fonte: CERSAT Data Center - IFREMER, b) Imagem de Satélite do vector do vento no oceano (m/s), do dia 3 de Outubro de 2006, Fonte PO.DAAC OceanESIP Tool (POET).

O padrão de temperatura superficial observado na área de estudo, mostra junto à linha de costa, água com temperaturas inferiores a 20 °C (Fig. 8-a). Já nas regiões mais afastadas da costa, particularmente nos transectos Guadiana e Sagres, foram observadas temperaturas mais elevadas, na ordem dos 22 – 23 °C. Relativamente, ao transecto Portimão, as temperaturas foram mais ou menos homogéneas, em toda a sua extensão, na ordem dos 19 – 20 °C, sendo estas mais baixas que as observadas nos restantes transectos.

Como é sabido pela literatura, os padrões do vento afectam os padrões de circulação e de temperatura superficial (Criado-Aldeanueva *et al.*, 2006; Reul *et al.*, 2006). O que se verificou foi que durante o período de amostragem, o padrão de ventos foi, em geral, favorável ao desenvolvimento de afloramento costeiro. Nesta altura, bem como nos dias anteriores (26 a 29 de Setembro; Fig. 2 - Anexo I) na área de estudo, o vento foi predominantemente do quadrante Norte e de Noroeste (Fig.8-b). As imagens de SST desses dias também confirmam a presença de água mais fria à superfície (Fig. 1 do Anexo I). Só no dia 1 de Outubro é que o vento foi predominante de Sul-Sudeste (Fig. 2 - Anexo I), não favorável ao desenvolvimento de afloramento costeiro e daí a possibilidade de se observar alguma progressão da água proveniente do Golfo de Cádiz,

nas estações mais afastadas da costa nos transectos Guadiana e Sagres. Pela sequência das imagens de SST (Fig. 1 - Anexo I), verifica-se que o afloramento costeiro apenas diminuiu de intensidade no dia 2 de Outubro, voltando a intensificar nos restantes dias.

Em resumo, durante o cruzeiro oceanográfico, a influência do afloramento junto à costa foi forte e mais intensa no transecto Portimão, numa extensão de ~40 km, muito maior do que nas outras duas secções analisadas (Fig. 8-a e Fig. 1 - Anexo I). No entanto, devido à alteração de regime de ventos e diminuição da sua intensidade foi possível detectar uma outra massa de água ao largo com características diferentes.

3.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS SECÇÕES GUADIANA, PORTIMÃO E SAGRES

Na tabela 1 estão indicadas as gamas de variação de todos os parâmetros analisados nas secções/transectos Guadiana, Portimão e Sagres.

Tabela 1 – Representação dos mínimos e máximos de cada parâmetro em análise nos três transectos em estudo.

		<i>Guadiana</i>	<i>Portimão</i>	<i>Sagres</i>
T (°C)	min.	13,5	13,1	13,2
	máx.	22,7	19,2	22,5
S	min.	35,9	35,9	35,8
	máx.	36,6	36,2	36,6
<i>Clorofila a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)	min.	<0,01	<0,01	<0,01
	máx.	2,7	3,1	1,2
<i>feopigmentos</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)	min.	0,07	0,04	0,06
	máx.	0,9	0,9	0,8
O_2 (mg l^{-1})	min.	6,1	6,2	6,8
	máx.	8,3	8,6	8,4
%SAT(O_2)	min.	73	79	81
	máx.	110	115	110
AOU (μM)	min.	-37	-35	-27
	máx.	68	53	49
NH_4^+ (μM)	min.	<0,2	0,2	<0,2
	máx.	1,2	1,5	1,4
NO_2 (μM)	min.	<0,02	<0,02	<0,02
	máx.	0,4	0,5	0,3
NO_3 (μM)	min.	<0,1	<0,1	<0,1
	máx.	8,9	9,5	15,0
PO_4^{3-} (μM)	min.	0,1	0,1	<0,04
	máx.	0,9	0,5	0,8
SiO_4^{4-} (μM)	min.	0,6	0,2	0,2
	máx.	3,5	3,9	5,7

3.3.1. TEMPERATURA E SALINIDADE

Na representação dos perfis verticais de temperatura (Fig. 9), verificou-se para os transectos seleccionados, uma diminuição da temperatura com o aumento da profundidade. Em todos os transectos verificou-se a subida das isotérmicas para a costa, indicando a ocorrência de afloramento costeiro. No entanto, nos transectos Guadiana e Sagres, a profundidade da camada de água mais quente ($> 18^{\circ}\text{C}$), fez sentir-se até níveis mais profundos ($\pm 50\text{ m}$) principalmente nas estações mais afastadas da costa (distância $> 20\text{ km}$) do que no transecto Portimão ($\pm 30\text{ m}$).

No transecto Guadiana, o valor máximo de temperatura observado à superfície foi $22,7^{\circ}\text{C}$, na estação mais afastada da costa, a cerca de 35 km . Nesta estação, os valores de temperatura baixaram acentuadamente a partir dos 50 metros de profundidade onde se registaram temperaturas $< 17^{\circ}\text{C}$. Nas estações mais costeiras, a temperatura mais elevada observada foi de 20°C , também diminuindo acentuadamente a partir dos 20 metros de profundidade, demarcando assim, a termoclina.

Relativamente ao transecto Portimão, as temperaturas foram mais baixas do que nos outros dois transectos. A temperatura mais elevada também foi registada à superfície ($19,2^{\circ}\text{C}$), numa das estações mais costeiras, a 6 km da costa.

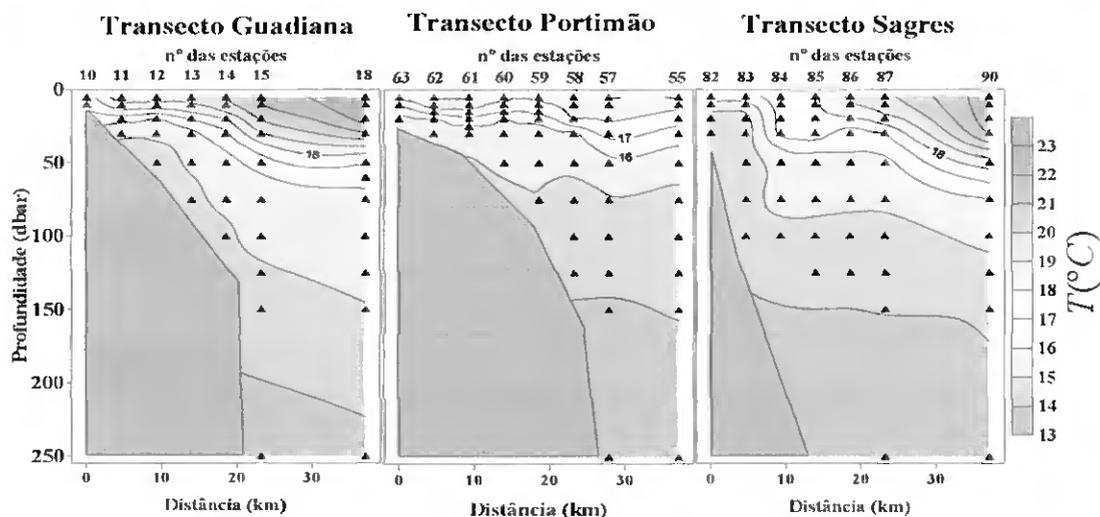


Figura 9 – Representação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

Neste transecto, foi também observado um gradiente vertical de temperatura acentuado, tendo sido observadas temperaturas mínimas de 13 °C abaixo dos 150 m. Contudo, a inclinação das isolinhas foi mais suave do que no transecto Guadiana.

No transecto Sagres a temperatura máxima foi também registada à superfície (22,5 °C), na estação mais longínqua, tal como observado no transecto Guadiana. Neste transecto, as temperaturas observadas junto à costa, nos níveis mais superficiais (<20 m) foram, mais baixas do que as observadas nos outros dois transectos.

Relativamente à salinidade, esta apresenta um perfil vertical atípico nos três transectos em estudo, o que está relacionado com os baixos períodos de chuva e as elevadas temperaturas sentidas durante os anos 2005/2006, o que provoca taxas de evaporação relativamente elevadas. Os dados de salinidade foram mais semelhantes entre os transectos Guadiana e Sagres do que em relação ao transecto Portimão (Fig. 10). Nos transectos Guadiana e Sagres observou-se uma massa de água mais salina (> 36,3) mais afastada da costa (> 20 km), até aos 20 metros de profundidade. O gradiente vertical foi relativamente acentuado e maior do que no transecto Portimão, havendo uma diminuição geral da salinidade com o aumento da profundidade.

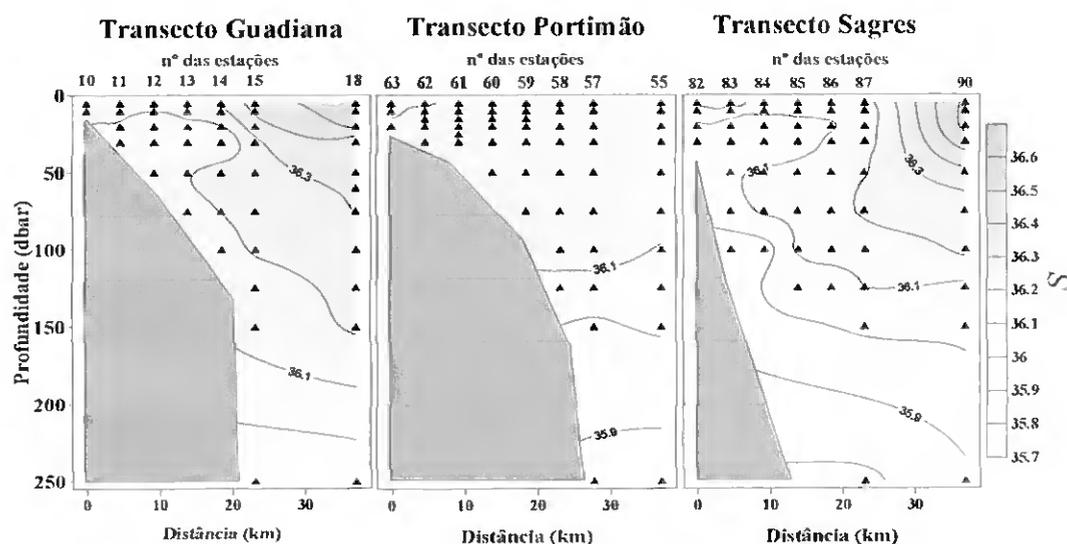


Figura 10 – Representação da Salinidade, nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

O transecto Guadiana apresentou um máximo de salinidade cerca de 36,6 à superfície na estação mais afastada da costa e um mínimo de 35,9, nos níveis mais profundos (250 m). No transecto Portimão a amplitude dos valores de salinidade foi mais pequena, variando entre 36,2 e 35,9, mas observaram-se valores mais baixos a níveis menos profundos do que os correspondentes nos outros dois transectos. No

transecto Sagres o valor máximo de salinidade foi de 36,6 e o valor mínimo foi de 35,8, com uma distribuição horizontal e vertical semelhantes às do transecto Guadiana.

Da análise dos resultados de temperatura e de salinidade, bem como dos diagramas T-S (Fig. 1 – Anexo II) pode-se observar que as águas mais salinas foram também as mais quentes e vice-versa. Através dos diagramas T-S, foram identificadas em profundidade várias massas de água. Identificou-se uma primeira massa de água que corresponde à camada de mistura, uma segunda massa de água que pertence à SAW (Surface Atlantic Water), uma terceira massa de água NACW (North Atlantic Central Water), e uma quarta que apenas é identificável nos T-S das estações mais ao largo de cada transecto. Esta tem origem na Água Mediterrânica, observando-se um núcleo da mesma (Veia Mediterrânica - VM), por volta dos 400 metros de profundidade.

As águas mais quentes e mais salinas observadas à superfície nas estações mais longínquas da costa (≈ 35 km) nos transectos Guadiana e Sagres indicam alguma similaridade com os valores típicos das águas provenientes do Golfo de Cádiz. Isto poderá dever-se à progressão das mesmas para oeste, como sugerido pelas imagens de satélite de SST (Fig. 6). Infelizmente não se conhecem os valores de velocidade e sentido da corrente que poderiam confirmar tal facto.

3.3.2. CLOROFILA *a*

Na Figura 11 estão representadas as concentrações de clorofila *a* nos três transectos em estudo. Para os três transectos, os valores mais elevados de concentração de clorofila *a* ($> 1,0 \mu\text{g l}^{-1}$) encontram-se nos primeiros 30 metros da coluna de água.

No transecto Guadiana os valores observados variaram entre $<0,01$ e $2,5 \mu\text{g l}^{-1}$, registando-se o máximo aos 20 metros, numa das estações centrais, a ≈ 15 km da costa. Concentrações entre $<0,01$ e $0,5 \mu\text{g l}^{-1}$ foram encontradas nos primeiros metros de profundidade (<10 m) de cada estação à excepção da estação mais próxima da costa.

No transecto Portimão, a concentração máxima de $3,1 \mu\text{g l}^{-1}$ foi observada aos 25 metros de profundidade, numa estação costeira, a ≈ 10 km da costa. Neste transecto foram observadas concentrações relativamente elevadas ($> 0,5 \mu\text{g l}^{-1}$) ao longo de todo o transecto, entre a superfície e os 30 metros.

Abaixo desta profundidade a concentração variou entre os $<0,01$ e $0,5 \mu\text{g l}^{-1}$, tendo também diminuído espacialmente a partir das estações com distância à costa

superior a 20 km. É de notar, assim, que no transecto Portimão as concentrações foram, em geral, mais elevadas que no transecto Guadiana.

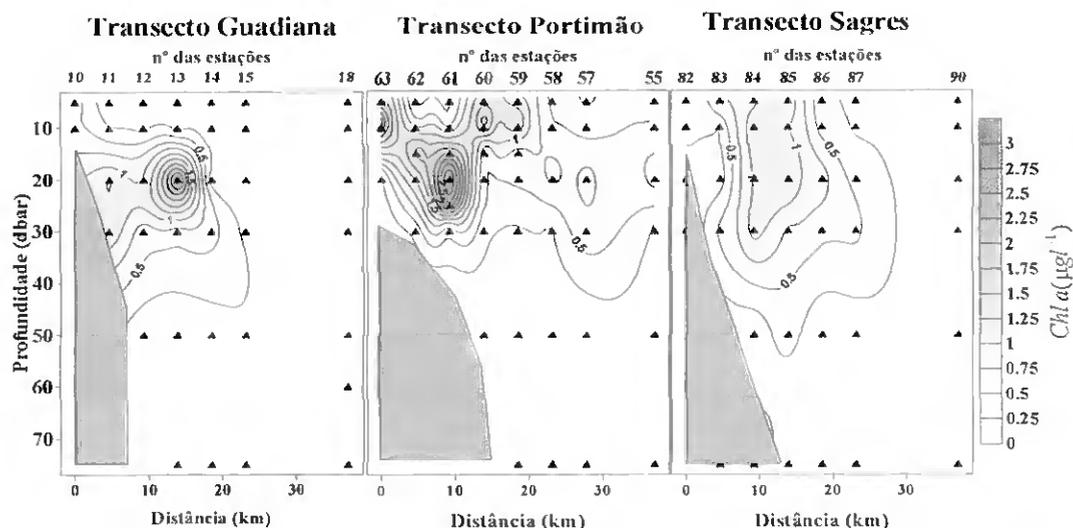


Figura 11 – Representação da concentração de Clorofila a ($\mu\text{g l}^{-1}$), nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

No transecto Sagres as concentrações observadas variaram entre $<0,01$ e os $1,2 \mu\text{g l}^{-1}$, tendo o máximo sido observado aos 5 metros, numa estação central, ≈ 15 km. No entanto, observam-se valores $>0,5 \mu\text{g l}^{-1}$ até aos 30 metros de profundidade, entre os 5 e os 20 km de distância à costa. No transecto Sagres foi onde se observaram as concentrações máximas mais baixas dos três transectos em estudo.

Os feopigmentos estão representados na Figura 12. É de notar que a gama de concentrações é muito inferior à gama de concentrações da clorofila a . No transecto Guadiana, o máximo observado foi de $0,9 \mu\text{g l}^{-1}$ aos 10 metros da estação a ≈ 15 km da costa. Em quase todas as estações mais próximas da costa (≈ 20 km), até aos 50 metros de profundidade, foram observadas concentrações mais elevadas ($> 0,25 \mu\text{g l}^{-1}$).

No transecto Portimão, a concentração de feopigmentos, foi em quase toda a sua extensão $> 0,25 \mu\text{g l}^{-1}$, numa região bastante semelhante àquela onde também se observaram concentrações superiores de clorofila a e, em geral, superior à encontrada

no transecto Guadiana. O valor máximo neste transecto foi cerca de $0,9 \mu\text{g l}^{-1}$, registado aos 20 metros numa estação costeira ($\approx 10 \text{ km}$ da costa).

Relativamente ao transecto Sagres, o padrão das distribuições horizontal e vertical da concentração de feopigmentos foi muito semelhante ao da clorofila *a*, apesar da gama de variação ter sido inferior. Neste transecto a concentração máxima observada de feopigmentos foi cerca de $0,8 \mu\text{g l}^{-1}$ aos 20 metros de profundidade, numa das estações mais próximas da costa.

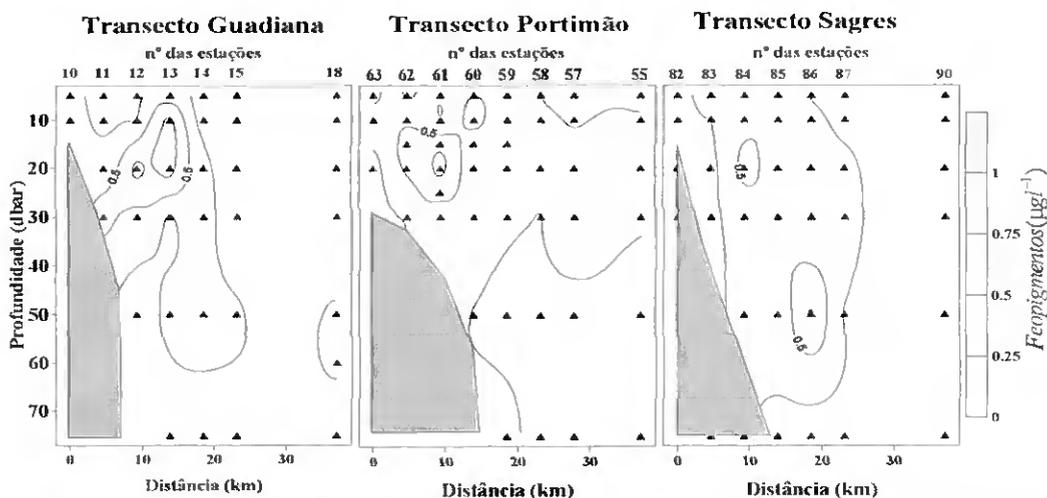


Figura 12 – representação da concentração de feopigmentos ($\mu\text{g l}^{-1}$), nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

A percentagem de degradação de clorofila *a* está representada na Figura 13. Comparativamente entre os três transectos seleccionados, existe uma profundidade comum, onde a percentagem de degradação da clorofila *a* é $<50 \%$, que corresponde até aos 30 metros de profundidade.

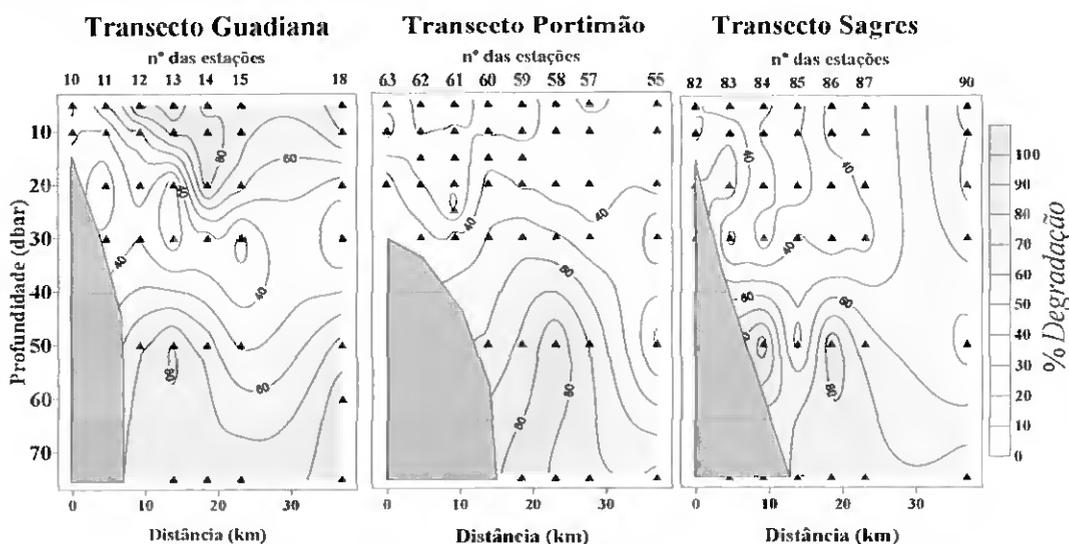


Figura 13 -Representação da percentagem de degradação de clorofila *a*, nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

Abaixo deste nível, para os três transectos, predominam os feopigmentos. Apenas no transecto Guadiana é que se verificou que, nalgumas estações mais superficiais até aos 20 metros de profundidade, a taxa de degradação da clorofila *a* foi elevada (> 60%).

3.3.3. OXIGÉNIO DISSOLVIDO

Quanto à concentração de oxigénio dissolvido (Fig. 14), pode observar-se que para os três transectos esta foi mais elevada nos níveis mais superficiais até aos 20 metros, diminuindo com o aumento da profundidade.

Os valores da concentração de oxigénio dissolvido observados no transecto Guadiana variam entre 6,1 e 8,3 mg l^{-1} . Os valores mais elevados foram encontrados entre os 10 e os 20 metros de profundidade, nas estações mais costeiras, diminuindo com o aumento da profundidade. No transecto Portimão, os valores observados foram bastante semelhantes aos do transecto Guadiana, variando entre 6,2 e 8,6 mg l^{-1} .

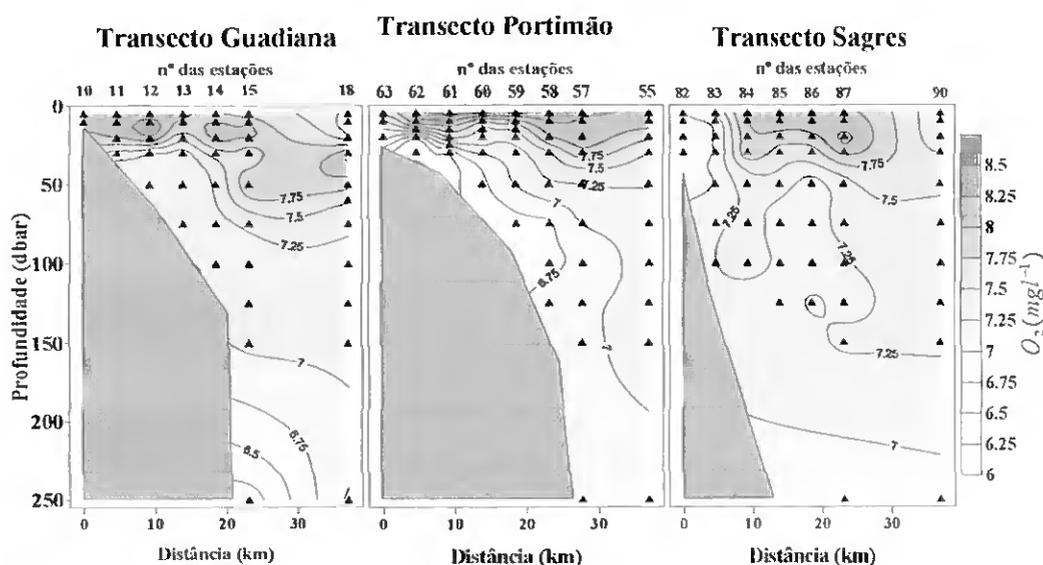


Figura 14 – Representação da concentração de oxigénio dissolvido (mg l^{-1}), nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

As concentrações mais elevadas encontram-se, no entanto, a um nível mais superficial do que no transecto Guadiana, entre os 5 e os 10 metros de profundidade. No entanto, foram observadas concentrações elevadas até aos 20 metros de profundidade, em quase

todas as estações. Também neste transecto se verifica a diminuição da concentração de oxigénio dissolvido com o aumento da profundidade, evidenciado pela forte inclinação das isolinhas, que seguem a linha de costa, e onde se registaram os valores mais baixos.

No transecto Sagres, as concentrações de oxigénio dissolvido variaram entre 6,8 e 8,3 mg l⁻¹. As concentrações mais elevadas encontram-se entre os 5 e os 20 metros, nas estações intermédias, diminuindo também a concentração com o aumento da profundidade, mas de forma menos acentuada do que no transecto Portimão.

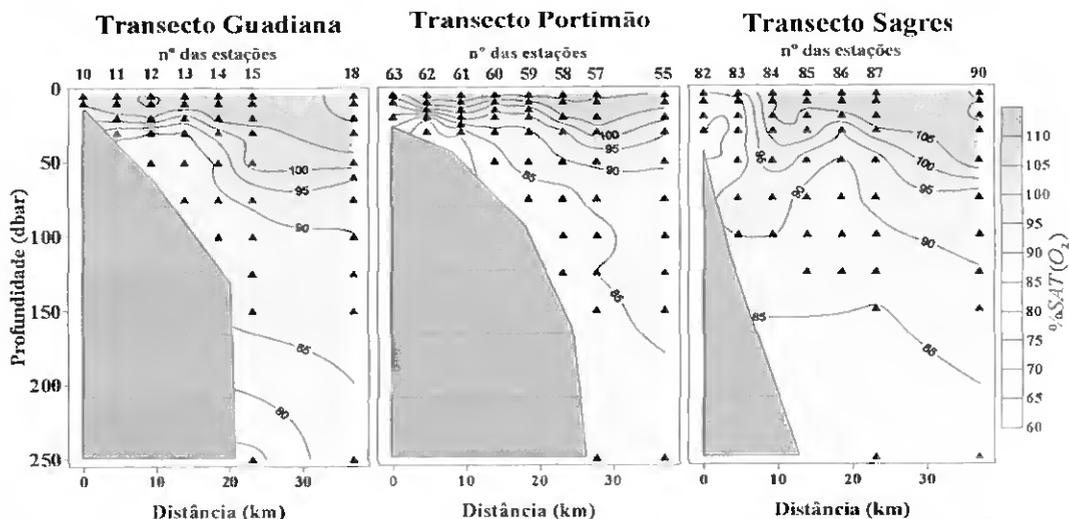


Figura 15 – Representação da percentagem de saturação de oxigénio (% saturação O₂), nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

De forma a poder conhecer se o meio está em equilíbrio (100%), supersaturado (> 100%), ou subsaturado (< 100%), a concentração de oxigénio dissolvido pode expressar-se em percentagem de saturação. Esta pode ser definida como a razão entre a concentração de oxigénio observada e a concentração de oxigénio dissolvido teórica, à pressão atmosférica normal (NAEC- Normal Atmospheric Equilibrium Concentration)

Relativamente à percentagem de saturação de oxigénio (Fig. 15), para os três transectos, os valores mais elevados, correspondentes à supersaturação em oxigénio (100 – 120 %), foram, em geral, observados nos níveis mais superficiais até aos 20 m de profundidade, tal como observado para o perfil de distribuição da concentração de clorofila *a*.

No transecto Guadiana, os valores de supersaturação de O₂ foram observados nos níveis até aos 20 m de profundidade, nas estações mais próximas da costa até a uma distância ≈ de 20 km e até aos 50 metros de profundidade, na estação mais afastada da

costa. Os valores mais baixos de subsaturação, 73%, foram observados junto nos níveis mais profundos (250 m), a uma distância da costa > 20 km.

No transecto Portimão, os valores de supersaturação de O₂ foram observados numa camada de água menos profunda do que a observada no transecto Guadiana, até aos 30 m de profundidade. Valores de subsaturação (< 100 %) observaram-se nos níveis mais profundos. No entanto, os valores mínimos entre 60 e 70 %, foram observados aos 30 metros, na zona mais costeira, e representam valores de subsaturação bastante baixos.

No que se refere, ao transecto Sagres, os valores de supersaturação de O₂ foram observados até aos 50 m de profundidade, nas estações mais distantes da costa, > 10 km. No entanto foi observada subsaturação nas estações mais próximas da costa, < 8 km, numa camada de água até aos 30 – 50 metros de profundidade.

Foi também calculada a AOU (*Apparent Oxygen Utilization*) que está representada, na Fig. 1 do Anexo III, cujos perfis de distribuição são bastante semelhantes aos de percentagem de saturação de oxigénio dissolvido. Esta estimativa permite relacionar a utilização de oxigénio dissolvido no processo de remineralização. Os valores positivos de AOU indicam um gasto maior de oxigénio dissolvido que a sua produção e correspondem às zonas onde a percentagem de saturação de oxigénio é < 100 %. Os valores negativos, por sua vez, indicam uma maior produção de oxigénio dissolvido do que o seu consumo efectivo e correspondem às zonas onde se observou valores de supersaturação (> 100 %).

3.3.4. NUTRIENTES

Relativamente aos compostos de azoto (amónia, nitritos e nitratos), verificou-se que o mais abundante foi o nitrato (com máximos entre 9 e 15 µM), com uma percentagem > 90 % relativamente ao azoto inorgânico total (amónia + nitritos + nitratos). Os nitritos foram o nutriente de azoto com concentrações mais baixas (máximo ≈ 0,5 µM) seguindo-se a amónia (≤ 1,5 µM). Como tal representar-se-á somente a concentração dos nitratos.

Para os nitratos (Fig. 16) nos transectos em estudo foram observadas concentrações mais baixas nos primeiros níveis de profundidade (≈ até 20 metros), existindo um aumento da concentração com o aumento da profundidade. No entanto, no

transecto Sagres quer o gradiente vertical quer horizontal é mais acentuado do que para os outros dois transectos.

No transecto Guadiana os valores da concentração de nitratos variam entre <1 a $8,9 \mu\text{M}$. Relativamente às estações mais costeiras estas apresentam nos níveis até aos 20 metros de profundidade valores baixos ($< 2 \mu\text{M}$), aumentando a sua concentração com o aumento da profundidade. O máximo de concentração foi encontrado aos 250 metros de profundidade, a ≈ 20 km da costa, junto ao bordo da plataforma continental.

No transecto Portimão, a gama de variação foi semelhante à do transecto Guadiana, com valores a variar entre $< 0,1$ e $9,5 \mu\text{M}$. As concentrações até aos 20 m foram baixas ($< 1 \mu\text{M}$), sendo visível um forte gradiente vertical de concentração, com um aumento das concentrações com o aumento da profundidade.

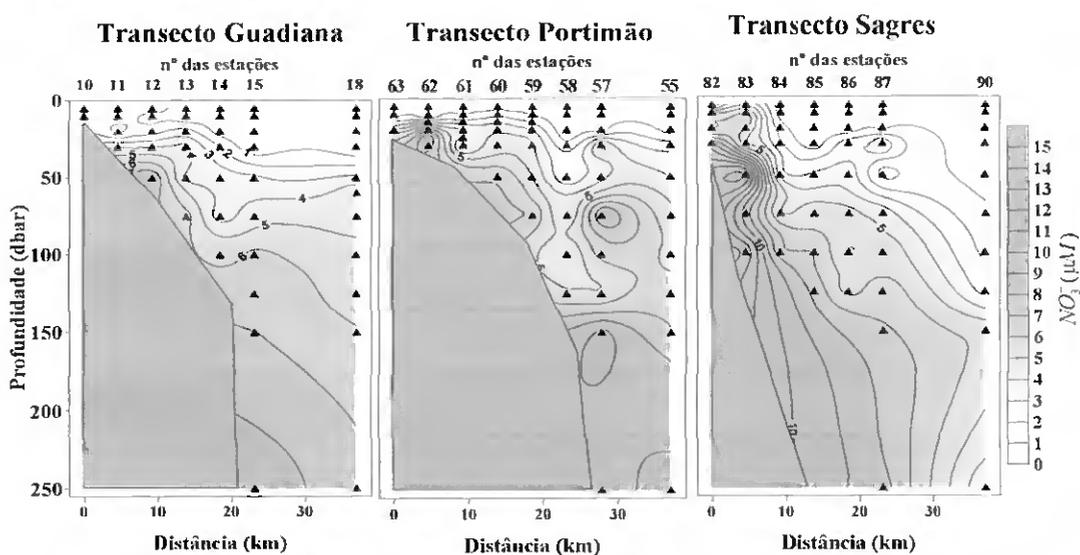


Figura 16 – Representação da concentração de nitratos (μM) nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

No transecto Sagres o valor máximo de concentração foi de $13 \mu\text{M}$, que correspondeu à concentração máxima absoluta para os três transectos. Nas estações mais costeiras, os valores de concentração de nitratos, nos primeiros 50 metros de profundidade, foram mais elevados ($2 - 4 \mu\text{M}$) do que os das estações mais oceânicas cujos valores foram inferiores a $1 \mu\text{M}$. Neste transecto observou-se também uma variação horizontal acentuada nos valores de concentração, com valores mais elevados junto à costa e diminuindo com o afastamento à mesma.

Quanto aos fosfatos (Fig. 17) as concentrações nos três transectos variaram entre $<0,1$ e $0,6 \mu\text{M}$. Relativamente ao transecto Guadiana o seu perfil vertical de distribuição

apresentou concentrações mais baixas à superfície aumentando em profundidade, atingindo o máximo aos 30 metros da estação 13 (a \approx de 15 km de distância da costa). As concentrações à superfície, nas estações até \approx 20 km de distância da costa foram relativamente mais elevadas ($0,2 \mu\text{M}$), diminuindo gradualmente para valores $< 0,1 \mu\text{M}$ nas estações mais afastadas da costa (> 20 km).

No transecto Portimão, observaram-se valores mais baixos ($\leq 0,1 \mu\text{M}$) nas camadas mais superficiais até ≈ 30 m, verificando-se um aumento em profundidade. No entanto, o máximo de $0,5 \mu\text{M}$ foi atingido a 75 metros, na estação a \approx de 20 km, junto ao bordo da plataforma continental.

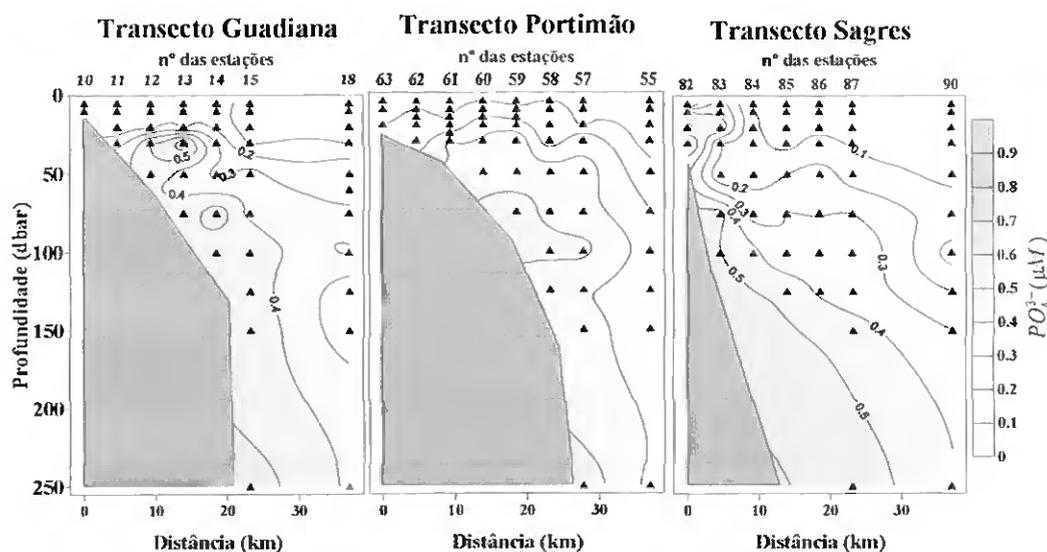


Figura 17 – Representação da concentração de fosfatos (μM) nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

No transecto Sagres atingiu-se o máximo de concentração de $0,6 \mu\text{M}$ nos níveis mais profundos e em particular nas estações mais próximas da plataforma continental. Neste transecto as concentrações mais baixas foram também observadas à superfície. No entanto, nas estações mais costeiras foram observados valores de concentração de fosfatos relativamente elevados de $\approx 0,5 \mu\text{M}$. Verificou-se também neste transecto, o aumento da concentração com o aumento da profundidade. No entanto, é de salientar, que este transecto, tal como registado para os nitratos, apresenta um forte gradiente quer horizontal quer vertical.

De forma a determinar qual o elemento nutritivo limitante em cada um dos transectos foi calculada a razão molar Azoto: Fósforo (N:P) Esta razão é assim calculada com base na concentração de nitratos dividido pela concentração de fosfato

determinado em cada transecto. É sabido pela literatura que o fitoplâncton faz a assimilação destes nutrientes na proporção de 16:1 (Redfield *et al.*, 1963; Libes, 1992).

A razão N:P está representada na Figura 18. Para os três transectos o padrão de distribuição vertical é relativamente semelhante entre os transectos Guadiana e Sagres mas distinto para o transecto Portimão.

Relativamente ao transecto Guadiana é evidente que, em geral, até aos 100 metros de profundidade, foi o azoto, o nutriente limitante, pois a razão N:P foi menor que 16. Relativamente ao transecto Sagres, o azoto foi também, em geral, o elemento limitante. Apesar de nas estações mais costeiras, até 10 km da costa, o fósforo ter sido o nutriente limitante a partir dos 50 metros de profundidade.

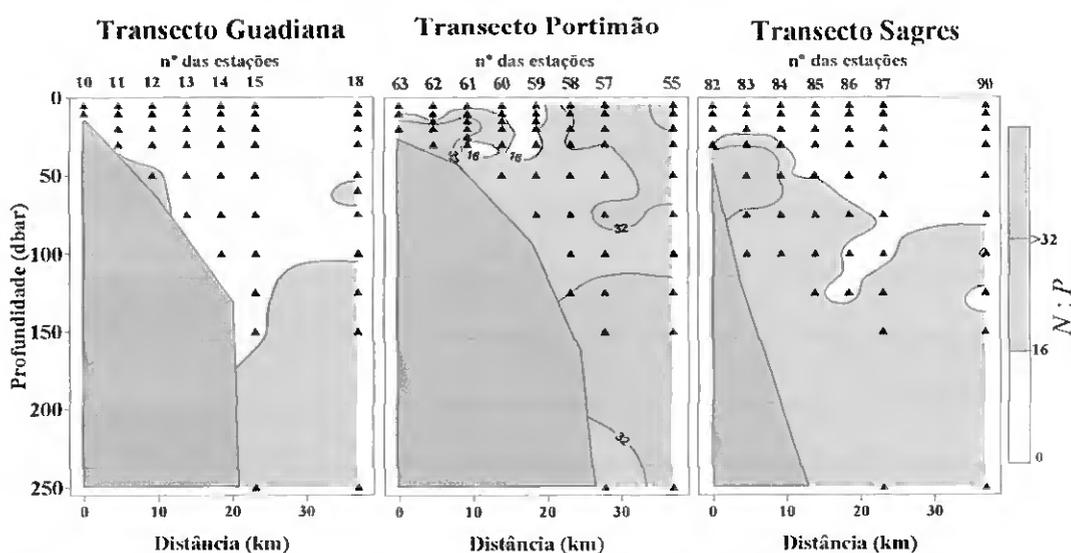


Figura 18 – Representação razão Azoto/Fósforo (N:P) nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

Em Portimão, o azoto foi apenas limitante, nos níveis mais superficiais (até aos 30 m) nas estações mais costeiras (≈ 20 km da costa). Na restante área do transecto o fósforo foi o nutriente limitante.

No que diz respeito aos silicatos (Fig. 19), as concentrações para os três transectos seleccionados, variaram entre 0,2 e 5,7 μM . O transecto Guadiana apresentou valores entre 0,2 e os 3,6 μM . As concentrações mais elevadas foram observadas nos níveis mais profundos, junto à plataforma continental e as concentrações mais baixas foram, em geral, observadas nos níveis superficiais.

No transecto Portimão, foram observadas concentrações compreendidas entre 0,2 e 5 μM . Nos níveis mais superficiais (acima dos 20 m) também se observaram concentrações mais baixas, aumentando a concentração com o aumento da profundidade, sendo evidente a inclinação das isolinhas em direcção à costa.

No transecto Sagres, é também bem notória a inclinação das isolinhas, que seguem a linha de costa. Deste modo, foram observadas concentrações mais elevadas nas estações mais costeiras, diminuindo o valor de concentração com o aumento do afastamento à costa. As concentrações mais baixas (0,2 μM) foram observadas à superfície na estação mais afastada da costa (> 35 km) e as mais elevadas (~ 5,7 μM), nos níveis mais profundos.

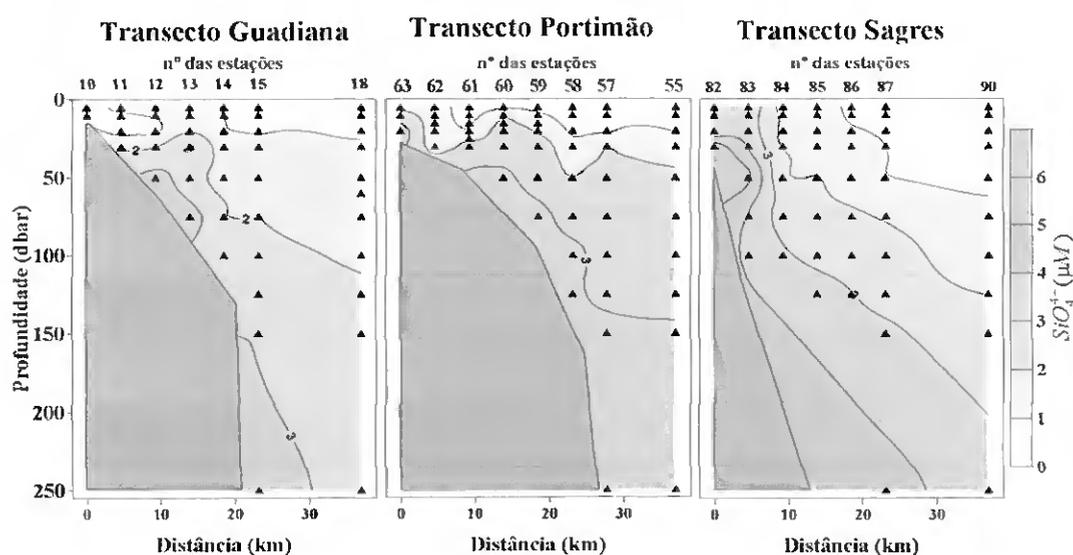


Figura 19 – Representação da concentração de silicatos (μM) nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

No que se refere à comparação entre os três transectos, existe uma grande semelhança entre os três transectos. No entanto, a variação horizontal e vertical em Sagres é mais acentuada do que nos outros dois transectos.

A razão molar Silício: Azoto (Si:N) foi calculada com base na concentração de silicatos dividida pelos nitratos. Através desta relação, também é possível verificar qual dos nutrientes de Si ou N é o limitante para o crescimento de fitoplâncton, particularmente as diatomáceas que assimilam silício para construir o seu exoesqueleto. Esta razão Si:N é, em geral, de 1Si:1N (Brzezinski, 1985).

Quando a razão for inferior a 1 então o silicato é o nutriente limitante, se a razão for superior a 1 então será o azoto o nutriente limitante.

A razão Si:N para os três transectos em estudo está representada na Figura 20. Em todos os transectos, maioritariamente, o silício foi o nutriente limitante ($Si:N < 1$).

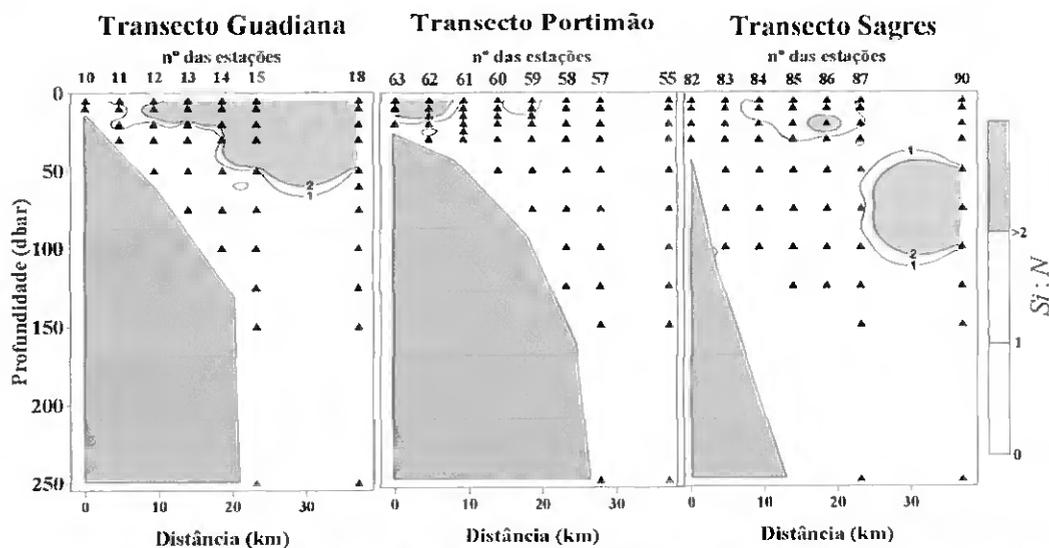


Figura 20 – Representação da Razão Silício/Azoto ($Si:N$) nos três transectos em estudo, Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente.

Este facto poderá dever-se a um empobrecimento de silício relativamente ao nitrato, nestas águas. Apenas em algumas estações mais superficiais, é que se observou o azoto como limitante, o que poderá estar relacionado com a sua mais rápida assimilação por parte de todos os fitoplânctons na camada de água mais superficial, o que já não acontece com o silício. O facto de nos transectos Guadiana e Sagres, se notar um excesso de silício (ou seja limitação de azoto), nas estações mais afastadas da costa, nos níveis até aos 50 metros, no Guadiana e entre os 50 e os 75 m, em Sagres, também se poderá dever à influência de uma massa de água empobrecida em nitrato relativamente à concentração de silicatos presentes.

3.3.5. CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

Através da correlação entre as variáveis estudadas, pode observar-se de que forma os parâmetros se relacionam entre si, em cada um dos transectos estudados. Para cada um deles, as correlações significativas entre as variáveis estão representadas nas Tabelas 2-4. Na representação, os valores a preto correspondem a correlações no intervalo de confiança $\geq 95\%$, e os valores a preto e negrito correspondem a correlação com um intervalo de confiança $\geq 99\%$.

É de salientar que estas correlações foram calculadas para todas as variáveis em estudo, desde a superfície até aos 250 metros de profundidade, excepto a clorofila *a* pois esta foi apenas estudada até aos 75 metros de profundidade da coluna de água.

A partir das Tabelas 2-4, pode observar-se que existem bastantes semelhanças para as correlações encontradas entre variáveis para os 3 transectos analisados. No entanto, os transectos Guadiana e Sagres parecem ser mais semelhantes entre si, nomeadamente por apresentarem correlações mais fortes entre temperatura e salinidade ($r=+0,81$; $r=+0,77$; $p < 0.01$, respectivamente) do que no transecto Portimão ($r=+0,51$; $p < 0.01$). Tal poderá justificar-se pelo facto de nos dois primeiros transectos existir um gradiente vertical e horizontal mais acentuado do que no transecto Portimão, como se pode observar a partir das Figs. 9 e 10. Assim, verticalmente as águas mais quentes e mais salinas foram observadas à superfície diminuindo os valores em profundidade. Horizontalmente, nos níveis até aos 50 metros, as águas mais quentes e salinas foram observadas nas estações mais oceânicas e as mais frias e menos salinas junto à costa. Já no transecto Portimão, a coluna de água foi mais homogênea, havendo uma menor diminuição da temperatura e da salinidade quer em profundidade quer horizontalmente. No entanto, neste último transecto observou-se uma correlação mais forte entre a temperatura e o oxigénio dissolvido ($r=+0,87$; $p < 0.01$) do que nos outros transectos ($r=+0,50$; $r=+0,54$; $p < 0.01$). Ou seja, para os três transectos, os valores mais elevados de oxigénio registaram-se nos níveis mais superficiais (até aos 50 m) onde a temperatura foi mais elevada, como consequência do fitoplâncton (expresso em clorofila *a*) estar mais concentrado nestes níveis, e em particular no transecto Portimão.

Tabela 2 – Correlação entre as variáveis, no transecto Guadiana.

	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>Chl a</i>	<i>O</i> ₂	<i>NO</i> ₃ ⁻	<i>PO</i> ₄ ³⁻
<i>T</i>						
<i>S</i>	0,81					
<i>Chl a</i>	-0,30	-0,38				
<i>O</i> ₂	0,50					
<i>NO</i> ₃ ⁻	-0,83	-0,60		-0,77		
<i>PO</i> ₄ ³⁻	-0,80	-0,63		-0,64	0,80	
<i>SiO</i> ₄ ⁴⁻	-0,73	-0,63		-0,74	0,86	0,85

Tabela 3 – Correlação entre as variáveis, no transecto Portimão.

	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>Chl a</i>	<i>O</i> ₂	<i>NO</i> ₃ ⁻	<i>PO</i> ₄ ³⁻
<i>T</i>						
<i>S</i>	0,51					
<i>Chl a</i>						
<i>O</i> ₂	0,87					
<i>NO</i> ₃ ⁻	-0,84	-0,51		-0,81		
<i>PO</i> ₄ ³⁻	-0,73	-0,31	-0,37	-0,69	0,63	
<i>SiO</i> ₄ ⁴⁻	-0,76	-0,42		-0,67	0,66	0,73

Tabela 4 – Correlação entre as variáveis, no transecto Sagres.

	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>Chl a</i>	<i>O</i> ₂	<i>NO</i> ₃ ⁻	<i>PO</i> ₄ ³⁻
<i>T</i>						
<i>S</i>	0,77					
<i>Chl a</i>		-0,42				
<i>O</i> ₂	0,54		0,57			
<i>NO</i> ₃ ⁻	-0,70	-0,43	-0,36	-0,62		
<i>PO</i> ₄ ³⁻	-0,73	-0,49		-0,64	0,76	
<i>SiO</i> ₄ ⁴⁻	-0,75	-0,60		-0,63	0,89	0,81

Já em relação à salinidade, foram encontradas somente correlações negativas com a clorofila *a* nos transectos Guadiana e Sagres ($r=-0,30$; $p<0.05$; $r=-0,42$; $p<0.01$, respectivamente). Tal poder-se-á explicar pelo facto dos valores mais elevados de clorofila *a* terem sido encontrados até aos primeiros 40 metros de profundidade, nas estações mais costeiras, onde a salinidade foi mais baixa do que nas estações mais afastadas. No que diz respeito aos nutrientes (nitratos, fosfatos e silicatos), verificou-se para os três transectos correlações positivas entre si (mas mais fortes nos transectos Guadiana e Sagres, pelos gradientes verticais e horizontais mais acentuados) e negativas entre estes e a temperatura, salinidade e oxigénio dissolvido, pelas razões anteriormente explicadas. Os nutrientes foram mais elevados nos níveis mais profundos (por maior remineralização de matéria orgânica e menor consumo pelo fitoplâncton), onde estas

variáveis foram mais baixas e mínimas. Nos níveis superficiais onde estas variáveis foram mais elevadas o seu consumo por parte do fitoplâncton é máximo.

Uma vez que os três transectos (até aos 250 metros de profundidade) apresentam características comuns, a matriz de correlação para o total dos dados relativos aos três transectos analisados (Tabela 5) permite verificar que existe uma forte correlação positiva entre temperatura e salinidade ($r=+0,73$; $p<0.01$) pelos gradientes quer verticais quer horizontais observados. Os máximos de oxigénio dissolvido foram observados nos níveis até aos 50 metros de profundidade, onde a temperatura foi mais elevada ($r=+0,61$; $p<0.01$) e onde o fitoplâncton se concentra preferencialmente. Isto é, a variação dos parâmetros não conservativos pode ser particularmente explicada pela actividade biológica. Os nutrientes são consumidos nos níveis mais superficiais e daí as correlações significativas negativas encontradas entre estes e o oxigénio dissolvido, a temperatura e a salinidade ($p<0.01$). Por outro lado e como seria de esperar, os nutrientes entre si revelaram correlações significativas positivas ($\geq +0,71$) pois são consumidos à superfície e remineralizados nos níveis mais profundos de forma semelhante.

Tabela 5 – Correlação entre as variáveis, para os três transectos analisados.

	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>Chl a</i>	<i>O₂</i>	<i>NO₃⁻</i>	<i>PO₄³⁻</i>
<i>T</i>						
<i>S</i>	0,73					
<i>Chl a</i>		-0,29				
<i>O₂</i>	0,61					
<i>NO₃⁻</i>	-0,76	-0,46		-0,71		
<i>PO₄³⁻</i>	-0,71	-0,41	-0,23	-0,62	0,71	
<i>SiO₄⁴⁻</i>	-0,73	-0,55		-0,64	0,80	0,75

4. DISCUSSÃO

Relativamente à influência do escoamento dos rios na zona costeira, nos transectos Guadiana e Portimão, uma vez que a precipitação foi muito baixa ou inexistente e os caudais do rio Guadiana e do rio Arade também bastante baixos (16 e 0,48 m³/s – caudais mensais médios, respectivamente), esta praticamente não se fez sentir na zona costeira adjacente. Tendo em consideração a salinidade, nos dois transectos adjacentes à foz destes dois rios, à superfície não houve evidência da presença de água doce, uma vez que os valores de salinidade foram em geral > 35,9. Por outro lado é importante salientar que a presença das plumas de água doce, na maioria das vezes, só é observada nos primeiros metros de coluna de água (<3 metros de profundidade) e o primeiro nível amostrado neste trabalho correspondeu a 5 metros, numa estação a ≈5 km da costa. A ausência da influência de água doce também pode ser confirmada pelas baixas concentrações de silicatos encontradas à superfície, que é o nutriente melhor traçador da presença de água doce (Hunt & Foster, 1977; 1985).

É conhecido que os rios representam uma fonte muito importante de nutrientes para a zona costeira (Cruzado *et al.*, 2002; Sierra *et al.*, 2002) e em alturas em que o caudal dos mesmos aumenta substancialmente, em períodos de forte precipitação, as concentrações de nutrientes aumentam de forma muito acentuada. Infelizmente na área de estudo, nestas condições, conhecem-se muito poucos trabalhos na área da Oceanografia Química, nomeadamente o realizado junto à foz do rio Guadiana (Cravo *et al.*, 2006). Aqui, em Fevereiro de 2001, após um período de precipitação intensa, o caudal do rio aumentou acentuadamente (~2000 m³/s) e foi observada na zona costeira adjacente uma pluma de água mais doce com valores mínimos de salinidade entre 22,2 e 23,7. Nesta pluma encontraram-se valores de nitratos até 44,7 μM, de fosfatos até 2,5 μM e de silicatos até 51,9 μM (Cravo *et al.*, 2006). Estes valores são bastante elevados (cerca de uma ordem de grandeza) quando comparados com zonas em oceano aberto ou mesmo em zonas costeiras sem influência significativa de descarga de rios.

Quanto à influência dos ventos, durante o decorrer do cruzeiro oceanográfico houve alteração do regime dos mesmos, apesar destes terem sido predominantes do quadrante norte, com oscilações para oeste e este e de fraca intensidade (< 8 m/s). No entanto, é de referir que no primeiro dia do cruzeiro o vento foi de Este (Fig. 2; Anexo I).

Com base na observação das imagens de satélite SST (Fig. 8-a e Fig. 1 - Anexo I) e através da caracterização física e química da zona costeira estudada, foi possível identificar duas massas de água com características distintas: i) uma com temperatura e salinidade relativamente mais baixas, características de afloramento nas zonas mais costeiras e ii) outra com temperatura e salinidade mais elevadas na zona mais oceânica, particularmente nos transectos Guadiana e Sagres, aparentemente proveniente do Golfo de Cádiz. No entanto, é de salientar que esta massa de água, não corresponde à contracorrente costeira que tem sido identificada muito junto à costa na área de estudo (Relvas & Barton, 2002, Garcia-Lafuente *et al.*, 2006; Navarro & Ruiz, 2006; Ruiz *et al.*, 2006).

Em resumo, a influência do forçamento físico condicionado pela alternância ventos foi evidente, o que fez com que a hidrologia e processos químicos e biológicos associados, fossem nesta zona costeira bastante dinâmicos e variáveis quer temporal quer espacialmente. No entanto, a partir dos resultados obtidos, pode afirmar-se que existe semelhança a nível das características físico-químicas da água entre os três transectos, como comprovado pelas fortes correlações observadas entre as variáveis analisadas para os três transectos (Tabela 5). Contudo, os transectos Guadiana e Sagres foram mais semelhantes entre si (Tabelas 2-4), pela evidência da presença simultânea de afloramento costeiro junto à costa e uma massa de água (mais quente e mais salina) ao largo que aparentemente circula ciclonicamente em direcção a oeste, por ter ocorrido relaxamento do vento de Norte-Noroeste. Já no transecto Portimão só foi observado afloramento costeiro ao longo de toda a extensão do transecto.

O transecto Guadiana foi realizado durante o 1º dia do cruzeiro, altura em que o vento foi de Este. No entanto, no período anterior (de 26 a 29 de Setembro de 2006; Fig. 1 do Anexo I), pela análise das imagens de SST, o vento foi de norte, o que permitiu que o fenómeno de afloramento costeiro fosse evidente na costa Oeste e Sul de Portugal. Assim, foi possível identificar águas mais frias, junto à costa, por resultado do afloramento costeiro, uma vez que apesar de fracos os ventos foram favoráveis ao seu desenvolvimento. No entanto, pode ser considerado de baixa intensidade, uma vez que não se estende para além dos 15 km de distância à costa. A partir daqui em direcção ao largo foi identificada a água proveniente do Golfo de Cádiz, onde as águas foram águas mais quentes e salinas. Os dados de salinidade e temperatura, confirmam estes dados, uma vez que existiu um forte gradiente horizontal à superfície, cujas temperaturas e salinidades foram 17º e 36,2 junto à costa e superior a 22º e 36,5 nas estações mais

longínquas. Estas diferenças foram particularmente visíveis nos primeiros 20 metros de coluna de água. Abaixo destas profundidades, com base nos diagramas T-S (Fig. 1 – Anexo II) parece evidente a presença da SAW (Surface Atlantic Water), a qual assume valores de temperatura na ordem dos 17 °C e salinidades na ordem dos 36,5, a qual está identificada nos gráficos com a letra A. Foi também identificada a NACW (North Atlantic Central Water), com a letra B a qual assume valores de temperatura na ordem dos 13 °C e de salinidade, cerca de 35,8, tal como registado por Criado-Aldeanueva *et al* (2006), na área do Golfo de Cádiz. A última massa de água identificada nestes diagramas (C) foi a Veia Mediterrânica (VM), a qual tem salinidade consideravelmente mais elevada, comparativamente com as restantes massas de água identificadas, mas a níveis bastante mais profundos (> 400-500 m). Esta massa de água é caracterizada por salinidades cerca de 36,5 e cujas temperaturas rondam os 13 °C, tal como observado por Cabeçadas *et al.* (2002), nesta região de estudo, a profundidades entre os 300 e 500 metros. Neste transecto, também as concentrações de clorofila *a* nos níveis superficiais até aos 50 m permitem definir as duas massas de água identificadas: i) a água aflorada, junto à costa (20-30 m), com concentrações > 1 µg l⁻¹ e ii) água quente proveniente do Golfo de Cádiz nas estações mais afastadas da costa, com concentrações ≤ 0,25 µg l⁻¹.

O transecto Portimão foi amostrado no 4º dia do cruzeiro oceanográfico, altura em que o vento foi predominante de norte. Através do registo de ventos (Fig. 2 do Anexo I), também é possível observar que os ventos favoráveis ao afloramento costeiro apenas relaxaram no dia 1 de Outubro. Pela análise das imagens de SST (Fig. 6a e Fig. 1 do Anexo I) também se pode confirmar a ocorrência mais intensa de afloramento costeiro em toda a extensão do transecto, sem influência aparente da água proveniente do Golfo de Cádiz. A temperatura superficial neste transecto foi visivelmente mais fria do que nos restantes transectos. Pelo facto de nesta região costeira a plataforma continental ser mais larga (Fig. 9) poderá também favorecer a subida/afloramento mais rápida da água uma vez que a coluna de água se torna menos profunda. A concentração de clorofila *a* atingiu neste transecto o valor máximo absoluto (3,1 µg l⁻¹) e a sua distribuição horizontal foi caracterizada por concentrações mais elevadas do que nos outros transectos, em quase toda a sua extensão. Deste modo, parece evidente que houve uma maior disponibilidade nutrientes neste transecto, que não se pode atribuir ao escoamento do rio Arade, mas sim ao evento mais forte de afloramento costeiro.

O transecto Sagres foi amostrado no 5º dia do cruzeiro oceanográfico, altura em que se registaram igualmente ventos de norte (Fig. 2 – Anexo I), mas pelas imagens de SST (Fig. 1 – Anexo I) é visível afloramento junto à costa mas também a presença da água proveniente do Golfo de Cádiz, nas estações mais ao largo, tal como observado no 1º dia, para o transecto Guadiana. Ou seja, para este transecto, houve grande similaridade de resultados com o transecto Guadiana, que podem ser explicados por mecanismos bastante semelhantes.

Em geral, para os três transectos, mais junto à costa onde se observou afloramento costeiro, verificou-se, que nos níveis onde a concentração de clorofila *a* foi mais elevada (< 50 m) as concentrações de nutrientes foram baixas. Tal significa que após o enriquecimento da camada superficial da água em nutrientes houve tempo e/ou condições de estabilidade propícias para o crescimento do fitoplâncton, particularmente em Portimão. Relativamente aos silicatos, estes apresentaram um comportamento ligeiramente diferente dos restantes nutrientes, pois à superfície não foram observadas concentrações tão baixas, que se poderão explicar pelo facto de serem um nutriente mais selectivo, apenas utilizado por alguns grupos de fitoplâncton como é o caso das diatomáceas.

É de salientar que na região mais afastada da zona costeira, as concentrações de clorofila *a* e nutrientes foram relativamente mais baixas do que na zona mais costeira, uma vez que aqui a disponibilidade de nutrientes é muito menor do que na costa. Por outro lado nas zonas onde se observou a influência da água do Golfo de Cádiz, as concentrações quer de nutrientes quer de clorofila *a* foram mais baixas pois são características de águas oligotróficas (baixa produtividade biológica) (Navarro & Ruiz, 2006; Garcia-Lafuente and Ruiz (2007). A partir do conjunto de dados recolhidos poder-se-á caracterizar a água proveniente do Golfo de Cádiz pelas características indicadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Caracterização da água proveniente do Golfo de Cádiz.

Água proveniente do Golfo de Cádiz	<i>T</i>	<i>S</i>	Chl <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)	NO_3^- (μM)	PO_4^{3-} (μM)	SiO_4^{4-} (μM)
Guadiana e Sagres	18 -23º	36,3 - 36,6	$\leq 0,25$	≤ 1	$\leq 0,1$	≤ 1

Para a área de estudo, não existem muitos trabalhos na área da Oceanografia Química, relativos à camada sub-superficial do Oceano (até aos 250 m), onde a influência dos forçamentos físicos superficiais bem como a actividade biológica é mais

forte. Da bibliografia disponível, relevante para este estudo, compilou-se e resumiu-se a informação relativa à camada superficial do Oceano na Tabela 7. Esta permite a comparação das concentrações de clorofila *a* e nutrientes obtidas neste estudo com as observadas na zona do Golfo de Cádiz bem como noutras zonas a nível mundial. Nesta área de estudo, existem ainda alguns trabalhos onde é descrita a variabilidade espacial dos nutrientes, clorofila *a* e oxigénio dissolvido, mas a níveis bastante mais profundos. Estes tiveram como objectivo estudar a dispersão da Água Mediterrânica no Oceano Atlântico, o que não é particularmente importante para o presente estudo (Ambar *et al.*, 2002; Cabeçadas *et al.*, 2002; Brogueira, *et al.*, 2004).

No que diz respeito às concentrações de clorofila *a*, os máximos medidos nas três secções em estudo, foram 2,7, 3,1 e 1,2 $\mu\text{g l}^{-1}$, nos transecto Guadiana, Portimão e Sagres, respectivamente. Estes podem ser considerados valores relativamente elevados, pois os valores médios para oceano aberto, nesta região e estação do ano estão compreendidos entre 0,1-0,3 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Moita, 2001), bem como para outras regiões do mundo ($< 0,5 \mu\text{g l}^{-1}$; Tabela 7) como encontrado no NW da Península Ibérica (Barbosa *et al.*, 2001; Smyth *et al.*, 2001), no Golfo da Biscaia (Gil *et al.*, 2006), Ilhas Canárias (Barton *et al.*, 1998; 2004; Garcia Muñoz *et al.*, 2004).

Tabela 7 – Concentrações de clorofila *a* ($\mu\text{g l}^{-1}$), nitratos, fosfatos, silicatos (μM) observadas na camada superficial em diferentes regiões do Oceano.

<i>Locais</i>	<i>Observações</i>	<i>Chl a</i>	NO_3^-	PO_4^{3-}	SiO_4^{4-}	<i>Referência</i>
Guadiana	Zona costeira (aflorentamento)	2,7	<2	<0,2	<1	Este estudo
	Zona oceânica (Golfo de Cádiz)	<0,1	<1	<0,1	<1	
Portimão	Zona costeira (aflorentamento)	3,1	<1	<0,1	<3	
	Zona oceânica (aflorentamento)	<0,75	<1	<0,1	<1	
Sagres	Zona costeira (aflorentamento)	1,2	3	0,4	4	
	Zona oceânica (Golfo de Cádiz)	<0,25	<1	<0,3	0,2	
Guadiana (Abril-Maio 1992)	Zona costeira		<3,5	<0,8	2,2	Baptista (1997)
	Zona oceânica		<1	<0,5	2,7	
Sagres (Abril-Maio 1992)	Zona costeira		3	<0,8	<2,8	
	Zona oceânica		<1	<0,7	<1	

Cabo de São Vicente Outubro 1985	Zona costeira (afloramento)	2	0,1	<0,2	0,1	Moita (2001)
	Águas oceânicas (afloramento)	>0,1	1	0,2	1	
Guadiana	Zona costeira		<2	0,4	2	Cravo <i>et al.</i> (2003)
	Zona oceânica		<1	0,1	1	
Guadiana	Zona costeira		<2	0,5	<2	Cravo <i>et al.</i> (2006)
	Zona oceânica		<1	0,25	<1	
Cabo de São Vicente (até 50 m prof.)	Outubro 2004 (afloramento)	3,6	<2	<0,1- 0,2	<1-2	Cardeira (2005)
Guadiana (Maio 2001)	Contracorrente	<2	<2			Ruiz <i>et al.</i> (2006)
	Afloramento	2-4	<1			
Golfo Cádiz (afloramento- Maio 2001)	Zona costeira		<2	<0,5	<0,5	Navarro <i>et al.</i> (2006)
	Contracorrente (Maio 91)		8	0,5	3,2	
Cabo Finisterra	(Julho 84)		7	0,5	3	Castro <i>et al.</i> (2000)
NW Península Ibérica (Agosto, 98)	Zona Costeira	0,14- 2,91	3			Barbosa <i>et al.</i> (2001)
	Águas oceânicas	<0,3	4,2-5,6			
NW da Península Ibérica (Agosto 98)	Zona costeira	0,2-2,0	<4			Joint <i>et al.</i> (2001b)
NW da Península Ibérica (Agosto 98)	Zona costeira (afloramento)	0,2-0,4				Smyth <i>et al.</i> (2001)
	Águas oceânicas (afloramento)	0,3-0,45				
NW Península Ibérica	Plataforma continental (afloramento)	2	3,6		1,4	Varela <i>et al.</i> (2001)
Golfo da Biscaia	Afloramento	<0,5	<2		<1	Gil <i>et al.</i> (2002)
Ilhas Canárias (Outubro, 91)	Zona norte	<0,15	<1		<1	Barton <i>et al.</i> (1998)
	Zona sul	<0,42	<2		<1	
Cabo Juby	Zona costeira	0,5-2				Barton <i>et al.</i> (2004)
	Águas oceânicas	0,1				
NW África- Ilhas Canárias	Zona costeira	<3				Garcia-Muñoz <i>et al.</i> (2004)
	Águas oceânicas	<0,5				
NW África	Zona costeira	<0,7	<4			Garcia-Muñoz <i>et al.</i> (2005)
	Águas oceânicas	<1,4	<4			
Cabo Blanco, Oregon	Zona costeira			0,1-1,8	<1-33	van Geen <i>et al.</i> (2000)

Baía Mejillones, Chile (alforamento)	Zona costeira	3,2	2,13	1,4	16,55	Valdés <i>et al.</i> (2007)
	Zona mais afastada	2,73	1,04	1,13	17,39	

No entanto, são relativamente semelhantes aos máximos encontrados em regiões sob efeito de afloramento costeiro (Tabela 7), como na zona mais costeira frente ao cabo de São Vicente (Moita, 2001; Cardeira, 2005), frente ao rio Guadiana (Ruiz *et al.*, 2006) e noutras regiões como no NW da Península Ibérica (Barbosa *et al.*, 2001; Joint *et al.*, 2001b; Varela *et al.*, 2001), nas Ilhas Canárias (Garcia-Muñoz *et al.*, 2004) e no Chile (Valdés *et al.* (2007). São ainda ligeiramente superiores aos encontrados por Barton *et al.* (1998; 2004) e Garcia-Muñoz *et al.* (2005) nas Ilhas Canárias e Smyth *et al.* (2001) no NW Península Ibérica ($\leq 0,5 \mu\text{g l}^{-1}$; Tabela 7).

Tendo em conta a percentagem de degradação clorofila *a* nos níveis até aos 50 metros de profundidade, os valores foram, em geral $< 50 \%$. É possível constatar que o fitoplâncton que predomina nestas zonas está em boas condições de desenvolvimento (vivo), situação representativa de uma população fitoplanctónica jovem e que se reflectiu no seu valor máximo observado no transecto Portimão ($3,1 \mu\text{g l}^{-1}$).

Quanto aos nutrientes, para os nitratos, as concentrações encontradas na zona mais costeira, nos níveis superficiais ($< 2 \mu\text{M}$) foram semelhantes às encontradas por outros autores nesta região de estudo (Baptista, 1997; Cravo *et al.*, 2003; 2006, Cardeira, 2005; Navarro *et al.*, 2006; Ruiz *et al.*, 2006), no NW da Península Ibérica e Golfo da Biscaia (Joint *et al.*, 2001-a; Gil *et al.*, 2006, respectivamente – Tabela 7). No entanto, estas são concentrações relativamente baixas quando comparadas com as observadas por vários autores noutras regiões oceânicas como no NW da Península Ibérica, $7-8 \mu\text{M}$ (Castro *et al.*, 2000) $< 4 \mu\text{M}$ (Joint *et al.*, 2001-b) e NW África, $< 4 \mu\text{M}$ (Garcia-Muñoz *et al.*, 2005; Tabela 7).

No entanto, para as águas provenientes do Golfo de Cádiz ($< 1 \mu\text{M}$), estes são valores mais baixos que os encontrados por Ruiz *et al.* (2006), na zona costeira adjacente à foz do rio Guadiana, numa massa de água identificada como de contracorrente costeira ($< 2 \mu\text{M}$; Tabela 7), o que poderá dever-se não só ao diferente período em que os cruzeiros foram realizados (Outubro e Maio) mas também por influência de fontes de entrada de nutrientes associada ao escoamento do rio Guadalquivir (Ruiz *et al.*, 2006).

Quanto aos fosfatos, as concentrações nas estações mais costeiras e até aos 50 m de profundidade também foram baixas ($< 0,1-0,4 \mu\text{M}$), relativamente semelhantes aos valores encontrados por Baptista (1997), para a zona costeira adjacente ao rio Guadiana

e a Sagres, Moita (2001) e Cardeira (2005) frente a Sagres, por Cravo *et al.* (2003; 2006), na zona costeira adjacente à foz do rio Guadiana, por Navarro *et al.* (2006) no Golfo de Cádiz e por Castro *et al.* (2000) no NW da Península Ibérica (Tabela 7). Estas concentrações são, no entanto, muito baixas quando comparadas com as obtidas por van Geen *et al.* (2000) (~1,8 μM) no Cabo Blanco e por Valdés *et al.* (2007), na Baía Mejillones, Chile (~1,4 μM ; Tabela 7).

Relativamente aos silicatos, nos níveis mais superficiais as concentrações (<1-4 μM) foram semelhantes aos valores observados por Baptista (1997), Cravo *et al.* (2003; 2006), Cardeira (2005) no SW de Portugal, por Castro *et al.* (2001) no Cabo Finisterra, e Gil *et al.* (2002) no Golfo da Biscaia. Estes são, contudo, superiores aos referidos, quer por Moita (2001) e Navarro *et al.* (2006) na área SW de Portugal quer por Varela *et al.* (2001) no NW Espanha ou Barton *et al.* (1998) nas Ilhas Canárias. Podem, no entanto, ser consideradas concentrações bastante mais baixas quando comparadas com as máximas registadas por van Geen (2000), no Cabo Blanco, Oregon.

Ainda em relação à concentração dos principais nutrientes, verticalmente, observou-se que para os três transectos estudados, quer junto à costa quer nas estações mais longínquas os valores aumentaram com o aumento da profundidade, o que é considerada uma distribuição vertical típica. Tal deve-se ao facto dos processos biológicos serem mais intensos nas águas de superfície, onde se dá o consumo dos compostos de azoto, fósforo e silício por parte dos fitoplânctons e a sua reposição em profundidade pelo facto da remineralização da matéria orgânica prevalecer sobre o consumo dos nutrientes pelo fitoplâncton. No entanto, é de salientar que nos níveis mais profundos, no transecto Sagres se observaram concentrações mais elevadas de nutrientes, o que se poderá explicar pelo facto desta zona ser reconhecida como uma zona de afloramento costeiro recorrente, de elevada actividade biológica. Ou seja, aqui pode ocorrer uma taxa de remineralização de matéria orgânica em profundidade mais intensa do que na região de Portimão ou frente à foz do rio Guadiana.

A distribuição vertical e os valores da concentração de nutrientes e oxigénio dissolvido (expressos em μM) obtidos até aos 250 m de profundidades neste estudo podem considerar-se semelhantes aos indicados por Cabeçadas *et al.* (2002), nos níveis ~ até 400 m, em duas secções analisadas até aos 1200 m, frente ao rio Guadiana e a Portimão.

Os nutrientes são consumidos simultaneamente pelo fitoplâncton embora em proporções diferentes, segundo a razão molar considerada óptima – 16 N: 16 Si: 1 P,

(Redfield *et al.*, 1963; Brzezinski, 1985). Os desvios a estas razões têm sido usados de forma a inferir qual dos nutrientes pode ser limitante para o crescimento fitoplanctónico (Howarth, 1988). No que respeita à razão azoto: fósforo (N:P), para os três transectos (Fig. 18), verificou-se que em grandes extensões e em particular nos níveis mais superficiais (até 50 m), onde há a maior concentração de fitoplâncton o azoto foi o elemento limitante, uma vez que esta razão foi menor do que 16, como é frequentemente encontrado para zonas costeiras (incluindo onde ocorre afloramento costeiro) (Alvarez-Salgado *et al.*, 1997; Zéldis, 2004; Edwards *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2005; D'Croz & O'Dea, 2007). Foi calculada a razão N:P para todos os dados de cada transecto (Fig. 21) e através dos declives obtidos para as regressões lineares entre as concentrações de $\text{NO}_3^-:\text{PO}_4^{3-}$ verificou-se que o azoto foi o elemento limitante para os transectos Portimão e Guadiana ($\approx 12,6$ e $13,2$, respectivamente). Já para o transecto Sagres, pode considerar-se que a razão $\text{NO}_3^-:\text{PO}_4^{3-}$ ($\approx 15,8$) é muito próxima da considerada óptima de assimilação para o fitoplâncton ($\text{NO}_3^-:\text{PO}_4^{3-} = 16$), possivelmente por corresponder a uma zona de elevada produtividade, com recorrente enriquecimento em nutrientes de N e P, por ocorrência de afloramento costeiro e nesta altura a concentração de clorofila *a* foi a mais baixa dos três transectos

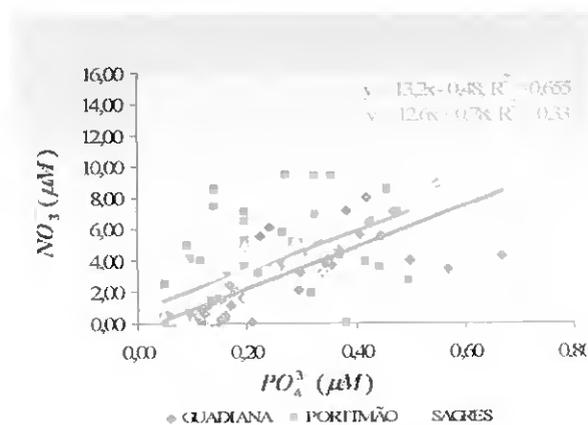


Figura 21 – Representação da razão Azoto: Fósforo para os três transectos em estudo.

Nesta área de estudo, nos níveis mais superficiais das estações mais costeiras, nomeadamente em frente à foz do rio Guadiana e a Sagres, já foi também encontrado limitação de azoto (razão N:P <16) por Baptista (1997) e Cardeira (2005) bem como por

Alvarez-Salgado *et al.* (1997) e Prego *et al.* (1999) no NW Península Ibérica e Ramírez *et al.* (2005) no NW do Mar de Alboran.

Em relação à razão molar Si:N que teoricamente dever ser igual a 1, verificou-se que em geral, o silício foi o elemento limitante para os três transectos (Fig. 20). Quando analisada esta relação para todos os níveis amostrados, este facto é confirmado (Fig. 22), pois os declives obtidos para as regressões lineares entre as concentrações molares de SiO_4^{4-} : NO_3^- foram sempre inferiores a 1. O valor mais baixo foi encontrado no transecto Portimão (SiO_4^{4-} : $\text{NO}_3^- = 0,22$), o que revela que a limitação deste elemento é máxima neste transecto. Tal poderá dever-se ao desenvolvimento mais acentuado de fitoplâncton (clorofila $a = 3,1 \mu\text{g l}^{-1}$), que possivelmente inclui diatomáceas, um grupo muito comum em água afloradas (Moita, 2001). No transecto Guadiana a razão molar SiO_4^{4-} : NO_3^- foi cerca de 0,28 enquanto no transecto Sagres cerca de 0,33. A limitação em silício em zonas de afloramento costeiro é recorrente, uma vez que a remineralização das frústulas das diatomáceas em decomposição na coluna de água é mais lenta do que para os compostos de azoto. No entanto, na camada superficial o nitrato foi o nutriente limitante (Figura 20) devido ao seu mais rápido consumo pelo fitoplâncton, tal como referido por Ramírez *et al.* (2005).

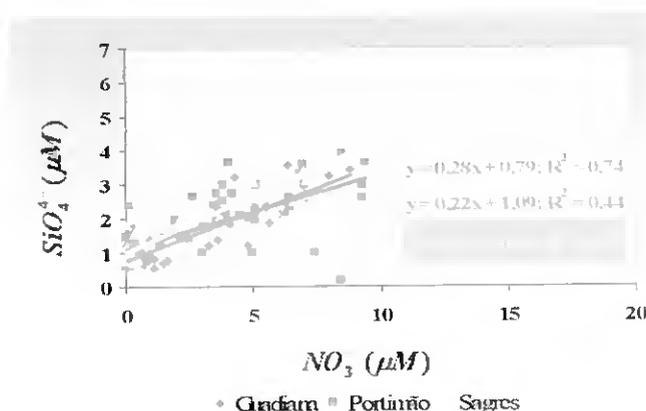
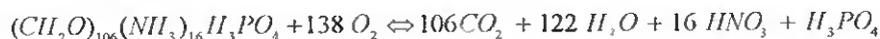


Figura 22 – Representação da razão Si:N, para os três transectos em estudo.

É ainda conhecido que a remineralização é a principal fonte de reposição de nutrientes para a coluna de água quando os processos de entrada externos são limitados. Assim, através da razão de Redfield, abaixo descrita, pode calcular-se em equilíbrio a quantidade de nutrientes que se formam a partir da decomposição da matéria orgânica.

Sabe-se que uma mole matéria orgânica regenera os nutrientes para a coluna de água na proporção molar de 106 C: 16 N: 1 P, gastando para tal 138 moles de oxigénio dissolvido.



Tal significa que em equilíbrio, a razão molar $-O_2 : NO_3^-$, que representa o balanço entre a regeneração dos nitratos e o consumo de oxigénio dissolvido, é cerca de 9 (Redfield *et al.*, 1963, Pérez *et al.*, 2001-a). Deste modo, quando as razões obtidas são inferiores a 9, considera-se que a regeneração dos nitratos a partir da remineralização da matéria orgânica (respiração) prevalece sobre a síntese da mesma (fotossíntese) e o contrário quando as razões são maiores do que 9. Esta razão foi calculada para os três transectos em estudo e está representada na Figura 23. A partir desta Figura pode constatar-se, que para qualquer um dos transectos, os valores desta razão, dada pelo declive da regressão linear entre as concentrações (em μM) de $-O_2 : NO_3^-$ foram bastante inferiores a 9. O maior desvio foi encontrado em Sagres ($-O_2 : NO_3^- = 2,4$), seguido pelo transecto Guadiana ($-O_2 : NO_3^- = 4,4$) e por fim o de Portimão ($-O_2 : NO_3^- = 5,5$). Tal parece comprovar que, de facto, na zona de Sagres a remineralização da matéria orgânica causa uma maior reposição de nutrientes na coluna de água do que nos restantes transectos. No transecto Portimão, esta razão foi mais elevada pois foi aqui que a actividade fotossintética foi mais elevada, o que se traduziu num aumento da concentração de oxigénio e de clorofila a , nos níveis até aos 50 metros de profundidade. como comprovado a partir dos valores máximos de concentração de clorofila a e % de saturação de oxigénio dissolvido (Tabela I; Figs. 11 e 15).

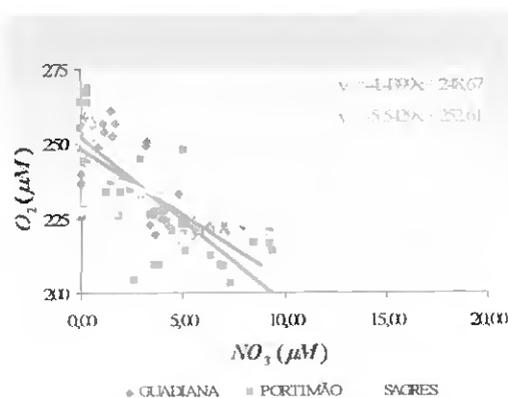


Figura 23 – Representação da razão Azoto $O_2 : NO_3^-$ (b), para os três transectos em estudo.

As razões obtidas nos três transectos são relativamente inferiores aos valores observados para a ENACW ($-O_2: NO_3^- = 6,4$), no NW de Espanha, também considerados mais baixos do que o esperado para a remineralização da matéria orgânica (Pérez *et al* (2001-a).

Tentando ainda avaliar a influência dos processos biológicos na coluna de água, através dos resultados obtidos do oxigénio nos três transectos analisados, observaram-se somente valores de supersaturação de oxigénio (Fig. 15) (e AOU negativos; Fig. 1 - Anexo III) nas camadas mais superficiais, até aos 20-30 metros de profundidade. Foi aqui que se encontraram, em geral, as concentrações de clorofila *a* mais elevadas (Fig. 11), isto é, onde a actividade primária foi superior à respiração. Abaixo desta camada até aos 250 m de profundidade há prevalência dos processos de respiração/degradação da matéria orgânica, com AOU positivos. Nas estações mais costeiras, junto ao bordo da plataforma continental foram também encontradas para os três transectos isolinhas de percentagem de saturação de oxigénio correspondentes a valores relativamente baixos (com correspondentes valores de AOU mais positivos), o que também confirma a ocorrência de afloramento, uma vez que a água que ressurge de níveis mais profundos é mais pobre em oxigénio, que foi gasto na remineralização da matéria orgânica ao longo da coluna de água.

Os valores de AOU encontrados neste estudo, que dão uma ideia do gasto ou da produção de oxigénio dissolvido, variaram, em geral, entre -30 e 40 μM . Excepcionalmente foi encontrado um valor máximo absoluto de 68 μM , no transecto do Guadiana, no nível mais profundo onde a quantidade de matéria orgânica em decomposição poderá ter sido de forma pontual mais elevada. Comparativamente, com outros estudos, estes valores são relativamente semelhantes aos encontrados numa secção frente a Faro, Sul de Portugal (10-30 μM) entre os 100 e os 300 m de profundidade (Brogueira *et al.*, 2004), na ENACW, na zona NW de Espanha (-10 e 30 μM ; Castro *et al.*, 2000 e -40 e 20 μM ; Pérez *et al.*, 2001-a) e na zona NW da costa Neozelandeza, entre a superfície e os 300 m numa situação de final do verão (0-70 μM ; Zéldis, 2004).

5. CONCLUSÕES

Foram analisados parâmetros físico-químicos da água marinha da plataforma continental do Algarve, num total de 220 amostras de água recolhidas em 22 estações ao longo de 3 transectos meridionais efectuados no embarque do NRP “D. CARLOS I”, no âmbito do cruzeiro CIMA 2006.

As profundidades da coluna analisadas neste estudo corresponderam a uma zona sub-superficial (250 m) onde actividade fitoplanctónica é mais intensa bem como os forçamentos físicos causados por acção de ventos e correntes e a influência do escoamento de rios.

Quanto à influência dos rios, uma vez que os caudais e a precipitação foram muito reduzidos no período de estudo, não foi observada uma influência assinalável dos mesmos sobre a zona costeira.

Quanto à influência dos ventos, estes foram predominantes de norte e noroeste, apesar de algumas alterações no regime e intensidade dos mesmos. Assim, na área de estudo, identificou-se a ocorrência de afloramento costeiro, particularmente mais forte no transecto Portimão. No entanto, os ventos relaxaram dia 1 de Outubro, o que não foi suficiente para o desenvolvimento da contracorrente costeira (CCC), não tendo sido possível a sua caracterização.

Na região mais ao largo, particularmente nos transectos Guadiana e Sagres foi identificada uma massa de água mais quente e salina, aparentemente proveniente do Golfo de Cádiz que parece girar ciclonicamente em direcção a Oeste, mas que não corresponde à CCC que se desloca para oeste, em alturas de vento não favorável ao afloramento costeiro. Ou seja, a influência do forçamento físico condicionada pela acção do vento foi evidente, o que fez com que a hidrologia e processos químicos e biológicos associados, fossem nesta zona costeira dinâmicos e variáveis quer temporal quer espacialmente.

O afloramento costeiro foi caracterizado por águas enriquecidas em nutrientes, mais frias e menos salinas do que as águas circundantes do Golfo de Cádiz, que suportaram elevada produção primária o que se reflectiu nas elevadas concentrações de clorofila *a* observadas no Transecto de Portimão (3,1 µg/L) considerados relativamente elevados para esta época do ano (Outubro). Este é um fenómeno recorrente na zona costeira do sul de Portugal, desde que ocorram ventos favoráveis de Norte ou de Oeste.

As águas circundante do Golfo de Cádiz foram caracterizadas por valores mais elevados de temperatura e salinidade e mais pobre em nutrientes e clorofila a , podendo ser, por isso, consideradas oligotróficas.

Pode assim afirmar-se que os forçamentos físicos foram os principais controladores dos processos oceanográficos que ocorrem na coluna de água e em particular nas zonas costeiras na costa Sul de Portugal, uma vez que estas estão sob a forte influência dos forçamentos físicos provocados pelos principais comportamentos do Globo (Oceano, Continente e Atmosfera).

TRABALHO FUTURO

Seria de todo o interesse conseguir caracterizar a costa Sul de Portugal numa altura em que ocorresse um aumento substancial dos caudais dos rios, de forma a quantificar-se a contribuição dos mesmos como fonte de nutrientes e a sua influência a nível de produção primária.

Para complementar este estudo, seria fundamental compreender a dinâmica deste sistema, através da análise da velocidade das correntes. Este trabalho permitiria conhecer a circulação/hidrodinâmica das massas de água na zona de estudo bem como calcular transportes e fluxos dos compostos químicos nos transectos analisados.

Seria ainda interessante caracterizar a variabilidade vertical dos parâmetros químicos a níveis mais profundos, pois como foi detectado nos diagramas T-S, há também na área estudada influência da Água Mediterrânica a partir dos 400-500 m, que tem características distintas da NACW.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez-Salgado X. A., Castro C. G., Pérez F. F., Fraga F., 1997. Nutrient mineralization patterns in shelf waters of the Western Iberian upwelling *Continental Shelf Research* 17 (10), 1247-1270.
- Alvarez-Salgado, X. A., Doval, M. D., Borges, A. V., Joint, I., Frankignoulle, M., Woodward, E. M. S., Figueiras, F. G. (2001). Off-shelf fluxes of labile materials by an upwelling filament in the NW Iberian Upwelling System. *Progress in Oceanography* 51, 321-337.
- Ambar I., Serra, N., Brogueira, M. J., Cabeçadas, G., Abrantes, F., Freitas, P., Gonçalves C., N. Gonzalez (2002). Physical, chemical and sedimentological aspects of the Mediterranean outflow off Iberia *Deep Sea Research Part II*, 49, 4163-4177.
- Barbosa, A. B., Galvão, H. M., Mendes, P. A., Álvarez-Salgado, X. A., Figueiras, F. G., Joint, I. (2001). Short-term variability of heterotrophic bacterioplankton during upwelling off the NW Iberian margin. *Progress in Oceanography* 51, 339-359.
- Barton, E. D., Aristegui, J., Tett, P., Cantón, M., Garcia-Braun, J., Hernández-Léon, S., Nykjaer, L., Almeida, C., Almunia, J., Ballesteros, S., Basterretxea, G., Escánez, J., Garcia-Weill, L., Hernández-Guerra, A., López-Laatzén, F., Molina, R., Motero, M. F., Navarro-Pérez, E., Rodríguez, J. M., van Lenning, K., Vélez, H., Wild, K. (1998). The transition zone of the Canary Current upwelling region. *Progress in Oceanography* 41, 455-504.
- Barton, E. D., Inall, M. E., Sherwin, T. J., Torres, R. (2001). Vertical structure, turbulent mixing and fluxes during Lagrangian observations of an upwelling filament system off Northwest Iberia. *Progress in Oceanography* 51, 249-267.
- Barton, E. D., Aristegui, J., Tett, P., Navarro-Pérez, E. (2004). Variability in the Canary Islands area of filament-eddy exchanges. *Progress in Oceanography* 62, 71-94.
- Batista, A. J. M. T. (1997). *Caracterização física e química da massa de água ao longo da costa sul: um estudo pontual*. Relatório de estágio do curso de licenciatura em Biologia Marinha e Pescas. UCTRA. Universidade do Algarve. 40 pp.

- Bendschneider, K., Robinson, R. J. (1952). A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea-water. *Journal of Marine Research* 11, 87-96.
- Brink, K. H., Cowles, T. J. (1991). The Coastal Transition Program. *Journal of Geophysical Research* 96 (C8), 14637-14647.
- Brogueira, M. J., Cabeçadas, G., Gonçalves, C. (2004). Chemical resolution of a meddy emerging off southern Portugal. *Continental Shelf Research* 24, 1651-1657.
- Brzezinski, M.A. (1985). The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and effect of some environmental variables. *Journal of Phycology* 21, 347-357.
- Cabeçadas, G., Brogueira, M. J., Gonçalves, C. (2002). The chemistry of Mediterranean outflow and its interactions with surrounding waters. *Deep-Sea Research Part II* 49, 4263-4270.
- Cardeira, S. (2005). *Caracterização química do filamento de afloramento costeiro na costa vicentina, Portugal*. Projecto técnico-científico da licenciatura em oceanografia. Faculdade de Ciência do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve. 48pp.
- Carter, R.W.G. (1988). Coastal Environments – An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. *Academic Press*. 617pp.
- Castro, C. G., Pérez, F. F., Alvarez-Salgado, X. A., Fraga, F. (2000). Coupling between the thermohaline, chemical and biological fields during two contrasting upwelling events off the NW Iberian Peninsula. *Continental Shelf Research* 20, 189-210.
- Cravo, A., Madureira M., Rita F., Silva A. J., Bebianno M. J. (2003). Nutrient concentrations in coastal waters: Impact of the Guadiana River. *Ciências Marinas* 24 (4), 483-495.
- Cravo, A., Madureira M., Felícia H., Rita F., Bebianno M. J. (2006). Impact of outflow from the Guadiana River on the distribution of suspended particulate matter and nutrients in the adjacent coastal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* 70, 63-75.
- Criado-Aldeanueva, F., García-Lafuente, J., Vargas, J.M., Del Río, J., Vázquez, A., Reul, A., Sánchez, A. (2006). Distribution and circulation of water masses in the Gulf of Cádiz from in situ observations. *Deep Sea Research Part II* 53 (11-13), 1144-1160.

- Cruzado, A., Velásquez, Z., Pérez, M. C., Bahamón, N., Grimaldo, N. S., Ridolfi, F. (2002). Nutrient fluxes from the Ebro River and subsequent across-shelf dispersion. *Continental Shelf Research* 22 (2), 349-360.
- D'Croz L., O'Dea, A. (2007). Variability in upwelling along the Pacific shelf of Panama and implications for the distribution of nutrients and chlorophyll *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73 (1-2), 325-340.
- Edwards, V., Icelly, J., Newton, A., Webster, R. (2005). The yield of chlorophyll from nitrogen: a concentration between the shallow Ria Formosa lagoon and the deep oceanic conditions at Sagres along the southern coastal of Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 62, 391-403.
- Falcão, M., Vale, C. (2002). Distribution of Nutrients and Suspended particulate matter in Guadiana River: Tidal and Seasonal Effect. *XI seminário Ibérico de Química Marinha*.
- Fiúza, A. F. G., Macedo, M. E., Guerreiro, M. R. (1982). Climatological space and time variation of the Portuguese coastal upwelling. *Oceanologica acta vol.5 n°1*.
- Fiúza, A. F. G. (1983). *Upwelling patterns off Portugal*. In A. E. Suess, and J. Thiede (Eds). *Coastal Upwelling, Pt.* Plenum Publishing Corporation, New York.
- Flament, P., Armi, L., Washburn, L. (1985). The evolving structure of an upwelling filament. *Journal of Geophysical Research* 90 (C6), 11765-11778.
- García-Lafuente, J., Delgado, J., Criado-Aldeanueva F., Bruno, M., Rio, J., Vargasa, J. M. (2006). Water mass circulation on the continental shelf of the Gulf of Cádiz. *Deep-Sea Research II* 53, 1182-1197.
- García-Lafuente J., Ruiz, J. (2007). The Gulf of Cádiz pelagic ecosystem: A review *Progress in Oceanography* 74, 228-251.
- García-Muñoz, M., Aristegui, J., Montero, M. F., Barton, E. D. (2004). Distribution and transport of organic matter along a filament-eddy system in the Canaries – NW Africa coastal transition zone region. *Progress in Oceanography* 62, 115-129.
- García-Muñoz, M., Aristegui, J., Pelegrí, J. L., Antoranz, A., Ojeda, A., Torres, M. (2005). Exchange of carbon by an upwelling filament off Cape Ghir (NW Africa). *Journal of Marine Systems* 54, 83-95.

- Gil, J., Valdés, L., Moral, M., Sánchez R., Garcia-Soto, C. (2002). Mesoscale variability in a high-resolution grid in the Cantabrian Sea (southern Bay of Biscay), May 1995. *Deep Sea Research Part I*: 49, 1591-1607.
- Grasshoff, K., Erkhardt, M., Kremling, K. (1983). *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie, New York, 419 pp.
- Haynes, R. D., Barton, E. D., Piling, I. (1993). Development, persistence and variability of upwelling filaments off the Atlantic coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research*, 98 (C12), 22681–22692.
- Howarth, R.W., 1988. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Annual Review of Ecology*, 19, 89-110.
- Hunt, D.T.E., Foster, P., 1977. Studies of the mixing of coastal waters in Liverpool bay using dissolved silicate as a tracer. *Water Research* 11, 465- 470.
- Hunt, D.T.E., Foster, P., 1985. Dissolved silicon in a NorthWales catchment of high relief. *Water Research* 19 (4), 465-470.
- ICES, International Council for the Exploration of the Sea (2002). Environmental status for the European Seas (2002). *Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety*. 75 pp.
- Joint, I., Inall, M., Torres, R., Figueiras, G. F., Álvarez-Salgado, X. A., Rees, A. P., Woodward, M. S. (2001a). Two Lagrangian experiments in the Iberian Upwelling system: tracking an upwelling event and an off-shore filament. *Progress in Oceanography* 51, 221-248.
- Joint, I., Inall, Rees, A. P., Woodward, M. S. (2001b). Primary production and nutrient assimilation in the Iberian upwelling in August 1998. *Progress in Oceanography* 51, 303-320.
- Libes, S. (1992). An introduction to marine biogeochemistry. Singapore: John Wiley & Sons, Inc.. 734p.
- Liss, P. S., Pointon, M. J. (1973). Removal of dissolved boron and silicon during estuarine mixing of sea and river waters. *Geochim. Cosmochim. Acta* 37, 1493-1498.
- Magalhães, F. (2001). Os sedimentos da Plataforma Continental Portuguesa: Contrastes Espaciais, Perspectiva Temporal, Potencialidades Económicas. *Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia na especialidade de Sedimentologia*. Instituto Hidrográfico 34, 287pp.

- Mann, K. H., Lazier, J. R. N. (1996). *Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans*. Blackwell Science, Inc. 2nd Edition, 395 pp.
- Marty, J-C, Chiavérini, J., Pisay, M-D & Avril, B. (2002). Seasonal and interannual dynamics of nutrients and phytoplankton pigments in the western Mediterranean Sea at the DYFAMED time-series station (1991-1999). *Deep-Sea Research, Part II* 49, 1965-1985.
- Millero, F. (1996). *Chemical Oceanography*. 2nd edition. New York: CRC Press, 469 pp.
- Moita, T. G. (2001). *Estrutura, Variabilidade e Dinâmica do Fitoplâncton na costa de Portugal Continental*. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de doutor em Biologia, 272 pp.
- Navarro G., Ruiz, J., Huertas, I.E., García, C.M., Criado-Aldeanueva, F., Echevarría, F. (2006). Basin scale structures governing the position of the deep fluorescence maximum in the Gulf of Cádiz. *Deep Sea Research Part II*, 1261-1281.
- Navarro G., Ruiz J. (2006). Spatial and temporal variability of phytoplankton in the Gulf of Cádiz through remote sensing images. *Deep-Sea Research Part II*, 1241-1260.
- Open University (1989). *Ocean Circulation*. Oceanography Course team. Pergamon Press. Oxford, England, 238 pp.
- Pérez, F. F., Castro, C. G., Álvarez-Salgado, X. A., Rios, A. F. (2001). Coupling between the Iberian basin — scale circulation and the Portugal boundary current system: a chemical study *Deep Sea Research Part I* 48 1519-1533.
- Prego, R., Barciela, M. C., Varela, M. (1999). Nutrient dynamics in the Galician coastal área (Northwestern Iberian Peninsula): Do the Rias Bajas receive more nutrient salts than the Rias Altas?. *Continental Shelf Research* 19, 317-334.
- Ramírez, T., Cortés, D., Mercado, J. M., Vargas-Yañez, M., Sebastián, M., Liger, E. (2005). Seasonal dynamics of inorganic nutrients and phytoplankton biomass in the NW Alboran Sea. *Estuarine, Continental and Shelf Science* 65, 654-670.
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H., Richards, F.A., 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. In: Hill, M.N. (Ed.), *The Sea*, vol. 2. Wiley, New York, pp. 26-77.

- Relvas, P., 1999, *The physical oceanography of Cape São Vicente upwelling region observed from sea, land and space*. PhD Thesis, University of Wales, Bangor, 244 pp.
- Relvas, P., Barton, E. D. (2002). Mesoscale patterns in the Cape São Vicente (Iberian Peninsula) upwelling region. *Journal of Geophysical Research* 107 (C10), 3164, 28 (1-23).
- Relvas, P., Barton, E. D. (2005). A separated jet and coastal counterflow during upwelling relaxation off Cape São Vicente (Iberian Peninsula). *Continental Shelf Research* 25, 29-49.
- Reul, A., Muñoz M., Criado-Aldeanueva F., Rodríguez V. (2006). Spatial distribution of phytoplankton < 13 μm in the Gulf of Cádiz in relation to water masses and circulation pattern under westerly and easterly wind regimes. *Deep-Sea Research Part II* 53, 1294-1313.
- Ruiz J., Garcia-Isarch E., Huertas I. E., Prietao L., Juárez A., Muñoz J. L., Sánchez-Lamadrid A., Rodríguez-Gálvez S., Naranjo J. M., Baldo F. (2006). Meteorological and oceanographic factors influencing *Engraulis encrasicolus* early life stages and catches in the Gulf of Cádiz. *Deep-Sea Research, Part II* 53, 1363-1376.
- Ruiz J., Garcia-Lafuente J. (2006). Topical studies in oceanography: The Gulf of Cádiz oceanography: A multidisciplinary view. *Deep-Sea Research, Part II* 53, 1141-1143. Editorial.
- Sánchez, R. F., Relvas, P. (2001). Occurrence and structure of upwelling filaments long western boundary coastal transition zones. The case of the Iberian Peninsula. Working document to be presented at the ATMOS meeting. Universidade do Algarve. Gambelas.
- Sánchez, R. F., Relvas, P. (2003). Spring–summer climatological circulation in the upper layer in the region of Cape St. Vincent, Southwest Portugal. – *ICES Journal of Marine Science* 60, 1232–1250.
- Sánchez, R. F. (2005). *The regional Oceanography off Cabo São Vicente: From de large scale to the upwelling filament*. Tese de Doutoramento.
- Sánchez, R. F., Mason, E., Relvas, P., Silva. A. J., Peliz, Á. (2006). On the inner shelf circulation in the northern Gulf of Cádiz, Southern Portuguese shelf. *Deep-Sea Research, Part II* 53, 1198-1218.

- Sierra, J. P., Sánchez-Arcilla, A., Del Río, J González., Flos, J., Movellán, E., Mösso, C., Martínez R., Rodilla, M., Falco, S. and Romero, I. (2002). Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume. *Continental Shelf Research* 22(2), 361-378.
- Smyth, T. J., Miller, P. I., Groom, S. B., Lavender, S. J. (2001). Remote sensing of sea surface temperature and chlorophyll during Lagrangian experiments at the Iberian margin. *Progress in Oceanography* 51, 269-281.
- Stevenson, R.E. (1977). Huelva Front and Malaga, Spain, Eddy Chain as defined by Satellite and Oceanographic Data. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* 30 (2), 51-53.
- Stewart, R. H. (2004). *Introduction to Physical Oceanography*. Texas A & M University, 344 pp.
- Therriault, J-C., Legendre, L., Demers, S. (1990). Oceanography and ecology of phytoplankton in the St. Lawrence Estuary. *Coastal and Estuarine Studies*. 39, 269-295
- UNESCO (1973). *International oceanographic tables*. **Vol 2**.
- Van Geen, A., Takesue, R. K., Goddard, J., Takahashi, T., Barth, J. A., Smith, R. L. (2000). Carbon and nutrient dynamics during coastal upwelling off Cape Blanco, Oregon. *Deep-Sea Research II* 47, 975-1002.
- Valdés, J., Román, D., Alvarez, G., Ortlieb, L., Guíñez M. (2007). Metals content in surface waters of an upwelling system of the northern Humboldt Current (Mejillones Bay, Chile) *Journal of Marine Systems*, In Press. doi: 10.1016/j.jmarsys.2007.05.006
- Varela, M., Prego, R., Jesus belzunce, M., Salas, F. M. (2001). Inshore-offshore differences in seasonal variations of phytoplankton assemblages: the case of a Galician Ria Alta (Ria de A Coruña) and its adjacent shelf (NW of Spain). *Continental Shelf Research* 21, 1815-1838.
- Zéldis, J. R. (2004). New and remineralised nutrient supply and ecosystem metabolism on the northeastern New Zealand continental shelf. *Continental Shelf Research* 24, 563-581.

Site Utilizados:

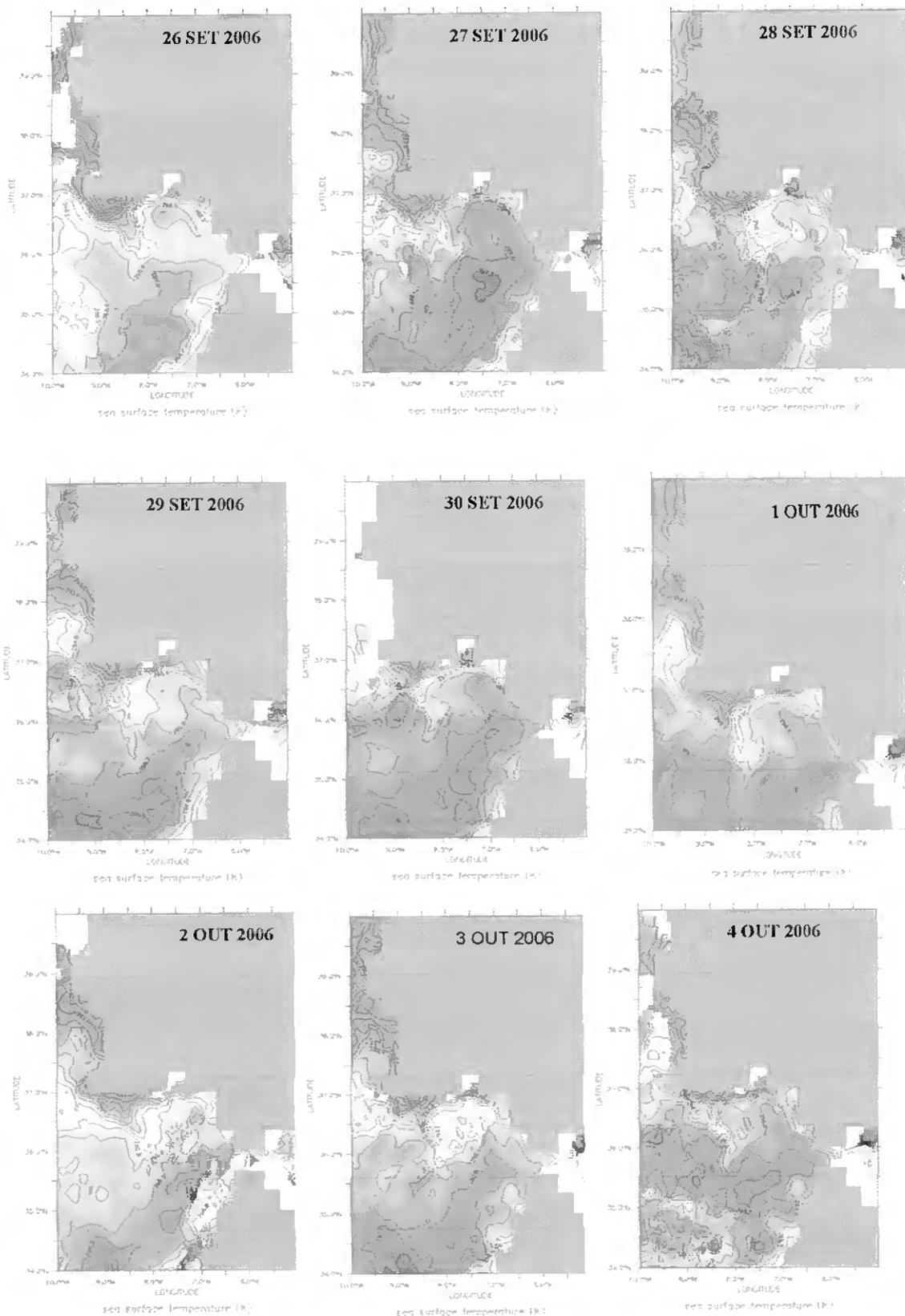
<http://snirh.inag.pt> (acedido em Outubro de 2007)

<http://www.ifremer.fr> (acedido em Outubro de 2007)

<http://poet.jpl.nasa.gov> (acedido em Outubro de 2007)

ANEXOS

ANEXO I – Imagens de Satélite de SST e regime de ventos



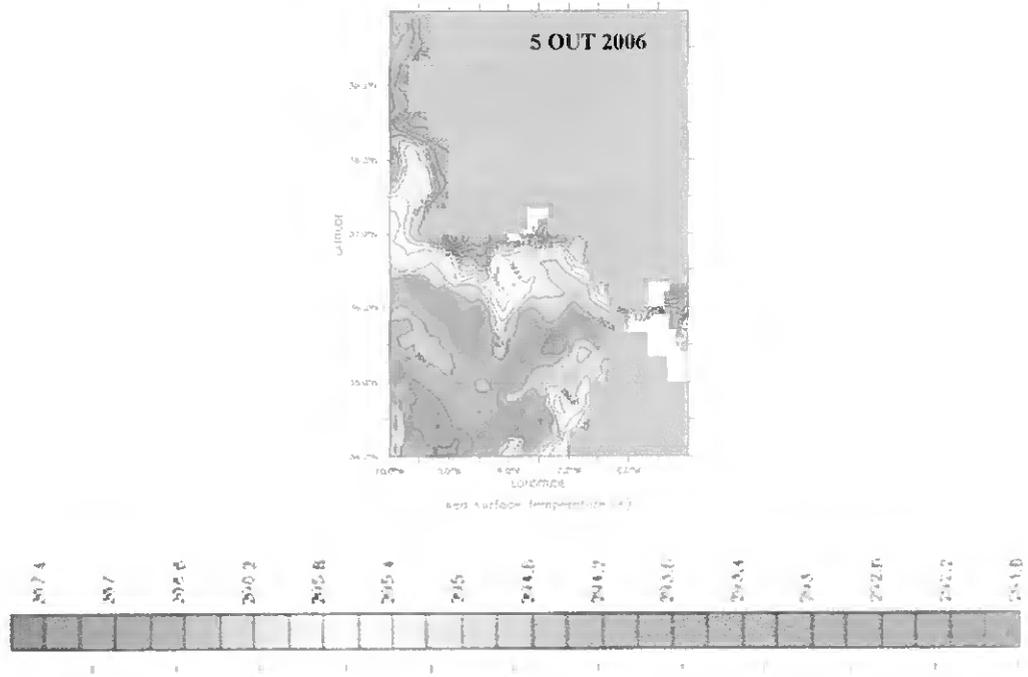
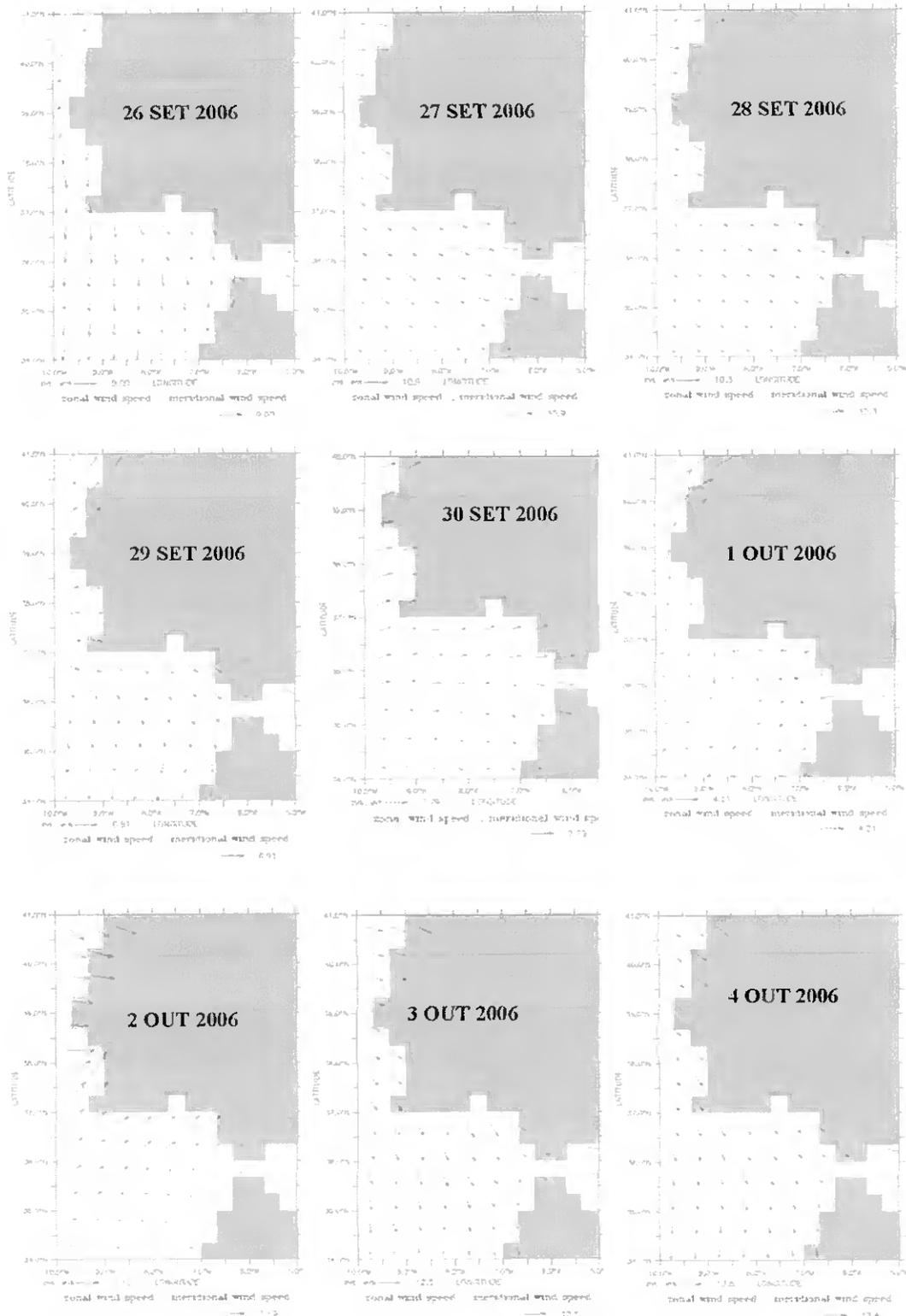


Figura 1 – Representação das imagens de satélite de temperatura superficial do mar (SST), de 26 de Setembro a 5 de Outubro de 2006, na região do Golfo de Cádiz.



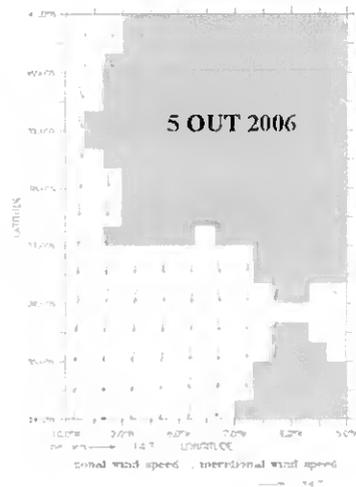


Figura 2 – Representação do regime de ventos (m/s) de 26 de Setembro a 5 de Outubro de 2006, na região do Golfo de Cádiz.

ANEXO II – Diagramas T-S

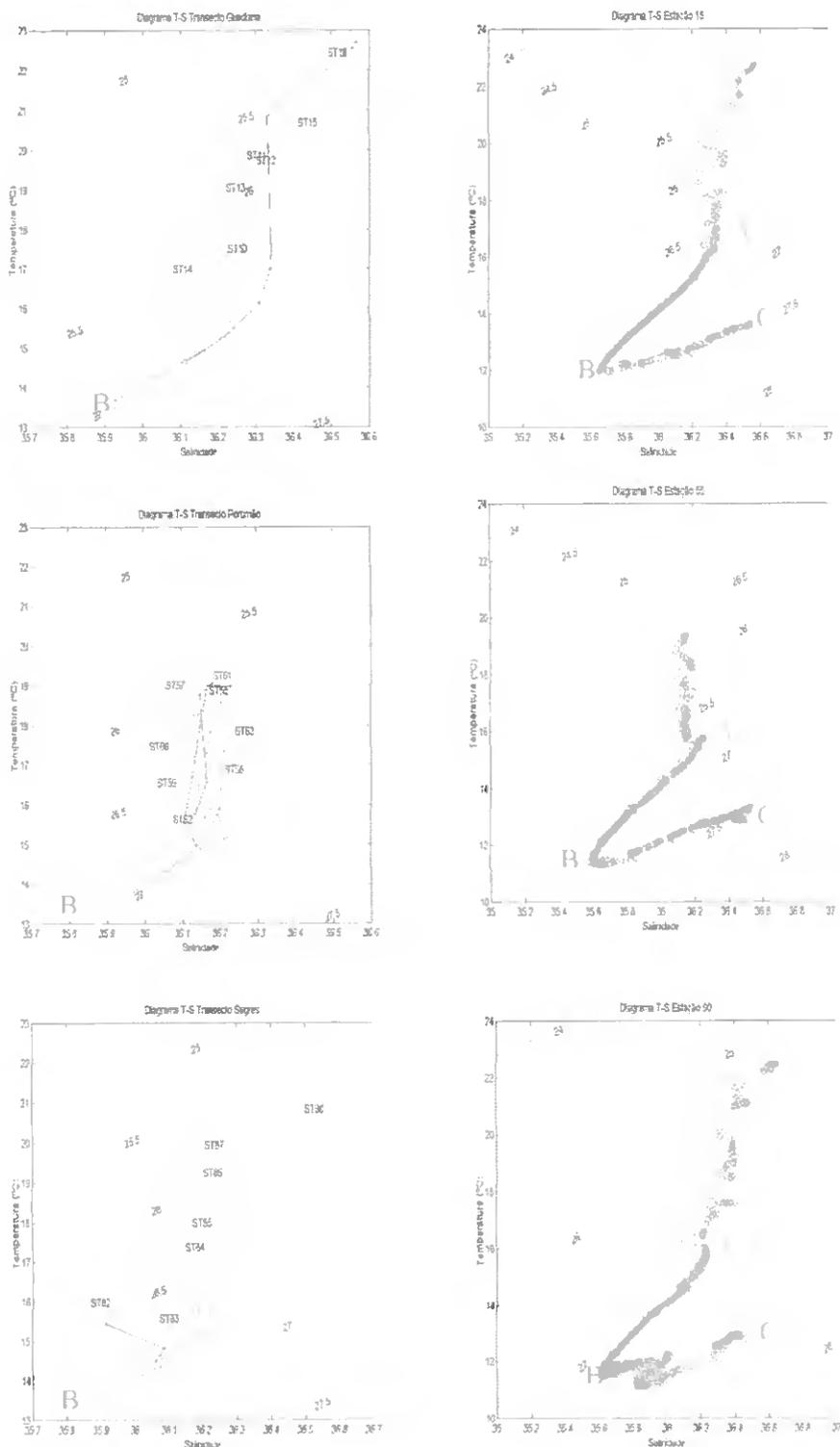


Figura 1 – Representação dos diagramas T-S, nos três transectos em estudo. A – corresponde à SAW, B – corresponde à NACW e C – Corresponde à VM.

ANEXO III – Distribuição da AOU (μM)

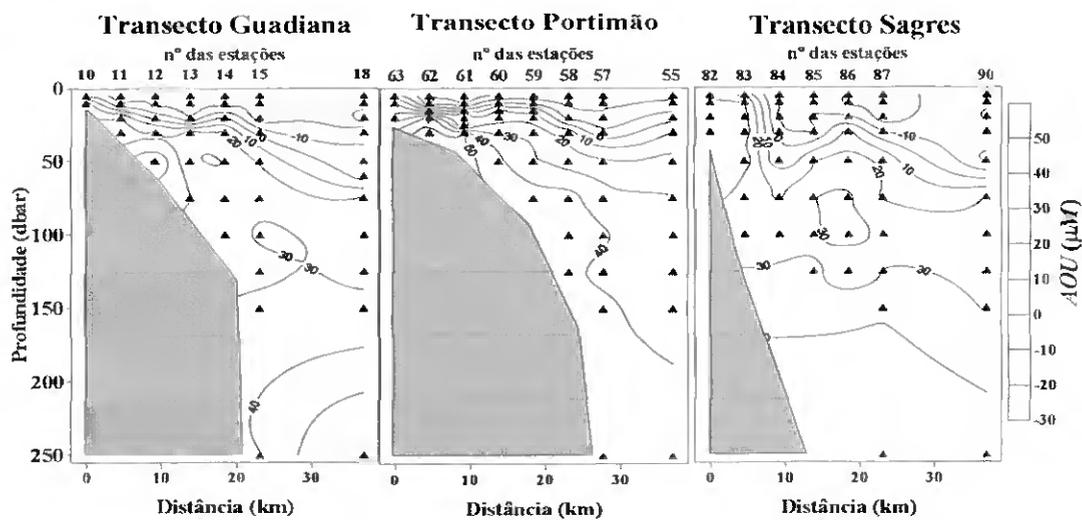


Figura 1 – Representação da distribuição da AOU (μM), nos três transectos em estudo.