

## A Oceanografia e o Ensino da Física (\*)

ISABEL AMBAR

Departamento de Física / Centro de Física  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

*Quem nunca se interrogou por que razão o mar é azulado, ou por que é que há correntes no oceano, ou por que é que as regiões do litoral têm menores amplitudes térmicas que as regiões do interior, ou, ainda, por que é que no Verão as praias da costa ocidental portuguesa têm águas tão frias e as do Algarve são relativamente quentes? Todavia, estas observações tão simples de fenómenos oceanográficos e que resultam de um contacto que temos com um meio natural pelo qual sempre sentimos uma certa atracção, não são na sua maioria explicadas, nem a nível do ensino secundário nem a nível do ensino superior...*

*O ensino da Física seria certamente beneficiado se os princípios fundamentais do Mecânica, da Acústica, da Termodinâmica ou do Electromagnetismo fossem também ilustrados com exemplos colhidos das observações desses fenómenos naturais que fazem parte da nossa vivência e que, como tal, serão objecto de um potencial interesse nosso.*

*Neste seminário procurou dar-se uma panorâmica geral do que é a Oceanografia e quais as questões fundamentais que esta procura resolver. Simultaneamente, pretendeu-se chamar a atenção para o facto da Física dos oceanos poder ser apresentada, no seu essencial, de um modo simples e fazendo uso de conceitos básicos e, como tal, poder vir a ser explorada no ensino secundário como um forte estímulo para o interesse dos alunos de Física.*

### 1. Relações entre a Oceanografia, a Física e a Tecnologia

Se pensarmos no oceano do ponto de vista de um sistema físico, o seu comportamento deverá ser regido pelas leis fundamentais da Física e condicionado pelo facto de se tratar de um fluido sobre um globo em rotação, trocando energia, massa e momento linear através da sua fronteira com a atmosfera.

A Oceanografia, cujo objectivo é essencialmente o estudo das características do sistema físico oceano e dos processos que nele têm lugar, tendo em vista a respectiva descrição e previsão, recorre aos diversos ramos da Física não só para basear os seus métodos de observação como para interpretar os fenómenos observados.

No quadro 1 apresenta-se uma síntese das relações entre quatro domínios da Física (Mecânica, Termodinâmica, Electromagnetismo e Acústica) e a Oceanografia, do ponto de vista das grandezas fundamentais, dos fenómenos e processos e dos métodos de observação.

Ao pôr aqui em relevo a estreita dependência da Oceanografia em relação às leis fundamentais da Física, convém não esquecer também o papel dinamizar que a interpretação dos fenómenos oceânicos observados tem tido no desenvolvimento da Física, nomeadamente no domínio da Dinâmica dos Geofluidos.

A Oceanografia como ciência organizada surgiu nos finais do século passado, tendo-se

(\*) I Encontro Regional do Ensino da Física, SPF, Fevereiro 1988, Lisboa.

Quadro 1 — Relações Física / Oceanografia

OCEANOGRAFIA	FÍSICA			
	Mecânica	Termodinâmica	Electromagnetismo	Acústica
Grandezas Relevantes	Velocidade e direcção da corrente e do vento; oscilações da superfície livre e das superfícies de densidade constante	Temperatura, salinidade, densidade, calor específico, etc.	Radiação solar, radiação terrestre	Velocidade do som do mar
Fenómenos/Processos	Circulação induzida pelo vento; circulação termohalina; correntes de maré; agitação marítima; ondas internas; difusão molecular e turbulenta; mistura de massas de água	Circulação termohalina; difusão molecular; condução térmica; evaporação/precipitação; congelação/fusão	Cor do mar, turbidez/ /transparência	Canal do som
Métodos Observacionais	Bóia derivante; Correntómetro; Ondógrafo; Marégrafo; Anemógrafo	Termómetro; Termístor; Condutímetro; Salinómetro	Tele-deteção (no domínio do visível, e das microondas; do infravermelho Transmissão de dados (por satélite)	Correntómetro e perfilador acústico; Sonar; ecosonda

devotado essencialmente à descrição dos aspectos de grande escala do oceano, tais como a distribuição e circulação geral das massas de água. Com o avanço da electrónica moderna, nomeadamente nos últimos 20 ou 30 anos, foram surgindo e sendo aperfeiçoados novos métodos de observação que permitiram obter uma melhor resolução no espaço e no tempo e pôr a descoberto fenómenos oceânicos que haviam passado despercebidos até então. São exemplos deste caso, as sondas CTD, que fornecem perfis verticais contínuos de temperatura e de salinidade, permitindo resolver as estruturas termohalinas de microescala, e os correntómetros automáticos ancorados, que registam séries temporais das correntes, da temperatura e da salinidade nos locais e às profundidades que se pretendam e durante longos períodos de tempo, possibilitando a avaliação das escalas de variabilidade dos campos dessas grandezas oceanográficas. O avanço tecnológico no domínio da detecção remota utilizando satélites, veio tornar possível uma amostragem

global de parâmetros tais como a temperatura ou a topografia da superfície do mar, o que levou a uma melhor compreensão da variabilidade espacial e das relações entre fenómenos de diferentes escalas ou ocorrendo em regiões do Globo afastados entre si.

Para além da forte contribuição do desenvolvimento tecnológico para os métodos de observação oceanográfica, há ainda a considerar a importância do advento das tecnologias da computação na formação e no processamento (em tempo real ou diferido) das extensas bases de dados obtidas com os novos instrumentos e no desenvolvimento das técnicas de modelação numérica de processos oceânicos.

## 2. Alguns aspectos essenciais no estudo dos oceanos

Como não está na natureza deste Seminário um relato exaustivo dos tópicos de maior inte-

resse na Oceanografia dos dias de hoje, vamos apenas referir aos processos oceanográficos mais importantes, para a compreensão dos quais são apenas necessários conceitos básicos da Física.

## 2.1. Balanço energético do oceano

A energia solar é a principal origem das forças motrizes do oceano e da atmosfera. Em cada minuto, o Sol fornece cerca de 2 calorias a cada  $\text{cm}^2$  da superfície da Terra (Globo + atmosfera) perpendicular aos seus raios, o que, em 10 dias, é equivalente à energia que seria libertada pela combustão de todas as reservas de combustível fóssil conhecidas na Terra! Mas esta energia não é distribuída uniformemente com a latitude e é essa a causa fundamental, directa ou indirectamente, da circulação tanto na atmosfera como no oceano. Estes dois sistemas funcionam como máquinas térmicas postas em marcha por esse gradiente latitudinal, existindo uma forte interacção entre eles.

A radiação solar que atinge o oceano é constituída essencialmente por radiação no domínio do visível ( $0.35\text{-}0.7\ \mu\text{m}$ ), tendo a maior parte dos ultravioletas e dos infravermelhos sido absorvida durante a travessia da atmosfera, respectivamente pelo ozono e pelo vapor de água. Ao incidir na superfície do mar, a radiação solar directa e a que provém da difusão pela atmosfera vão ser parcialmente reflectidas, mas há uma parte que penetra na água sem, no entanto, ultrapassar profundidades da ordem dos 100 metros, devido à absorção e à difusão pelas moléculas da água e pelas substâncias dissolvidas e em suspensão.

A difusão da luz solar causada pelas moléculas, sejam de água ou de gases, é uma difusão de Rayleigh, isto é, proporcional ao inverso da 4.<sup>a</sup> potência do comprimento de onda da radiação incidente e portanto é muito selectiva, sendo a cor azul (comprimento de onda  $\sim 0.46\ \mu\text{m}$ ) muito mais difundida que a cor vermelha (c.d.o.  $\sim 0.70\ \mu\text{m}$ ). Isto explica

por que razão a cor do mar, que resulta essencialmente da radiação solar retrondifundida pela água e da luz solar difusa que é reflectida na superfície do mar, é azulada.

Parte da radiação solar que é absorvida pelo oceano vai contribuir para o aumento da sua energia interna e, consequentemente, para o aumento da sua temperatura. Mas ao considerarmos um balanço de energia térmica para o oceano global e para um período longo (mais de 1 ano), não será de esperar uma variação de temperatura resultante, e portanto isso significa que aquele ganho de energia por absorção terá de ser compensado por uma perda de uma quantidade de energia equivalente, sob a forma de radiação electromagnética ou outras formas de energia. Vamos então ver quais são os outros termos importantes desse balanço.

É evidente que o oceano ou a atmosfera, tal como qualquer corpo com temperatura diferente do zero absoluto, emitem radiação electromagnética, cuja «qualidade», expressa em termo de c.d.o., depende dessa temperatura (quanto menor a temperatura mais longos os c.d.o. da radiação emitida). Para a gama de temperaturas do Globo, essa emissão faz-se no domínio dos infravermelhos (portanto, radiação não visível), com um máximo próximo dos  $10\ \mu\text{m}$ . Então, no balanço energético para o oceano, temos de considerar uma perda de energia sob a forma de radiação infravermelha e que, em parte, é compensada pela que é enviada pela atmosfera, na mesma gama de c.d.o., para a superfície do mar.

Há ainda outros dois mecanismos que contam para o balanço de energia térmica do oceano global: o calor latente perdido por evaporação da água à superfície e as transferências de calor entre o oceano e a atmosfera por condução, estas existindo sempre que há um gradiente de temperatura entre os dois sistemas e originando instabilidades e consequente convecção turbulenta.

A Fig. 1 esquematiza o balanço de energia térmica do oceano, indicando (em unidades percentuais) as contribuições dos mecanismos principais nele envolvidos.

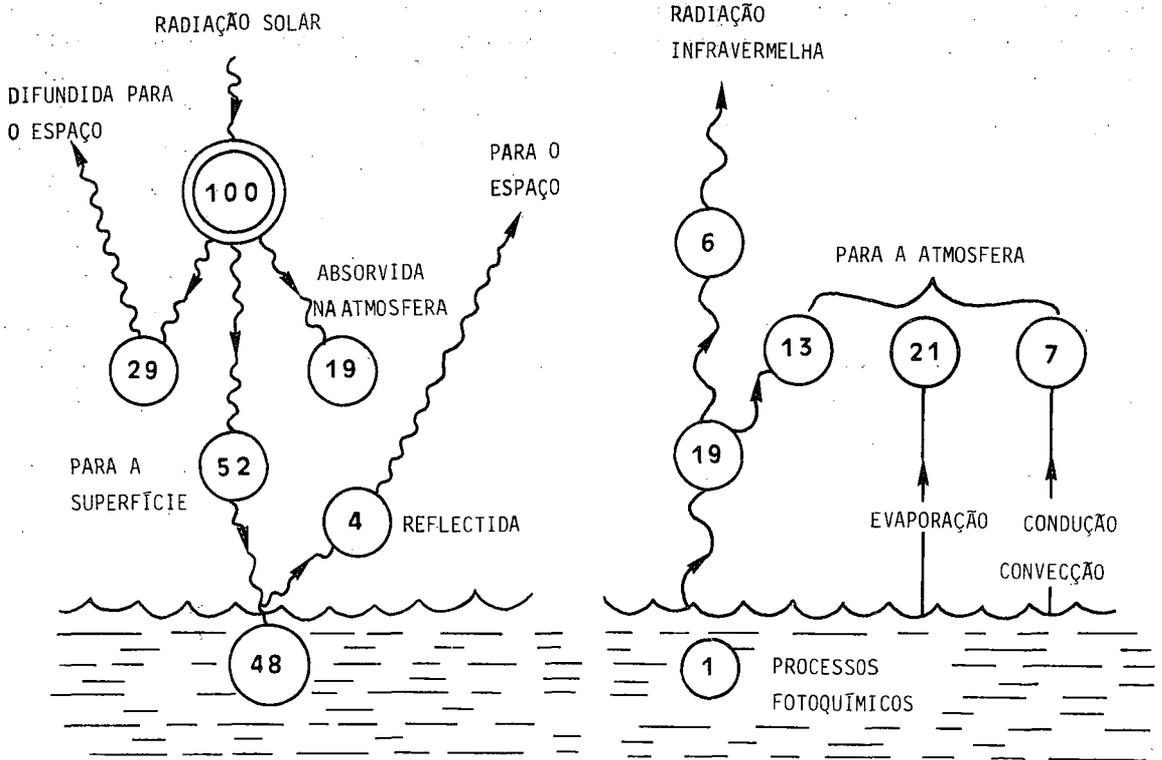


Fig. 1 — Balanço de energia térmica para o oceano global.

A Fig. 2 amostra a variação com a latitude dos vários termos do fluxo de calor (médias anuais) através da superfície do oceano e da sua resultante, indicando um ganho entre o Equador e os 30° de latitude, e uma perda nas latitudes superiores. Uma vez que as temperaturas médias na Terra se mantêm essencialmente constantes, temos de concluir que deve haver um transporte de calor das baixas para as altas latitudes, e esse transporte é assegurado tanto pelo oceano como pela atmosfera.

## 2.2. A circulação oceânica

Até agora só nos referimos aos termos de energia cuja acção se reflecte directamente na temperatura do oceano. Mas há outras formas de energia, nomeadamente, a energia que está associada ao fluxo de matéria e a energia mecânica, que teremos de considerar num balanço energético completo.

A energia mecânica, sob as formas potencial e cinética, provém, na sua quase totalidade, da transformação de parte da energia solar absorvida pelo sistema oceano-atmosfera. Uma vez

que a radiação solar não é homoganeamente recebida por este sistema, vai haver um aquecimento diferencial entre o Equador e os Polos, o que vai gerar heterogeneidades no campo da densidade, induzindo uma circulação tanto no oceano como na atmosfera. Esta circulação geral de grande escala, é afectada pela rotação

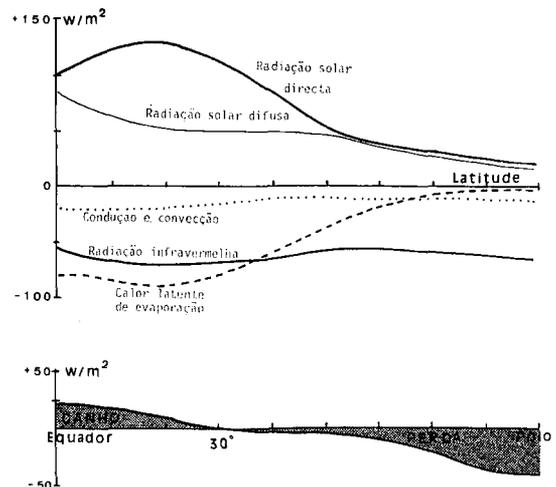


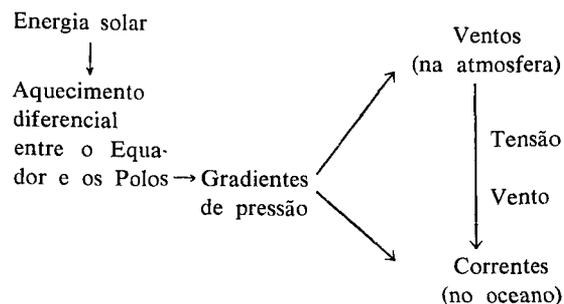
Fig. 2 — Variação latitudinal dos vários termos do balanço térmico.

da Terra, ou seja, o movimento é deflectido, por acção da força de Coriolis, para a direita no Hemisfério Norte e para o esquema no Hemisfério Sul.

A energia cinética que resulta da conversão da energia potencial disponível é cerca de duas ordens de grandeza maior para a atmosfera do que para o oceano. Deste modo, há uma parte que é transferida para o oceano através da tensão exercida pelos ventos na superfície do mar, induzindo uma circulação na camada superior deste.

Essencialmente, podemos dizer que a circulação geral oceânica tem duas origens: (i) a tensão do vento, cujo efeito directo afecta os primeiros 100 metros do oceano; (ii) os gradientes de pressão devido às heterogeneidades do campo da densidade que, por sua vez, dependem da não uniformidade nas distribuições da temperatura e da salinidade do oceano.

Podemos resumir esta cadeia de mecanismos que relacionam a energia solar com a circulação no sistema oceano-atmosfera do seguinte modo:



### 3. A Oceanografia e o Ensino da Física

É bastante evidente que se poderia despertar ou intensificar o interesse dos alunos pela Física, a nível do ensino secundário, se se introduzissem exemplos baseados em alguns fenómenos oceanográficos de que todos nos apercebemos e cuja explicação se poderá fazer em termos simples e com base nos conceitos e leis fundamentais da Física.

A título de exemplo, poderemos aqui referir o fenómeno do «upwelling» (afloramento) que tem lugar em várias zonas costeiras do oceano mundial, incluindo a costa ocidental portuguesa, e que tem repercussões não só na temperatura superficial da água como também

na sua produtividade, constituindo esta um factor primordial para a riqueza pesqueira da região.

Este fenómeno resulta, essencialmente, da acção do vento sobre a água, conjugada com o efeito da rotação da Terra. A tensão do vento na superfície do mar provoca um arrastamento, por atrito, da camada superficial, sendo o movimento desta desviada para a direita (no caso do Hemisfério Norte) pela força de Coriolis. Por sua vez, esta camada vai exercer uma força de atrito na camada subjacente, sendo o movimento resultante nesta menos intenso e mais desviado para a direita do que na camada superior, e assim sucessivamente até profundidades de cerca de 50-100 m. O resultado desta corrente de «deriva», integrado para toda essa camada superficial, é um transporte de massa perpendicular à direcção do vento e para a direita (no Hemisfério Norte).

Se agora considerarmos este efeito de deriva na proximidade de uma costa, e se a direcção do vento for tal que «empurra» a água da camada superficial para o largo, então, por continuidade, terá de se dar uma subida da água sub-superficial (como se ilustra na Fig. 3).

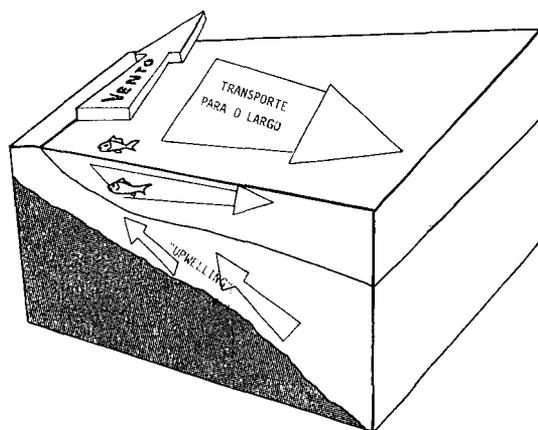


Fig. 3 — O fenómeno do «upwelling».

Esta, em geral, é mais fria e mais rica em nutrientes, o que se vai repercutir numa descida da temperatura de superfície na região costeira e um aumento da produtividade das águas.

Este fenómeno, que na costa ocidental portuguesa se faz sentir durante os meses de Verão, quando sopra a «nortada», ou na costa algarvia, quando sopra vento de Oeste, pode ser expli-

cado com base apenas nos conceitos de força de atrito e de força de Coriolis. Esta, por outro lado, pode ser ilustrada numa sala utilizando um disco a rodar com uma folha de papel colada, traçando-se neste uma «recta» (que, evidentemente, ficará curva se for desenhada com o papel a rodar) com a ajuda de uma régua fixa, como está esquematizado na Fig. 4.

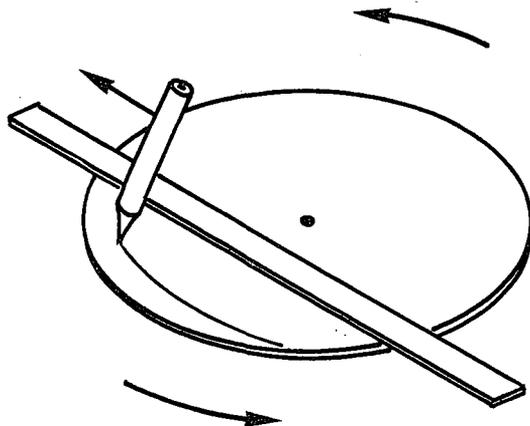


Fig. 4 — Ilustração da força de Coriolis.

#### 4. Conclusões

Espera-se que esta panorâmica, se bem que muito superficial, do que é a Oceanografia e da sua ligação muito forte à Física, venha a encorajar alguns professores do ensino secundário a introduzirem um pouco da realidade do ambiente que nos cerca, e que faz parte da nossa vivência desde crianças, para demonstrar como a Física a pode explicar facilmente.

#### BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

— «Descriptive Physical Oceanography» (4.<sup>a</sup> edição), 1982—G. L. Pickard & W. J. Emery (Pergamon Press).

— «Introductory Dynamical Oceanography» (2.<sup>a</sup> edição), 1983—S. Pond & G. L. Pickard (Pergamon Press).

— «The Atmosphere and Ocean», 1986—N. Wells (Taylor & Francis).

NATO advanced Study Institute on

### APPLICATIONS OF STATISTICAL AND FIELD THEORY METHODS TO CONDENSED MATTER

22 MAY—2 JUNE 1989, UNIVERSITY OF EVORA

THE MAIN INSTITUTE TOPICS WILL BE

- Classical and Quantum Phase Transitions and Tunneling
- Dynamical System and Pattern Formation
- Electrons in Disordered and Interacting Systems

Deadline for Application: 31th March 1989

Information: J. Carmelo

Departamento de Física

Universidade de Évora

Ap. 94

P-7001 ÉVORA CODEX (Portugal)

Tel: (66) 25572 / 3 / 4

Telefax: (66) 20775