

fragmentos  
em ecologia



FACULDADE DE CIÊNCIAS UNIVERSIDADE DE LISBOA



ESCOLAR EDITORA



## Fitoplâncton Marinho no Sistema de Afloramento de Portugal

M. Teresa Moita

Instituto de Investigação das Pescas e do Mar. Avenida Brasília, 1449-006 Lisboa



Figura 1. Bloom de *Noctiluca scintillans* no Algarve (Agosto - Setembro de 1999).

O ambiente marinho contém comunidades de espécies muito diversas que estão interligadas para formar complexas cadeias tróficas. Na base dessas cadeias tróficas está o fitoplâncton que constitui a maior porção dos produtores primários dos oceanos e que representa cerca de um quarto da vegetação total do planeta<sup>1</sup>.

O fitoplâncton marinho inclui vários grupos de microalgas unicelulares ou coloniais, onde se destacam as diatomáceas, os dinoflagelados e os coccolitóforos (Fig.2). Estes grupos, e as várias espécies que os constituem, apresentam características morfológicas e fisiológicas diversas que lhes permitem adaptar-se a condições oceanográficas distintas. Estas microalgas, através do processo de fotossíntese, utilizam a energia da luz para sintetizar moléculas orgânicas a partir do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e de sais minerais,

E como disse o Professor:

"... a paisagem propaga-se mar dentro...",

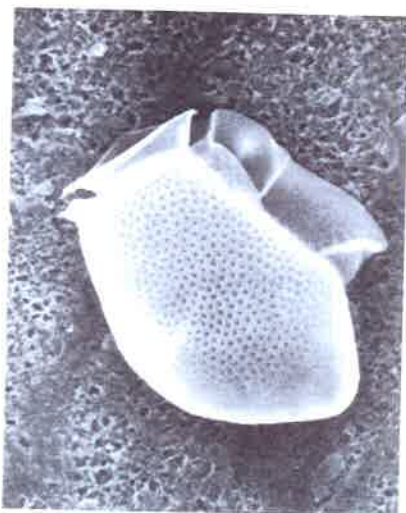
Arrábida (Maio, 2002)

**As ondas azuis de Inverno ficam verdes na Primavera. O alaranjado das águas calmas do fim de Verão dá brilho às ondas da noite.**

tais como os nitratos, fosfatos e silicatos - os nutrientes que se encontram dissolvidos na água. Na maior parte do oceano a zona eufótica (zona superficial iluminada) e a zona rica em nutrientes (zona mais profunda) estão separadas verticalmente. Em regiões como a costa portuguesa onde ocorre o processo de afloramento costeiro ("coastal upwelling"), as águas mais profundas, frias e ricas em nutrientes são transportadas para a zona superficial iluminada (Fig. 3). Este transporte vertical é devido à substituição das águas costeiras de superfície, que foram afastadas para o largo, pela ação conjunta do vento e do movimento de rotação da Terra (efeito de Coriolis).

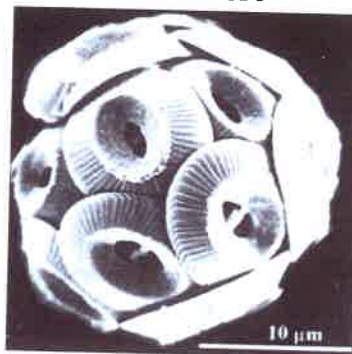
Nas regiões temperadas as águas superficiais arrefecem durante o Inverno, tornando-se mais densas. Em consequência, afundam e originam uma forte mistura vertical da colu-

**Dinoflagelado solitário**



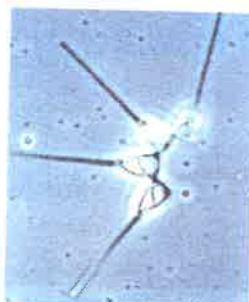
*Dinophysis acuta* \*

**Cocolitóforo**



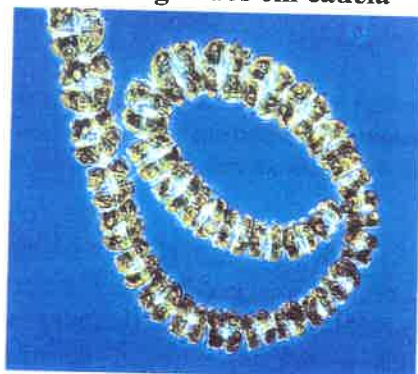
*Coccolithus pelagicus*

**Diatomáceas em cadeia**



*Asterionellopsis glacialis*

**Dinoflagelados em cadeia**



*Gymnodinium catenatum* \*

**Diatomácea solitária**



*Navicula palpebralis*

Figura 2. Espécies de fitoplâncton marinho. \*Espécies produtoras de toxinas

na de água, que se torna homogênea em nutrientes. No Verão, o aquecimento das águas superficiais torna-as menos densas, ficando separadas das águas mais profundas por uma zona onde a estratificação térmica é máxima e a que se dá o nome de termoclina. A termoclina divide assim duas camadas da coluna de água: a superior, iluminada, em que o fitoplâncton esgota rapidamente os nutrientes existentes, e outra, mais funda, rica em nutrientes, mas onde o fitoplâncton não se desenvolve devido à falta de luz. Durante o decorrer do ano, as adaptações morfológicas e fisiológicas das células fito-

plancônicas permitem que alguns grupos de espécies compitam com vantagem durante os vários passos da transição entre as condições de mistura vertical e a estratificação da camada superficial<sup>2,3</sup>. O ciclo sazonal dá origem a uma sucessão de comunidades de fitoplâncton que progride em vários estádios, desde as fases iniciais onde as condições de forte mistura vertical favorecem a dominância de diatomáceas pequenas e de tamanho médio, que formam cadeias, até fases de maturação em que a estratificação da coluna de água beneficia a estratégia dos dinoflagelados e outros flagelados que podem movi-

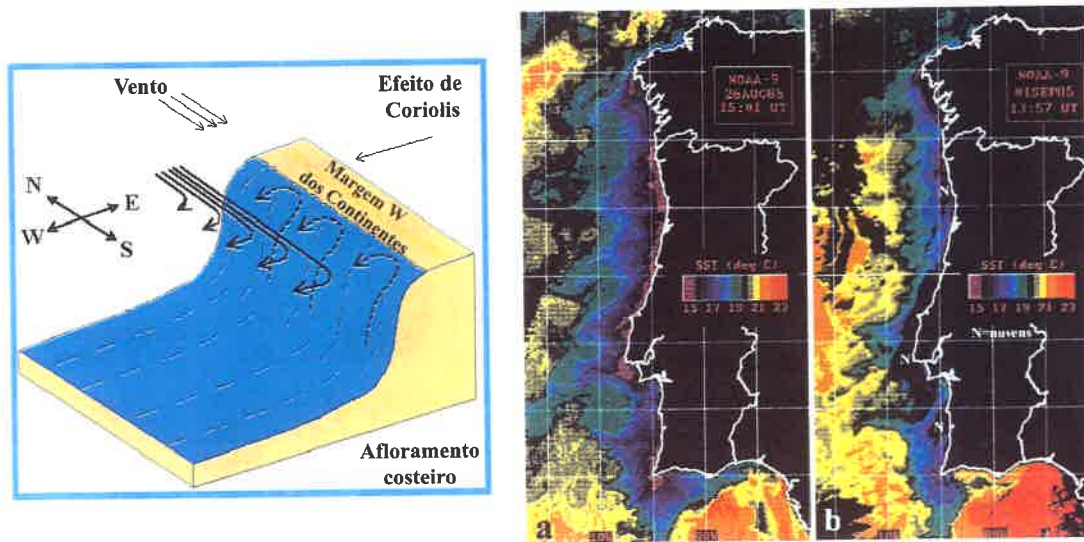


Figura 3. À esquerda: o processo de afloramento costeiro. À direita: imagens de satélite mostrando a distribuição da temperatura de superfície da água do mar ao largo de Portugal. (a) Intensificação do afloramento, devido a um aumento da intensidade de ventos de N, mostrando menores temperaturas junto à costa. (b) Relaxamento do afloramento, 7 dias depois da situação anterior, devido a um abrandamento das nortadas. As temperaturas aumentam junto à costa em consequência de uma contracção do sistema.

mentar-se para zonas com luz e nutrientes<sup>4</sup>. Os cocolitóforos incluem-se normalmente numa fase intermédia, entre as diatomáceas e dinoflagelados<sup>5</sup>. Em regiões influenciadas por episódios de afloramento costeiro, a ascensão de águas mais frias modifica o padrão de estratificação sazonal, mantendo as comunidades de fitoplâncton nos estádios iniciais da sucessão<sup>5</sup>.

Na costa de Portugal, o processo de afloramento costeiro apresenta uma variação sazonal dependente do regime dos ventos. Ao longo da costa ocidental é originado por ventos do quadrante Norte, as nortadas, cujas máximas intensidades são observadas durante os meses de Julho, Agosto e Setembro, ocorrendo um pico de menor intensidade durante a Primavera<sup>6,7</sup>. Durante o Inverno também podem ocorrer eventos de afloramento, mas são menos persistentes. Na costa do Algarve, onde o afloramento é originado por ventos do quadrante Oeste, o

processo é de menor importância relativamente à costa ocidental dado que os ventos favoráveis são mais fracos e menos persistentes. A dinâmica do processo de afloramento é diferente ao longo da costa. Para além do regime de ventos, é grandemente influenciado por diferenças batimétricas e topográficas tais como a existência de uma plataforma continental larga e aplanada a norte de Lisboa (contrastando com a curta e inclinada a sul de Setúbal), a presença de vários canhões submarinos (dos quais o mais importante é o canhão da Nazaré) e de acentuadas discontinuidades da linha de costa nos cabos da Roca, Espichel e S. Vicente<sup>8</sup>.

Para se ilustrar a variabilidade da abundância do fitoplâncton e da composição e distribuição das suas comunidades ao longo da costa de Portugal, apresentar-se-ão em seguida alguns resultados obtidos em quatro cruzeiros de investigação oceanográfica, realizados sazonalmente entre 1985 e 1986.



Estas campanhas aparecem designadas como CICLOS I (final do Verão), II (Outono), III (Inverno) e IV (início da Primavera).

### Variação sazonal dos grandes grupos de fitoplâncton e das comunidades fitoplanctónicas

A variação sazonal do fitoplâncton ao longo da costa portuguesa depende primeiramente dos ciclos sazonais do afloramento e de estratificação da coluna de água. Depende, também, da influência sazonal de águas oceânicas oligotróficas sobre a plataforma, originada por ventos do quadrante sul, e do maior fluxo dos rios sobre a plataforma a norte de Lisboa (NW).

As Figs. 4, 5, 6 e 7 mostram que as maiores abundâncias de fitoplâncton, em número de células e em biomassa (expressa pela concentração de clorofila *a*), das diatomáceas e de um conjunto de espécies designadas por **comunidade de (A)floramento -A** são observadas durante o Verão e Primavera nas áreas correspondentes a menores temperaturas. Nestes períodos do ano persistiram nortadas fortes e como tal existiram condições favoráveis ao afloramento costeiro. As distribuições do fitoplâncton e a da temperatura de superfície ao longo da costa são muito semelhantes, indicando que o crescimento do fitoplâncton esteve associado à ocorrência de afloramento, caracterizado por águas mais frias junto à costa. A comunidade **A**, composta por diatomáceas que formam cadeias, é particularmente abundante junto à costa nos centros de afloramento da plataforma NW ou no centro de afloramento do Cabo de S. Vicente. No Inverno, o fitoplâncton apresenta as concentrações mínimas, e a dominância relativa de diatomáceas passa a ser substituída pela dos cocolitóforos (Fig 8). No Outono, condições de vento sul deram origem a uma convergência costeira, situação oposta ao afloramento e

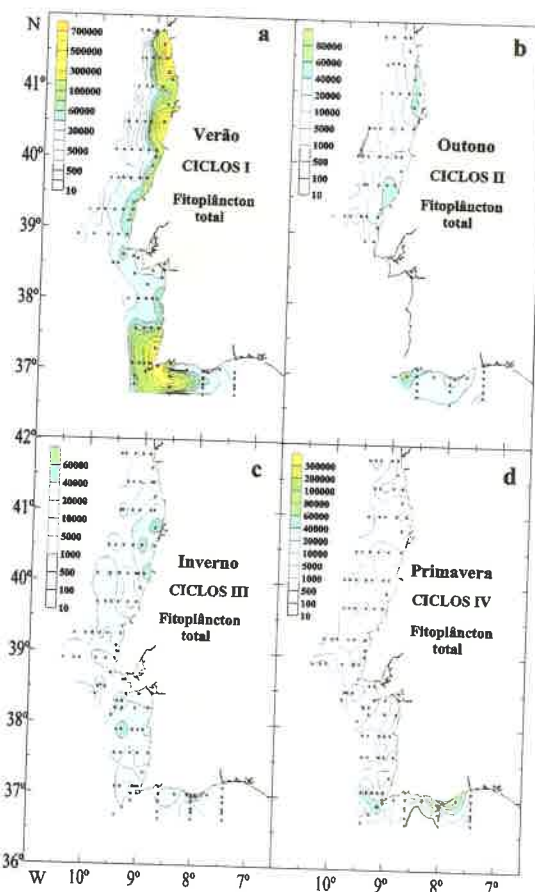


Figura 4. Distribuição do total de fitoplâncton (n° cél.l-1) durante os cruzeiros CICLOS I, II, III e IV (a, b, c, d).

em que existe um transporte das águas superficiais oceânicas e mais quentes em direcção à costa. Apesar deste facto, os padrões de distribuição fitoplanctónica e da temperatura de superfície caracterizados por isolinhas paralelas à linha de costa reflectem ainda uma influência da época de afloramento imediatamente anterior, o Verão (Figs. 4-7b, 10a-b).

Na Fig. 15 mostra-se a composição da comunidade **A**. Esta inclui espécies correspondentes ao primeiro e segundo estádios de sucessão de uma comunidade fitoplanctónica<sup>4,9</sup>. Estas espécies, tais como *Chaetoceros* spp., *Guinardia striata*, *Pseudo-nitzschia* spp., *Leptocylindrus danicus*, *Cylindrotheca closterium*, *Eucampia zodiacus*, *Hemiaulus sinensis*,

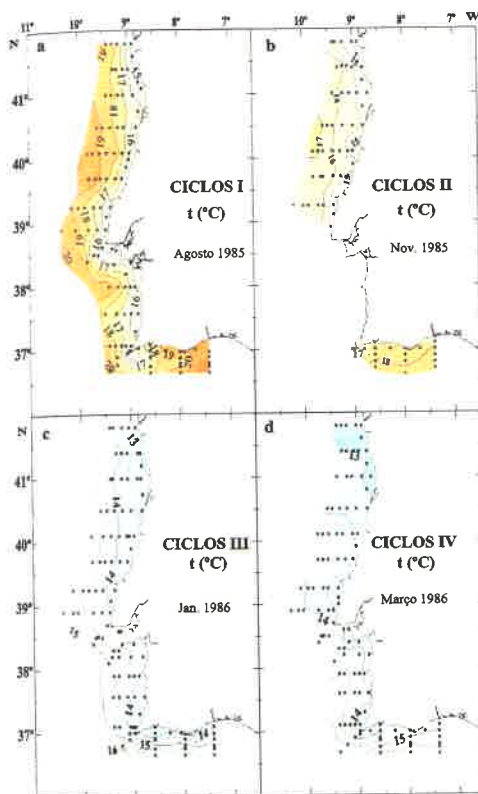


Figura 5. Distribuição da temperatura de superfície (°C) durante os cruzeiros CICLOS I, II, III e IV (a, b, c, d).

*Thalassiosira* spp., *Lauderia annulata*, *Detonula pumila* e *Thalassionema nitzschioides*, são características de águas sujeitas a turbulência e ricas em nutrientes e, na sua maioria, aparecem envolvidas em mucilagem ou secreções, ou podem formar cadeias, como adaptação a uma maior flutuabilidade<sup>4</sup>. Possuem, também, altas taxas de crescimento quando passam da obscuridade para a luz, o que lhes permite dominar o fitoplâncton em águas recentemente afloradas<sup>10</sup>. Visto que as várias espécies têm taxas de crescimento diferente, durante um episódio de afloramento as várias espécies sucedem-se no tempo atingindo máximos sequenciais. Como exemplo, durante o desenvolvimento de um episódio de afloramento na costa NW de Portugal, pequenas células de *Chaetoceros* (entre outros, *Chaetoceros socialis*) atingiram máximos entre o primeiro e o terceiro dia do

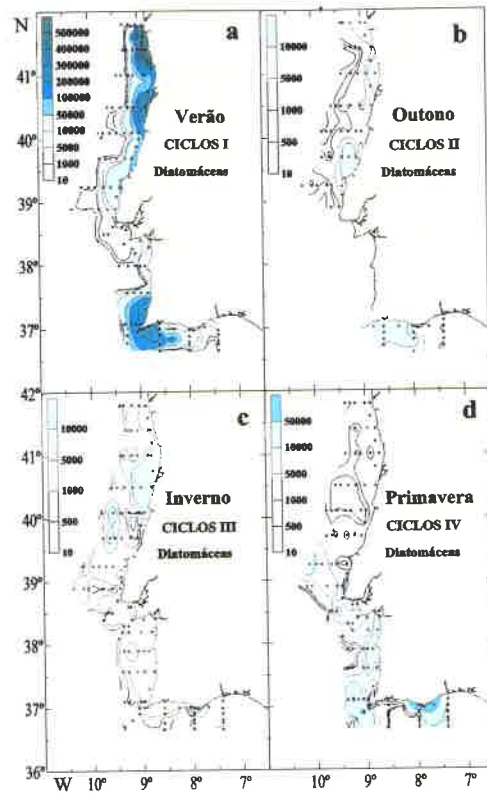


Figura 6. Distribuição de diatomáceas (n° cél.l-1) durante os cruzeiros CICLOS I, II, III e IV (a, b, c, d).

forçamento de ventos norte. Seguidamente, populações de *Thalassiosira* (entre outras, *Thalassiosira* cf. *subtilis*) atingiram concentrações semelhantes a partir do terceiro dia e *Thalassionema nitzschioides* alcançou as maiores concentrações ao fim de 4 dias de afloramento. Na comunidade A está também incluído o género *Pseudo-nitzschia* que inclui *Pseudo-nitzschia australis*, diatomea produtora de toxinas amnésicas. Desde 1996, que se associou esta espécie à presença de toxicidade em bivalves, crustáceos e peixes planctófagos da costa portuguesa\*.

Outra importante fonte de variação sazonal do fitoplâncton, relaciona-se com a maior

\* As toxinas acumuladas por bivalves, crustáceos ou peixes ao filtrarem o fitoplâncton podem, ou não, afectar directamente. No entanto, produzem muitas vezes problemas de toxicidade em níveis superiores da cadeia trófica que deles se alimentam, nomeadamente o Homem.

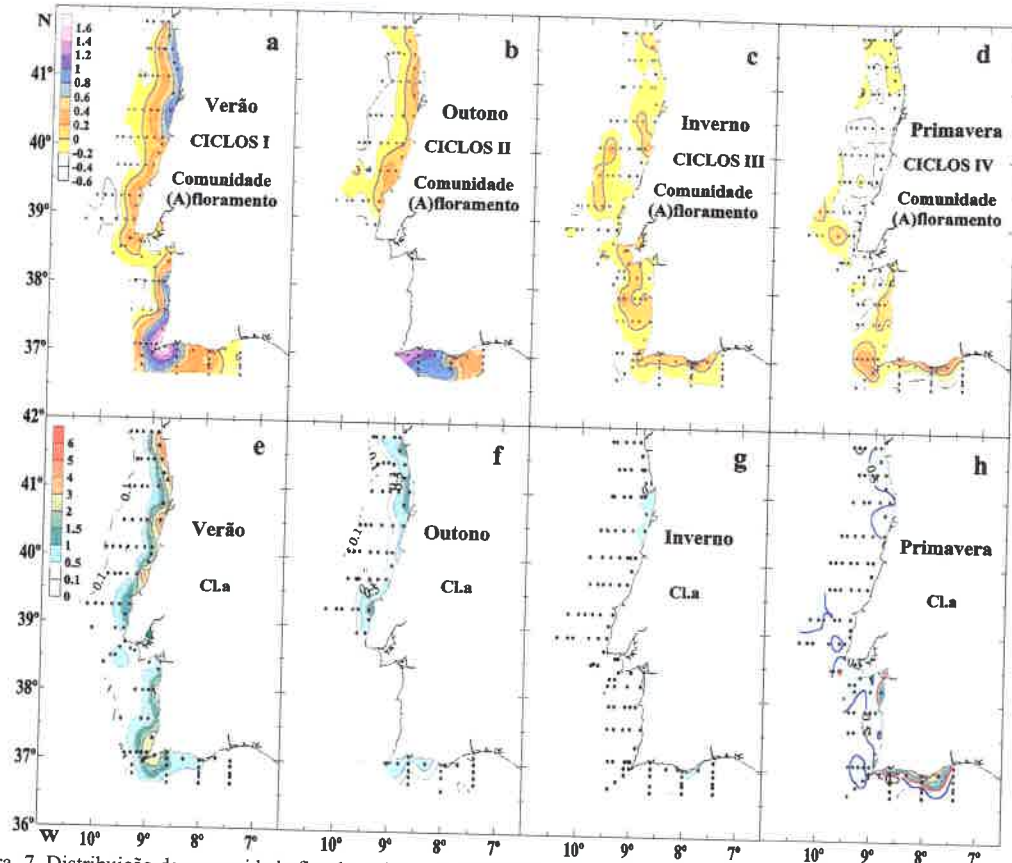


Figura 7. Distribuição da comunidade fitoplantónica de (A)floramento, com base numa análise estatística das várias espécies presentes nos cruzeiros CICLOS I (a), CICLOS II (b), CICLOS III (c) e CICLOS IV (d). Distribuição da concentração média de clorofila a (mg.m-3) nos primeiros 100m da coluna de água, durante os mesmos cruzeiros (e, f, g, h).

abundância, durante o Outono e Inverno, respectivamente na costa sul e ao longo da vertente da costa ocidental, da **comunidade (O)ceânica - O**, (Figs. 9b, 9c). Esta comunidade, constituída por espécies de cocolitóforos como *Calcidiscus leptoporus*, *Umblicosphaera sibogae*, *Scyphosphaera apsteinii*, *Discosphaera tubifer*, *Ophiaster*, *Calciosolenia murrayi* e o dinoflagelado *Thoracosphaera heimii* (espécie até recentemente considerada como cocolitóforo), distribuiu-se principalmente nas águas oceânicas, sendo pouco abundante durante o Verão e durante o Outono, na costa ocidental. Durante a época de convergência costeira, a acção combinada do transporte das águas superficiais para a costa e o escoamento oceânico zonal de grande escala para leste,

produz um empilhamento de água sobre a plataforma/vertente superior, dando origem a uma corrente sobre a vertente, a Contracorrente Costeira de Portugal, que se dirige para norte<sup>11,12</sup>. A distribuição da comunidade **O**, característica de águas tropicais e subtropicais mais quentes e salinas, mostra que as espécies que a compõem são boas indicadoras do período e área de influência dessas águas (e.g. Inverno, Fig. 10g).

O ciclo de estratificação anual da coluna de água caracteriza-se por máximos de estratificação durante o Verão, seguido do Outono, e por mínimos no Inverno. Os dinoflagelados, em geral, e a **comunidade de (E)stratificação - E**, em particular, são indicadores dessa variabilidade (Figs. 9, 11 e 15). Esta comunidade, constituída por



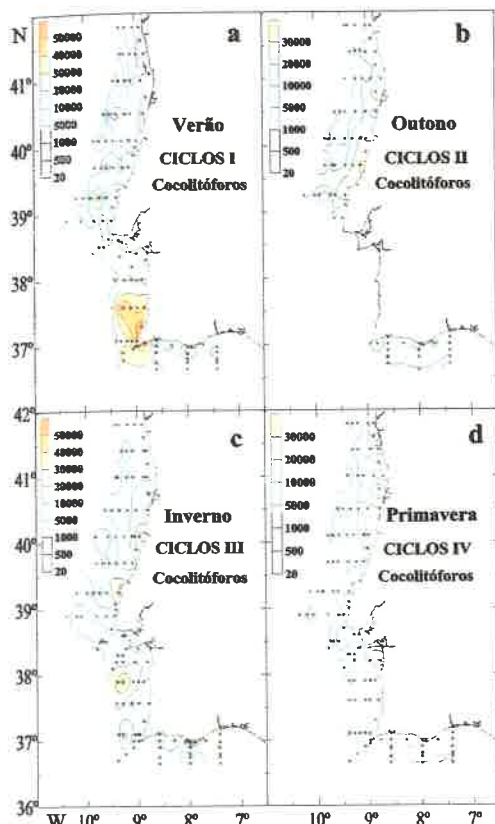


Figura 8. Distribuição do total de coccolitóforos (n° cél.l-1) durante os cruzeiros CICLOS I, II, III e IV (a, b, c, d).

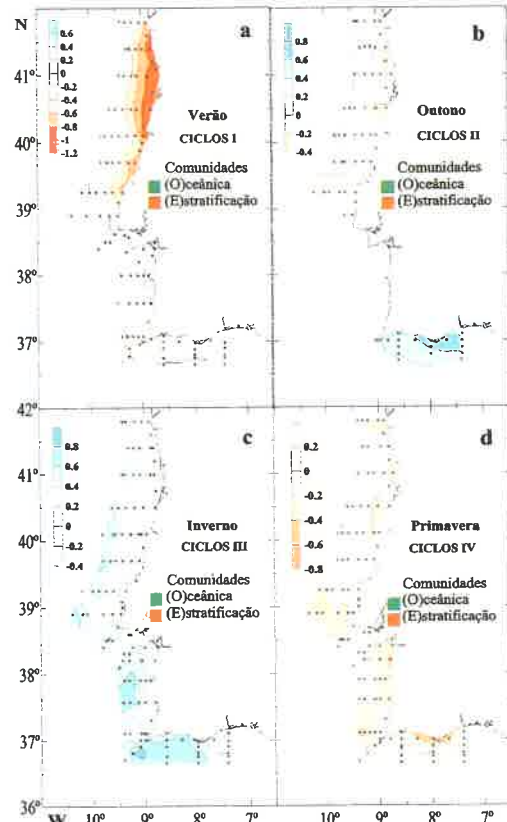


Figura 9. Distribuição das comunidades (O)ceânica e de (E)stratificação, com base numa análise estatística das várias espécies presentes nos cruzeiros CICLOS I (a), II (b), III (c) e CICLOS IV (d).

dinoflagelados autotróficos e heterotróficos como *Ceratium*, *Dinophysis*, *Protoperidinium*, *Prorocentrum*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium* e pela diatomácea *Proboscia alata*, corresponde ao último estado de uma sucessão fitoplanctónica<sup>4</sup>, e é largamente citada durante os períodos de estratificação nos vários oceanos e nas várias áreas de afloramento. Várias espécies do género *Dinophysis* podem produzir toxinas diarreicas e pertencem à comunidade E. A sua ocorrência relaciona-se todos os anos na costa de Portugal com a ocorrência de condições de estratificação<sup>13</sup>. As espécies da comunidade E podem ser favorecidas por condições de maior ou menor estratificação. Por exemplo *Ceratium furca* pode

ocorrer em águas com menor estratificação (caso do cabo de S. Vicente, no Verão, Fig.10i) enquanto outros *Ceratium*, como *Ceratium fusus*, têm preferência por águas muito estratificadas. Em oposição às características ecológicas da maior parte das diatomáceas, *Proboscia alata* também faz parte da comunidade E. A capacidade desta e de outras diatomáceas pertencentes ao género *Rhizosolenia* e *Hemiaulus* em sobreviverem em águas oligotróficas tem sido atribuída quer à presença no interior das células da cianobactéria endossimbionte, fixadora de azoto, *Richelia intracellularis*, quer à capacidade de realizarem migrações verticais apesar de não possuírem flagelos<sup>14,15,16</sup>.

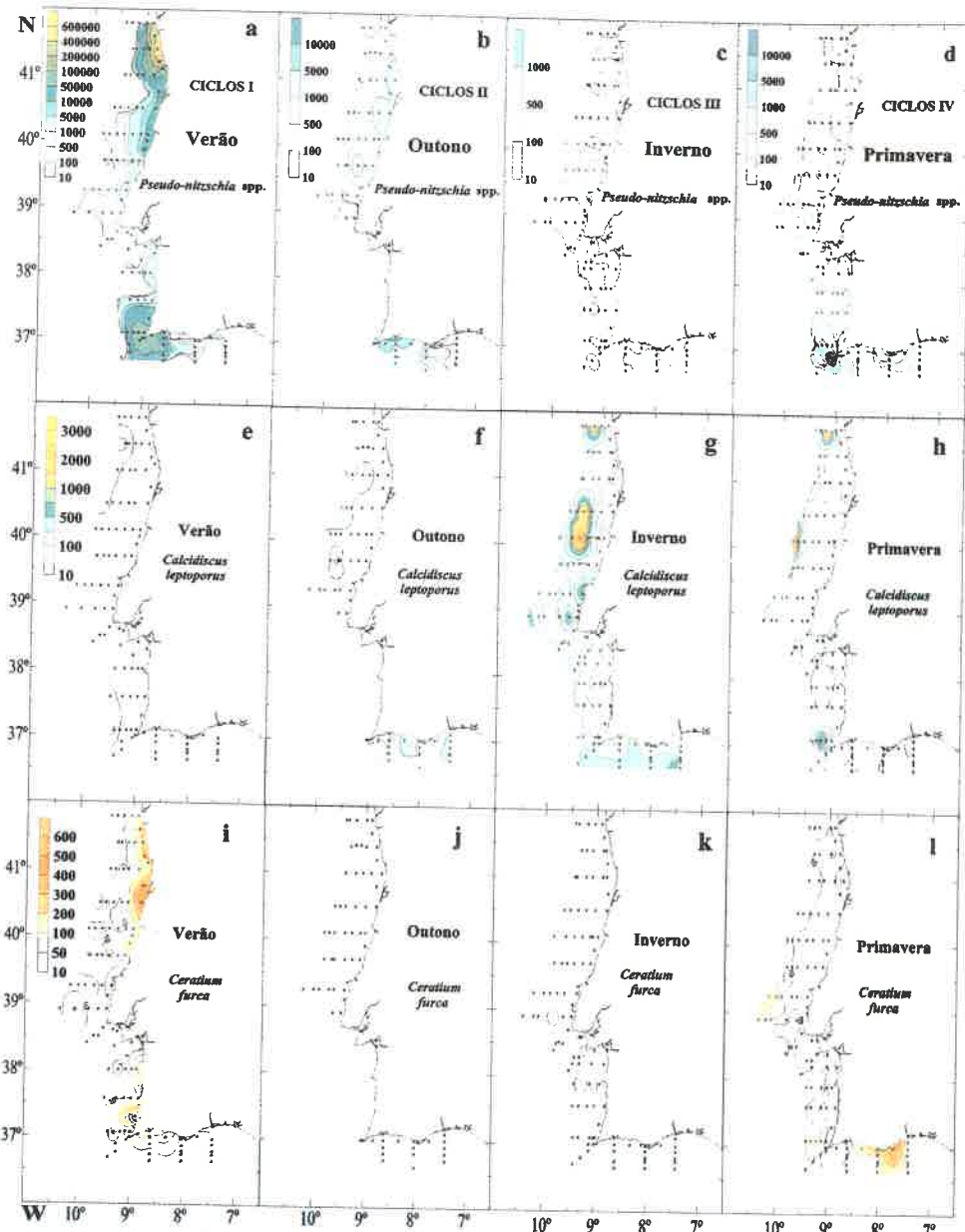


Figura 10. Distribuição da abundância (nº de cél. l-1) de *Pseudo-nitzschia* spp. (a-d) género pertencente à comunidade de (A)floramento, *Calcidiscus leptoporus* (e-h), espécie da comunidade de águas (O)ceânicas, e do dinoflagelado *Ceratium furca* (i-l), espécie da comunidade de águas (E)stratificadas, durante os cruzeiros CICLOS I a IV.

No Outono, as condições de convergência costeira e a diminuição da estratificação da coluna de água favorecem o desenvolvimento de dinoflagelados que formam cadeias como *Gymnodinium catenatum* (Fig. 12) e *Alexandrium affine*, os quais, tendo uma maior capacidade

natatória para migrações verticais, ganham vantagem sobre as outras espécies de dinoflagelados solitários na competição pelos nutrientes disponíveis<sup>17</sup>. Conseguem, adicionalmente, manter-se melhor na zona eufótica em áreas de convergência, não sofrendo aí perdas por afundamento e

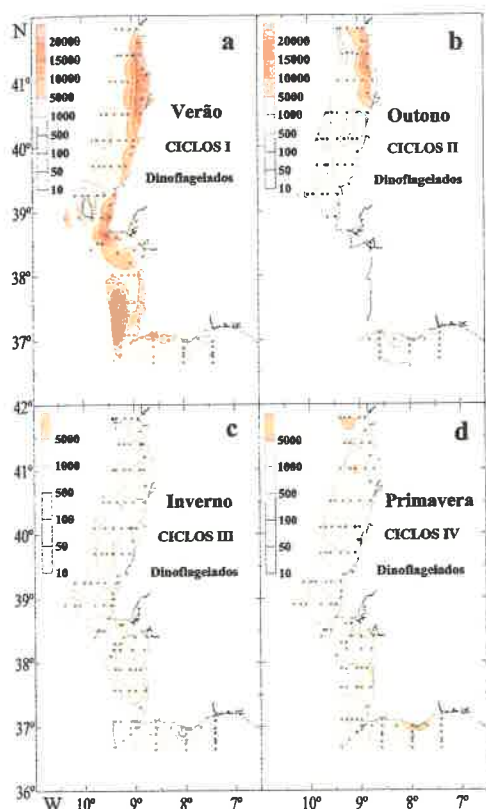


Figura 11. Distribuição de dinoflagelados (n° cél.l-1) durante os cruzeiros CICLOS I, II, III e IV (a, b, c, d).

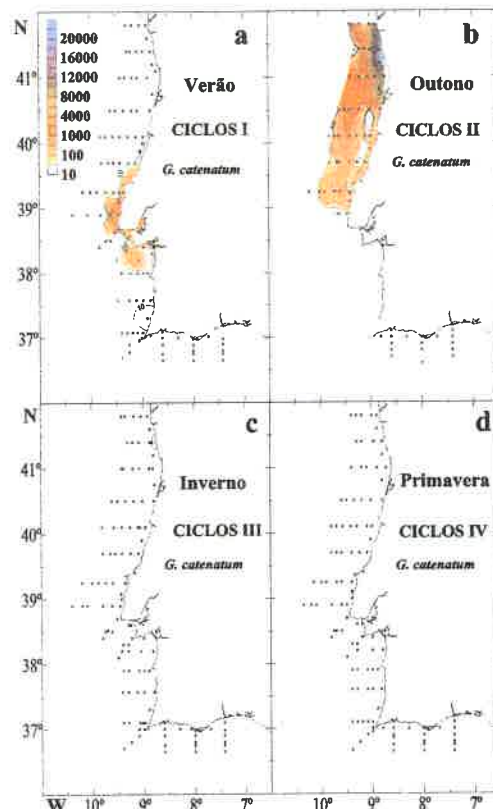


Figura 12. Distribuição (n° de cél. l-1) de *Gymnodinium catenatum*, durante os cruzeiros CICLOS I, II, III e IV (a, b, c, d).

dispersão. Os blooms de Outono de *Gymnodinium catenatum*, espécie produtora de toxinas paralisantes, foram recorrentes em águas da costa de Portugal entre 1985 e 1995<sup>18</sup>.

Nos períodos de maior mistura da coluna de água, e.g. tempestades ou afloramento forte como aconteceu respectivamente durante o Outono e a Primavera, e também quando as condições de estratificação térmica são mínimas sobre a plataforma ocidental, como ocorreu no Inverno, observa-se na região costeira a **comunidade RM**, característica desses períodos de **(R)essuspensão** de sedimentos do fundo e **(M)istura** da coluna de água. Esta comunidade inclui espécies ticopelágicas, bentónicas ou simplesmente neríticas, como *Paralia sulcata*, *Thalassiothrix*, *Thalassiosira eccentrica*, *Navicula*, *Odontella*

*mobiliensis*, *Pleurosigma*, *Diploneis* e *Thalassionema nitzschioides* (Figs. 13, 15). A comunidade **RM**, apesar do forte afloramento que se fez sentir, diminuiu na Primavera, aparentemente devido a uma maior estabilização da coluna de água originada por um aumento da estratificação halina em virtude do maior fluxo dos rios na zona costeira.

### Variação geográfica dos grandes grupos de fitoplâncton e das comunidades fitoplanctónicas

#### Variabilidade costa-largo

O processo de afloramento costeiro mostra ser, tal como à escala sazonal, o principal responsável pelas variações costa-largo das

fragmentos em ecologia

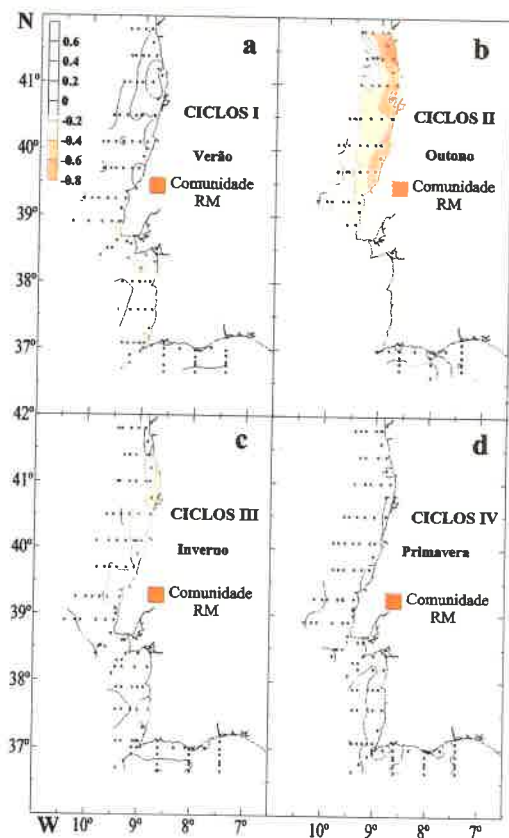


Figura 13. Distribuição da comunidade RM característica de condições de (R)essuspensão e (M)istura, com base numa análise estatística das várias espécies presentes nos cruzeiros CICLOS I (a), II (b), III (c) e CICLOS IV (d).

populações de fitoplâncton, sendo as diatomáceas e a comunidade A os grupos que mais se relacionam com essa variabilidade. As espécies da comunidade A são largamente citadas para outras áreas de afloramento, sendo características dos centros de afloramento onde a produção primária é máxima<sup>19,20,21</sup>.

Durante o período de Verão, quando os gradientes costa-largo são máximos, o padrão geográfico da distribuição fitoplancónica relaciona-se directamente com o do campo da temperatura, sendo as maiores concentrações de células observadas junto à costa, nos centros de afloramento (Figs. 4a-7a). Na costa NW, o gradiente estabelece-se paralelamente à costa, e a sul de Lisboa, em torno do centro de afloramento do cabo de S. Vicente. No Outono, o padrão de distribuição é consequência ainda das condições de Verão, embora com uma variação costa-largo menos acentuada, sendo visíveis máximos no cabo de S. Vicente, que se estendem ao longo da vertente da costa Algarvia (Figs. 4b-7b). No período de Inverno, a variabilidade costa-largo é mínima, dado que o fitoplâncton se distribui heterogeneamente ao longo de toda a costa (Figs. 4c-7c). Após essa época, durante a Primavera, os episódios de afloramento passam a ser mais persistentes e

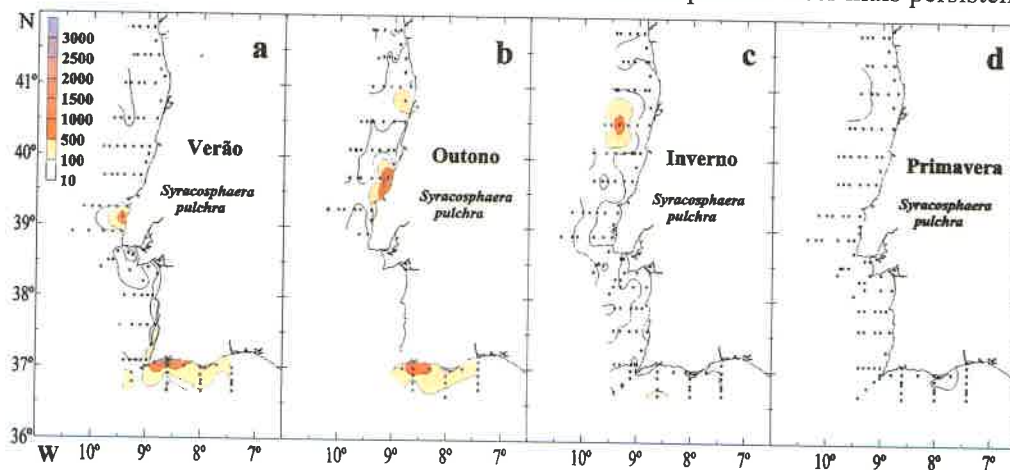


Figura 14. Distribuição (nº de cél. l-1), durante os cruzeiros CICLOS I, II, III e IV, do coccolitóforo *Syracosphaera pulchra* (a, b, c, d).



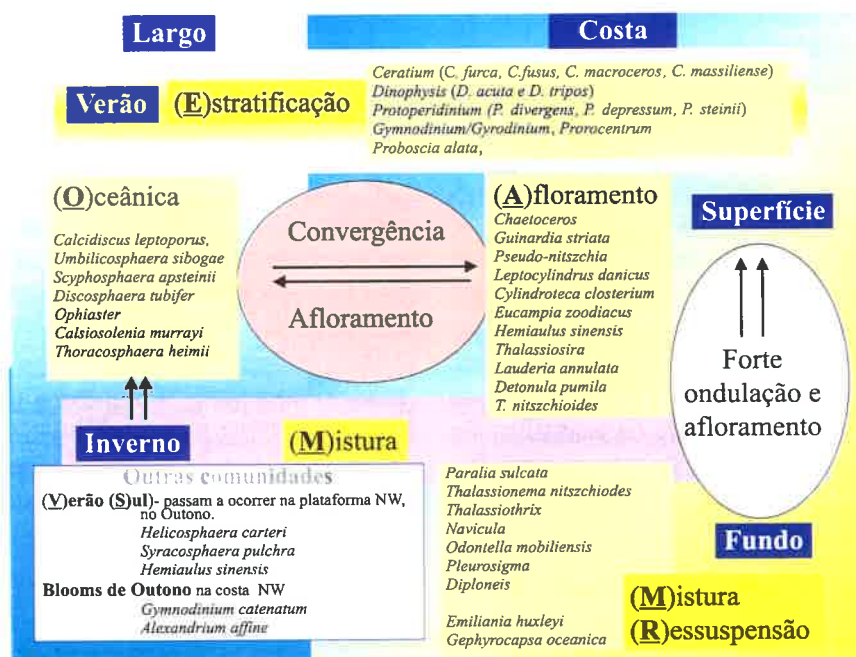


Figura 15. Diagrama resumo das principais comunidades identificadas na costa portuguesa, e das áreas e condições oceanográficas de se mostraram bioindicadoras

o fitoplâncton começa de novo a evidenciar um padrão de variação costa-largo, especialmente visível nas costas SW e S (Fig. 4d-7d). Na plataforma NW os mínimos que se observam na região costeira são devidos a um episódio de afloramento mais intenso, que terá arrastado o fitoplâncton para as estações mais oceânicas. Com um afloramento muito intenso, o fitoplâncton sofre elevadas perdas por dispersão, não se mantendo nos centros com elevada turbulência<sup>4</sup>.

Fora dos centros de afloramento, a dominância relativa das diatomáceas passa a ser substituída pela dos cocolitóforos (Figs. 6 e 8). Mesmo durante o período de Verão, quando as concentrações máximas de cocolitóforos se verificam no centro de afloramento do cabo de S. Vicente, a sua representatividade no fitoplâncton é inferior a 20%. As suas abundâncias relativas aumentam posteriormente para a periferia do centro. A espécie mais abundante é *Emiliania*

*huxleyi*, cocolitóforo cosmopolita que domina frequentemente as áreas de afloramento<sup>22</sup>. De acordo com Brand<sup>23</sup>, e ao contrário da maior parte dos cocolitóforos de águas estratificadas tropicais ou subtropicais, a abundância de *Emiliania huxleyi* e de *Gephyrocapsa oceanica* aumenta como resposta a um enriquecimento em nutrientes. Ambas as espécies não se inserem directamente na comunidade A pois as populações de *Emiliania huxleyi* diminuem a sua concentração nos centros de afloramento. Ocorrem, no entanto, em períodos e áreas de alguma turbulência na coluna de água, nomeadamente o período de Inverno ou na periferia dos centros de afloramento durante o Verão. Associam-se, em consequência, com a comunidade RM, mas, ao contrário das outras espécies desta comunidade presentes em todas as áreas ou períodos marcados por uma maior turbulência na coluna de água (períodos de afloramento forte, convecção de

## fragmentos em ecologia

Inverno ou tempestades devidas a ventos sul), parece terem preferência por uma turbulência menor (Figs. 13 e 15).

Mais ao largo, nas águas oceânicas oligotróficas não influenciadas pelo afloramento, domina a comunidade O (Figs. 8, 9, 15). No Outono, esta comunidade distribuiu-se também na plataforma S, mas fora do centro de afloramento do cabo de S. Vicente.

Na costa NW durante o Verão, a comunidade A, indicadora de águas de afloramento, encontra-se misturada com a comunidade E, indicadora de condições de estratificação (Figs. 7a, 9a). Não é estranha esta mistura dos dois grupos, tendo em conta que o afloramento apresenta uma natureza intermitente e que, se tiver fraca intensidade, pode não destruir totalmente a estratificação junto à costa. As espécies que a compõem, como *Pseudo-nitzschia* spp., apesar de serem consideradas como indicadoras de afloramento, poderão também ser favorecidas sob condições de uma certa estabilidade física<sup>24</sup>. No cabo de S. Vicente, onde o afloramento parece ser mais intenso no Verão, os dinoflagelados são afastados do centro de afloramento, ao contrário das diatomáceas e da comunidade A (Figs. 6a, 7a, 11a). Estas distribuições estão de acordo com as observações em outras áreas de afloramento, nas quais a composição específica do fitoplâncton se pode descrever como uma série de associações ao longo de um eixo que relaciona as formas de vida fitoplanctónicas com as variações de turbulência e disponibilidade de nutrientes<sup>5</sup>. Aquelas comunidades separaram-se ou sobrepõem-se, mais ou menos, conforme todo o sistema se expande e contrai em consequência da intensidade do afloramento (Fig. 3a-b). A presença no cabo de S. Vicente, durante o Verão, de *Emiliania huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica* entre a comunidade A e E, confirma também as observações de outros autores, segundo os quais alguns coccolitóforos ocupam um estágio intermédio entre as

diatomáceas e os dinoflagelados<sup>5</sup>. Como exemplo, para a costa de Portugal, refere-se também o coccolitóforo *Coccolithus pelagicus* que se distribui normalmente nas frentes de afloramento, entre as diatomáceas e a comunidade de coccolitóforos subtropicais, presentes nas águas oceânicas<sup>25</sup>.

## Variabilidade N-S na plataforma ocidental

Relativamente à variabilidade da distribuição e composição das comunidades fitoplanctónicas, as suas variações costal-largo e as sazonais são superiores às diferenças geográficas N-S. Este tipo de variação em latitude parece ser mais evidente, durante o Verão e Outono, períodos correspondentes, respectivamente, ao pico de afloramento e ao período imediatamente a seguir ao final da época de afloramento. As diferenças geográficas N-S, apesar de pouco acentuadas, relacionam-se com diferentes características termo-halinas das águas superficiais na zona norte e sul de Portugal, com uma maior estratificação na plataforma NW e com a intensidade e padrão de afloramento nas duas áreas<sup>18</sup>.

Durante o Verão, uma das principais diferenças que caracterizam a variação N-S está associada a uma quase ausência de coccolitóforos nas águas costeiras a norte da Figueira da Foz, em oposição às águas afloradas em torno do cabo de S. Vicente, onde a abundância daquele grupo é máxima (Fig. 8a). Das várias condições oceanográficas estudadas (físicas e químicas), a que mais se relaciona com aquela ausência é a presença de uma lente superficial de águas de menor salinidade, que ocupa o topo norte da plataforma NW, e no interior da qual o grupo poderá ser raro. Estas observações poderão indicar alguma diminuição do grupo para norte, o que concordaria com o facto dos coccolitóforos serem pouco numerosos em

águas da Galiza 4. Não se conseguiu ainda explicar a razão pela qual os coccolitóforos ocorrem nessa área e em águas de menor salinidade, noutras épocas do ano.

Dos estudos fitoplanctónicos realizados na costa portuguesa surge ainda a comunidade VS, constituída por espécies consideradas indicadoras de águas tropicais quentes e oligotróficas, como *Syracosphaera pulchra*, *Helicosphaera carterae* e *Hemiaulus sinensis*<sup>23,26</sup>, que se distribuem preferencialmente no (V)erão, para (S)ul do cabo Carvoeiro (Fig. 14). Esta localização geográfica pode relacionar-se com as características termohalinas das águas superficiais e das águas afloradas que têm uma maior influência do ramo subtropical da massa de Água Central Oriental do Atlântico Norte - ACOANst, a qual tem a sua origem entre os Açores e Madeira<sup>18,27</sup>. O início da época de convergência costeira, à qual está associado o transporte para norte das águas superficiais, poderá ter originado o transporte daquela comunidade e de *G. catenatum* para norte daquele cabo, onde vieram a ser observadas durante o Outono<sup>18</sup> (Figs. 12, 14).

Outro aspecto relevante, com respeito às principais variações N-S, prende-se com a estratificação da coluna de água, que parece ser sempre superior na costa NW, e com a diferente intensidade do processo de afloramento costeiro na costa NW e SW<sup>18</sup>. Estas características conduzem a que abundância e posição relativa nas duas áreas das diatomáceas e dinoflagelados e das comunidades A e E variem em função das condições de estratificação/mistura da coluna de água. Estas diferenças são particularmente acentuadas durante o Verão, quando na costa NW a coincidência espacial dos dois grupos produz uma banda de elevadas concentrações de clorofila *a* junto à costa, embora, em torno do cabo de S. Vicente, essa sobreposição seja apenas parcial, ocasionando concentrações fitoplanctónicas médias

menores, mas que se estendem a maiores distâncias da costa (Figs. 6a, 7e, 11a). Na plataforma da Galiza, associaram-se também elevadas biomassas de fitoplâncton a uma mistura semelhante das comunidades fitoplanctónicas<sup>28</sup>. No Outono, nota-se ainda o efeito do Verão. Na Primavera, apesar da comunidade E ser pouco abundante, a coincidência das comunidades A e E e das maiores concentrações de clorofila *a* é observada, ao contrário do Verão, nas costas SW e S, o que se deve às condições de menor intensidade do afloramento que se observaram a sul (Figs. 6d, 7h, 11d).

Quando se compara o padrão de distribuição do fitoplâncton com a distribuição da biomassa zooplanctónica para os mesmos cruzeiros oceanográficos CICLOS I-IV<sup>29</sup>, observam-se também algumas diferenças entre a costa NW e as costa SW/S. Durante o Verão, as concentrações mínimas de fitoplâncton são observadas entre o meio e o bordo da plataforma NW, padrão que se reflecte também no registo sedimentar de diatomáceas<sup>30</sup>. Estes mínimos coincidem por outro lado, com uma banda de máximos de abundância do zooplâncton, podendo exprimir não só o efeito da predação zooplanctónica, mas também a presença de um zona de convergência onde o fitoplâncton se dispersa, afundando, e o zooplâncton se concentra. Esta zona de convergência poderá resultar do estabelecimento de uma célula de circulação sobre a plataforma em consequência do desenvolvimento do afloramento<sup>29,31</sup>. Por sua vez, os grupos zooplanctónicos de herbívoros, omnívoros e carnívoros sucedem-se desde a costa em bandas paralelas<sup>32</sup>. Esse tipo de padrão, em que existe uma sobreposição sequencial das comunidades de fitoplâncton e zooplâncton, indicará uma relação estável entre os dois grupos<sup>33</sup>. Estes resultados apoiam também a existência de um afloramento fraco a moderado, mas persistente, ao longo da plataforma NW. Na costa SW, devido às condições de afloramen-



to mais intenso durante o Verão, os máximos de fitoplâncton junto ao cabo de S. Vicente são advectados ao longo da vertente da costa Algarvia, em concordância com o padrão de distribuição das águas de afloramento para a costa SW e com o registo sedimentar das diatomáceas<sup>8,34</sup>. Neste caso, o zooplâncton, tal como a população de dinoflagelados, é removido do centro de afloramento daquele cabo e distribuiu-se junto à costa nas áreas adjacentes, em Sines e ao longo da costa Algarvia, parecendo mostrar uma relação menos estável entre fito e zooplâncton.

Durante o Outono, a distribuição dos dinoflagelados na costa NW, é marcadamente coincidente com as distribuições da biomassa zooplanctónica, reflectindo a concentração dos dinoflagelados *G. catenatum* e *A. affine* numa banda que se inicia junto à costa no topo norte da costa ocidental e que se estende para sul, ao longo do bordo da plataforma, até ao cabo Carvoeiro (Fig. 12b). É provável que a confluência de águas oceânicas sobre a plataforma e o estabelecimento da corrente da vertente nessa época do ano dêem origem a uma zona de convergência em que se concentram as espécies de zooplâncton e as de fitoplâncton com boa capacidade natatória, como *G. catenatum* e *A. affine*. Na costa S, o fitoplâncton e o zooplâncton mantiveram o mesmo padrão de distribuição descrito para o Verão.

No Inverno, o fitoplâncton e o zooplâncton mostram distribuições irregulares. Na Primavera, volta a formar-se uma banda sobre a região média e bordo da plataforma NW, onde coincidem os máximos de abundância do zooplâncton e os valores mais baixos de diatomáceas (Fig.6d). Aí, diminui a concentração de diatomáceas de afloramento, como *Pseudo-nitzschia* spp. (Fig.10d), podendo não só indicar o efeito da herbivoria como também as perdas por dispersão devidas à forte intensidade do afloramento. É possível que essa área de convergência resulte da interacção das águas de

afloramento com as oceânicas da vertente, caracterizadas pela presença da comunidade **O** (e.g. Fig.10h). Na costa SW mantém-se o padrão de Verão, com os máximos de zooplâncton coincidentes com os mínimos fitoplanctónicos, na periferia do centro de afloramento do cabo de S. Vicente.

Como se apresentou, existem diferenças espaciais na abundância e na organização das comunidades planctónicas na plataforma NW vs. plataforma SW/S. Estas diferenças parecem relacionar-se não só com condições mais prolongadas no tempo, como as características termohalinas das águas superficiais, a disponibilidade de nutrientes e a estratificação, mas também com outras, apenas aparentemente de menor duração, como o diferente padrão de afloramento nas duas áreas. Estas últimas condições deverão ter uma acção mais continuada, visto que, aliadas às primeiras, reflectem-se, a nível fitoplanctónico, na distância à costa da abundância absoluta de diatomáceas dos sedimentos superficiais na costa NW e SW<sup>32,34</sup>. Muito provavelmente, reflectem-se também a níveis mais elevados da cadeia trófica, pois foram observadas diferenças importantes na distribuição e organização trófica das comunidades de peixes exploradas por arrasto nas plataformas NW e SW/S de Portugal Continental, parte delas dependentes directamente do sistema pelágico<sup>35</sup>. Essas comunidades de peixes organizam-se, na zona NW, em redes tróficas do tipo pelágico (das quais fazem parte espécies como a sardinha) essencialmente baseadas em organismos planctónicos e muito dependentes do enriquecimento em nutrientes decorrente do afloramento. No SW e S, para além desse tipo de organização trófica, ocorrem também espécies de alimentação essencialmente bentónica (espécies de peixes demersais, como a pescada), tanto em fundos rochosos como em fundos de vasa. Esta menor conexão entre as comunidades, mostra uma rede trófica de um ecossistema



mais perturbado, onde a estabilidade pode ser atingida através de uma otimização da alimentação<sup>36</sup>.

Em resumo, descreveu-se ao longo deste capítulo a variação geográfica e sazonal dos grandes grupos fitoplanctónicos e das principais comunidades de fitoplâncton observadas ao longo da costa de Portugal e esquematizadas na Fig. 15. A variabilidade fitoplanctónica mostrou ser boa indicadora das principais fontes de variabilidade física à escala sazonal, regional e local, nomeadamente do processo de afloramento costeiro, o ciclo sazonal de estratificação da coluna de água, diferenças zonais das características termohalinas das águas superficiais e da convergência de águas oceânicas oligotróficas sobre a plataforma. O grupo das diatomáceas e a comunidade **A** são indicadores do processo de afloramento costeiro, que condiciona variações costa-largo, especialmente importantes durante o Verão e a Primavera. Esta comunidade ocorre a maiores ou menores distâncias da costa, em função da intensidade do afloramento. Os dinoflagelados e a comunidade **E** caracterizam períodos de maior estratificação da coluna de água. A comunidade **A** mistura-se com a comunidade **E**, nas áreas influenciadas por um afloramento fraco/moderado, sendo a mistura responsável por uma elevada produtividade (maiores concentrações de clorofila *a*). Nos picos de maior intensidade do afloramento, a comunidade **A** concentra-se nos centros de afloramento e a comunidade **E** surge nas áreas adjacentes aos centros. A comunidade **RM**, composta por espécies de diatomáceas de natureza bentónica ou ticopelágica abunda junto à costa, nas áreas ou períodos de maior intensidade de afloramento ou de forte ondulação. Os coccolitóforos *Emiliania huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica* associam-se com a comunidade **RM**, mas estendem-se a maiores distâncias da costa, estando aparentemente adaptados a condições de turbulência moderada na coluna de água. A

comunidade **O**, composta por coccolitóforos característicos de águas oceânicas oligotróficas tropicais e subtropicais, domina as águas do largo. Este grupo aproxima-se da costa durante os períodos de relaxamento do afloramento, ou de convergência de águas oceânicas para a costa durante o final de Outono e Inverno, sendo especialmente indicador da corrente da vertente. O Outono caracteriza-se pelo desenvolvimento de blooms de dinoflagelados em cadeia, *Gymnodinium catenatum* e *Alexandrium affine*, que se concentraram numa área de convergência ao longo da plataforma NW. No final da época de afloramento, estas espécies e a comunidade **VS**, presentes para sul do cabo Carvoeiro durante o Verão, parecem transportadas para a plataforma NW, devido à intensificação da circulação para norte das águas superficiais.

As diferenças existentes nas condições de estratificação e entre a intensidade e o padrão de afloramento nas plataformas NW e SW, parece reflectir-se na distribuição e abundância relativa de diatomáceas vs. dinoflagelados e na distribuição de fitoplâncton vs. zooplâncton.

### Referências Bibliográficas

1. Jeffrey, S. W., Vesk, M. & Mantoura, R.F.C. (1997). Phytoplankton pigments: windows into the pastures of the sea. *Nature & Resources*, **33**: 14-29.
2. Margalef, R. (1978a). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol. Acta*, **1**(4): 439-509.
3. Smayda, T.J. (1980). Phytoplankton species succession. In: *Physiological Ecology of Phytoplankton* (ed. I. Morris) pp. 493-570 (Blackwell Scientific Publications, Oxford).
4. Margalef, R. (1978). Phytoplankton communities in upwelling areas. The example

- of NW Africa. *Oecologica Aquatica*, **3**: 97-132.
5. Estrada, M. & Blasco, D. (1985). Phytoplankton assemblages in coastal upwelling areas. In: *International Symposium of Upwelling of W Africa*, Vol.1. (eds. C. Bas, R. Margalef & P. Rubias), pp. 379-402 (Instituto de Investigaciones Pesqueras, Barcelona).
  6. Wooster, W., Bakun, A. & McLain, D. (1976). The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. *J. Mar. Res.*, **34**: 131-141.
  7. Fiúza, A., Macedo, M.E. & Guerreiro, M.R. (1982). Climatological space and time variation of the Portuguese coastal upwelling. *Oceanol. Acta*, **5**, 31-40.
  8. Fiúza, A. (1983). Upwelling patterns off Portugal. In: *Coastal Upwelling, its Sediment Record. Part A. Responses of the Sedimentary Regime to Present Coastal Upwelling*, (eds. Suess, E. & Thied, J.) pp. 85-98 (Plenum, New York).
  9. Margalef, R., Durán, M. & Saiz, F. (1955). El fitoplancton de la ría de Vigo de enero de 1953 a marzo de 1954. *Inv. Pesq.*, **2**: 85-129.
  10. Malone, T.C. (1980). Algal size. In: *The physiological ecology of phytoplankton*. (ed. I. Morris), pp.433-463. Blackwell.
  11. Frouin, R., Fiúza, A.F.G., Ambar, I. & Boyd, T.J. (1990). Observations of a poleward surface current off the coast of Portugal and Spain during winter. *J. Geophys. Res.*, **95**: 679-691.
  12. Fiúza, A., Hamann, M., Ambar, I., Diaz del Rio, G., Gonzalez, N. & Cabanas, J.M. (1998). Water masses and their circulation off western Iberia during May 1993. *Deep-Sea Res.*, **I** (45): 1127-1160.
  13. Palma, A.S., Vilarinho, M.G. & Moita, M.T. (1998). Interannual trends in the longshore distribution of *Dinophysis* off the Portuguese coast. In: *Harmful Algae* (eds. B. Reguera, J. Blanco, M.L. Fernández and T. Wyatt) pp. 124-127 (Xunta de Galicia and IOC of UNESCO Publishers).
  14. Venrick, E.L. (1974). The distribution and significance of *Richelia intracellularis* Schmidt in the north Pacific central gyre. *Limnol. Oceanogr.*, **19**: 437-445.
  15. Villareal, T.A. (1994). Widespread occurrence of the *Hemiaulus*-cyanobacterial symbiosis in the southwest North Atlantic Ocean. *Bull. Mar. Sci.*, **54**: 1-7.
  16. Villareal, T.A., Altabet, M.A., Culver-Rymsza, K. (1993). Nitrogen transport by vertically migrating diatom mats in the North Pacific Ocean. *Nature*, **363** (6431): 709-712.
  17. Fraga, S., Gallager, S.M. & Anderson, D.M. (1989). Chain forming dinoflagellates: an adaptation to red tides. In: *Red tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology* (eds. Okaichi, T., Anderson, D.M. & Nemoto, T.) pp. 281-284 (Elsevier Science Publishing).
  18. Moita, M.T. (2001) *Estrutura, variabilidade e dinâmica do fitoplâncton na costa de Portugal Continental*. Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa, 272 pp.
  19. Blasco, D., Estrada, M. & Jones, B. (1980). Relationship between the phytoplankton distribution and composition and the hydrography in the northwest African upwelling region near Cabo Corbeiro. *Deep-Sea Res.*, **27A**: 799-821.
  20. Blasco, D., Estrada, M. & Jones, B. (1981). Short time variability of phytoplankton populations in upwelling regions - The example of Northwest Africa. In: *Coastal Upwelling*, (ed. F.A. Richards) Vol.1, pp. 339-347 (Coastal and Estuarine Sciences, American Geophysical Union, Washington).
  21. Olivieri, E. (1983). A description of the hydrography and phytoplankton communities in the upwelled waters of the Cape peninsula, South Africa, September 1972-February 1973. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, **1**, 199-229.

22. Mitchell-Innes, B.A. & Winter, A. (1987). Coccolithophores: a major phytoplankton component in mature upwelled waters off the Cape Peninsula, South Africa in March, 1983. *Mar. Biol.*, **95**: 25-30.
23. Brand, L.E. (1994). In: *Coccolithophores* (eds Winter, A. & Siesser, W.) pp. 39-49 Cambridge Univ. Press.
24. Sournia, A. (1982). Form and function in marine phytoplankton. *Biol. Rev.*, **57**: 347-394.
25. Cachão, M. & Moita, M.T. (2000). *Coccolithus pelagicus*, a productivity proxy related to moderate fronts off Western Iberia. *Marine Micropaleontology*, **39**: 131-155.
26. Kimor, B., Gordon, N. & Neori, A. (1992). Symbiotic associations among the microplankton in oligotrophic marine environments, with special reference to the Gulf of Aqaba, Red Sea. *J. Plankton Res.*, **14**: 1217-1231.
27. Fiúza, A. (1984). *Hidrologia e dinâmica das águas costeiras de Portugal*. Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa, Portugal, 294 pp.
28. Estrada, M. (1984). Phytoplankton distribution and composition off the coast of Galicia (northwest of Spain). *J. Plankton Res.*, **6**: 417-434.
29. Cunha, M. E. (2001). *Physical control of biological processes in a coastal upwelling system: Comparison of the effects of coastal topography, river runoff and physical oceanography in the northern and southern parts of the western Portuguese coastal waters*. Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa, Portugal, 293pp.
30. Abrantes, F. & Moita, M.T. (1999). Water column and recent sediment data on diatom and coccolithophorids, of Portugal, confirm sediment record of upwelling events. *Oceanologica Acta*, **22**: 319-336.
31. Moita, M.T & Silva A.J. (2001). Dynamics of *Dinophysis acuta*, *D. acuminata*, *D. tripos* and *Gymnodinium catenatum* during an upwelling event off the Northwest coast of Portugal. In: *Harmful Algal Blooms 2000* (eds. G.M. Hallegraeff, S.I. Blackburn, C.J. Bolch & R.J. Lewis.) (IOC of UNESCO) (aceite para publicação).
32. Cunha, M.E. & Moita, M.T. (1991). Produtividade planctónica na margem continental portuguesa como consequência do afloramento costeiro. *GALA*, **3**: 32.
33. Cushing, D.H. (1971). Upwelling and the production of fish. *Adv. Mar. Biol.*, **9**, 255-334.
34. Abrantes, F. (1988). Diatom assemblages as upwelling indicators in surface sediments of Portugal. *Mar. Geology*, **85**: 15-39.
35. Serrão, E. (1989). *Comunidades exploradas por arrasto demersal na plataforma continental portuguesa*. Relatório de estágio de licenciatura em Recursos faunísticos e ambiente, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. 180 pp.
36. Briand, F. (1983). Environmental control of food web structure. *Ecology*, **64**: 253-263.





Fragmentos em Ecologia

**Edição**

© Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa  
Escolar Editora

**Coordenação Científica**

Maria Amélia Martins-Loução  
Departamento de Biologia Vegetal, FCUL

**Coordenação Editorial**

Maria Amélia Martins-Loução  
Departamento de Biologia Vegetal, FCUL

**Edição de textos**

Helena Saramago  
Departamento de Biologia Vegetal, FCUL

**Design gráfico**

João Catarino

**Apoios**

FCT  
STORAENSO  
TRANSGAS  
CELPA  
FLAD

**Impressão e acabamento:**

Fernando Silva Miguel

ISBN: 972-592-150-X

Depósito Legal n.º 186590/02

Tiragem: 1000 exemplares

Novembro 2002

**Distribuição**

DINTERNAL - Dist. Int. de Livros, Lda.  
LISBOA: Rua do Vale Formoso, 37 - 1949-013 LISBOA  
Tel + 351 21 862 11 82

