



LISBOA
EXPO'98

PAVILHÃO DO FUTURO

EXPOSIÇÃO MUNDIAL DE LISBOA DE 1998

EXPOSIÇÃO MUNDIAL DE LISBOA DE 1998

COMISSARIADO DA EXPOSIÇÃO MUNDIAL DE LISBOA

COMISSÃO EXECUTIVA

JOSÉ DE MELO TORRES CAMPOS
(COMISSÁRIO-GERAL)
ANTÓNIO MEGA FERREIRA
SIMONETTA LUI AFONSO
LUÍS EDUARDO DA SILVA BARBOSA

ALFREDO DUARTE COSTA
CARLOS MINA HENRIQUES
MÁRIO ALBERTO DONAS
TOMÉ FALCÃO
ANTÓNIO FIGUEIREDO SILVA MARTINS
FRANCISCO MARQUES BANDEIRA
MARIA JOÃO AMECASSIS
FILIPE DOS SANTOS OLIVEIRA
JOSÉ ALMEIDA RIBEIRO
ALFREDO CALDEIRA
JOSÉ SILVA LEMOS
JOÃO SOARES
DEMÉTRIO ALVES
JOAQUIM SOEIRO DE BRITO
JORGE MANUEL DIAS



PARQUE EXPO 98, S.A.

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

JOSÉ DE MELO TORRES CAMPOS
(PRESIDENTE)
ANTÓNIO MEGA FERREIRA
ANTÓNIO MANUEL PINTO
MANUEL FREDERICO BASTO SARRAGOÇA
ANTÓNIO JOSÉ PINA PEREIRA
RAUL ALMEIDA CAPELA
ADÃO RAMOS BARATA

SECRETÁRIO-GERAL

JOÃO MARTINS

PARQUE EXPO 98, S.A.
AVENIDA MARCHEL GOMES DA COSTA, 27 - 1800 LISBOA

TELEFONE

(01) 831 98 98

FAX

(01) 837 00 22

INTERNET

WWW.EXPO98.PT

E-MAIL

INFO@EXPO98.PT



PAVILHÃO DO FUTURO

EXPOSIÇÃO MUNDIAL DE LISBOA DE 1998

EXPOSIÇÃO MUNDIAL DE LISBOA DE 1998

PAVILHÃO DO FUTURO

COORDENAÇÃO E GESTÃO DE PROJECTOS EXPOSIÇÃO

ROLDÃO BORGES MARTINS
ANTÓNIO MAGALHÃES
FRANCISCO FATELA
PAULO SERRAL MARQUES
PENNA CHAGUEIRO

EDIFÍCIO

VIRGÍLIA BORGES
ÁLVARES DE FREITAS
ANTÓNIO CHIRIBANDAS

COMITÉ DO TEMA

ANTÓNIO MELA FERREIRA
HENRIQUE CHATELLE
JAMES CALDERA
LUÍS BUIÃO DA FONSECA
MARCELO GIL
MÁRIO RUIVO
RUI DE PASCOA

CUIÃO

FRANCISCO FATELA
PENNA CHAGUEIRO
FRANCISCO MENDES FERREIRA

ASSESSORIA

MÁRIO RUIVO
IMCENSA, S.A.

CONSULTORES CIENTÍFICOS

ANTÓNIO FRAIAS MARTINS
ANTÓNIO BENCINO
CARLOS GYL MARTINS
CARLOS REIS
CARLOS VALE
CÉSAR FRAIAS DE ANDRADE
FÁTIMA RODRIGUES

FERNANDA BARREIRA
FERNANDA VILASBO CAMÊS
FRANCISCO BARRAGÃO
GILBERTO DE CARVALHO
HENRIQUE OLIVEIRA PINEL
ISABEL AMARAL
JOSÉ ALVES/ANDRÉ DINIS
JOSÉ COELHO
LUÍS MENDES VICTOR
LUÍS SOUSA
MARIA JOÃO BASTARDAS
MARIA JOSÉ COSTA
MARIA RUIVO
MATEUS FANLEY
RICARDO SERRÃO SANTOS

PROJECTO EXPOSITIVO CONCEPÇÃO GERAL

PIERRE BILLY BARRON

ARQUITECTURA E CORPÓREOS EXPOSITIVOS

PIERRE BILLY BARRON
MUNG VONICHI

DESIGN DE SISTEMAS EXPOSITIVOS

FRANCESCO RUCCA
LUÍS MANTERO
MARIA WUNDERLICH

DESIGN DE LUZ

OLIVIERO WOOD

INST. TÉCNICA DO SOM, ACÚSTICA E PRODUÇÃO MUSICAL

STEREOSOM, Sociedade de Representações, Lda.

GERADOR DE ONDAS

W.W., Consultores de Hidráulica
e Obras Hidráulicas, Lda.



FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS

CONHEC, CONSULTA DE PROJECTOS, ENGENHARIA E SERVIÇOS, S.A.

AR CONDICIONADO, DESENFUMAGEM E ESGOTOS

TECHOPERT, PROJECTOS E PLANEAMENTO, Lda.

INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS, COMUNICAÇÕES E SINALIZAÇÃO DE EMERGÊNCIA

Miguel Santos

SEGURANÇA

Franco Lima Silva

Miguel Fernandes

CONSULTORES DE ÁREAS ESPECÍFICAS CONTEÚDOS

Fernando António Baptista Pereira

Rita Westminster

PRODUÇÃO DOS CONTEÚDOS EXPOSITIVOS ESPECTÁCULO MULTIMÉDIA 3D

Lightbox Design House

CENOGRAFIAS E COORDENAÇÃO DE MONTAGEM

Pruniera, Lda.

CONSTRUÇÃO CIVIL EMPREITEIRO GERAL

Colares & Engenheiros

AQUÁRIO DE MEDUSAS

Pantecreation, S.L.

GRAFISMO

QuatroPontosQuatro, Lda.

PRODUTOR DELEGADO EXECUTIVO DE AUDIOVISUAIS

ArteMídia & CO.

ESCULTURAS SONORAS E EQUIPAMENTO DE SOM

Estimoteam, Lda.

EQUIPAMENTOS AUDIOVISUAIS E SISTEMA DE CONTROLO CENTRALIZADO

Technusson, Lda.

GLOBO TERRESTRE

Trasatlantica, S.L.

EQUIPAMENTOS DE ILUMINAÇÃO CÉNICA

Luzima, Lda.

REVESTIMENTOS ESPECIAIS

Napel, Lda.

GERADOR DE ONDAS

Quadracinho, Lda.

PROJECTO DO EDIFÍCIO CONCEPÇÃO GERAL E ARQUITECTURA

Paula Santos

Rui Nunes

Miguel Gomes

COLABORAÇÃO

Susana Bettencourt

Maria José Pato

Rui do Prado

Joaquim Santana

Paula Pinto

COORDENAÇÃO DO PROJECTO

Intersoma, Lda.

Manuel Quintá

FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS

ETEC, Lda.

Maria Paixões

Roberto Teixeira



ÁGUAS E ESGOTOS

Vitor Amante, Lda.
Vitor Amante
Pedro Paulo

INST. EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS E DE SEGURANÇA

LM – Proj. Gestão de Instalações Especiais
Luís Marques da Silva
Carlos Martins
Carlos Jesus
Carlos Alves

INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS

Pontenta, Lda.
Luís Sacramento
Joaquim Coimbra
Pedro Ávila Marques

CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO EMPREENHEIRO GERAL

CONSTRUTORA EMPREENHEIROS CAMEL, S.A.
e ENSTRUTOS E FELHAS, S.A.

SUBEMPREENHEIROS E FORNECEDORES

FUNDAÇÕES
Enzite, S.A.

ESTRUTURAS METÁLICAS

Socametal, S.A.

COORDENAÇÃO DAS INST. TÉCNICAS
E FORNECIMENTO DE EQUIP. ELÉCTRICO
Siemens, S.A.

INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS

Enzite, S.A.

INSTALAÇÕES DE AVAC

Sousa Pedro, S.A.

SISTEMA DE ELEVÇÃO

Oliv. Elevadores, S.A.

FORNECIMENTO DE BETÃO CINZENTO E BRANCO

União, S.A.

FORNECIMENTO DE PLACAS DE BETÃO

Socimex, S.A.

FORNECIMENTO DE VIDROS

Draven, Lda.

SERRALHARIAS

Sixente

SILVANAS DAS FACHADAS

Maçel, Lda.

FISCALIZAÇÃO GERAL

Prunha, S.A.

COORDENAÇÃO

Pedro Duarte Fernandes

ELECTROTECNIA

Luís Marques da Silva

MECÂNICA

Roberto Machado Vieira

FISCAL CIVIL

Luís Vialonga Filipe

FISCAL ELECTROMECHANICO

Carlos Jesus Atchins

ENCARREGADO FISCAL CIVIL

Correio de Jesus Cristina

MEDIDOR

José Almeida Pinto

TÉCNICO DE PLANEAMENTO

José Bernardino Neta

SECRETARIADO

Alcântara Pedro

A G R A D E C I M E N T O S

O Comissariado da Exposição Mundial de Lisboa de 1998 e a Sociedade Parque EXPO 98, S. A. expressam os seus agradecimentos a todos os particulares e instituições que, de algum modo, colaboraram na concepção, produção e montagem do Pavilhão do Futuro e na edição desta obra.

Expressam especiais agradecimentos a:

Alexandra Escudeiro

Ana Cristina Costa

Ana Pascual

Andrew Suntsov

Carlos Assis

Carlos Marques da Silva

Curtis Ebbesmeyer

ESA, Agência Espacial Europeia

Fabienne Khayat

Gérard Aufret

Gilles Bareille

IFREMER, Institut Français de Recherche
pour l'Exploitation de la Mer

Isabel Luísa Trajano

Jean Claude Fougères

João Constança

Jorge Marques da Silva

José Lino Costo

José Taborda

Liliana Póvoas

Luís Rocha Monteiro

Margarida Lima de Faria

Marina Sequeira

Mário Cachão

Marti Georgeff

Michel Pujos

Miguel Saldanha

Rui Taborda

Saint Louis Zoo

Soares de Carvalho

Susana Dias.

Imagens oferecidas:

Fabienne Khayat

Francisco Manso

IFREMER, Institut Français de Recherche pour
l'Exploitation de la Mer

IO – Vanda Brotas

Ricardo Melo e Teresa Cabrita

IPIMAR – Teresa Moita

South Australian Museum – Neville Pledge (fauna
de Ediacara)

Southampton Oceanographic Institute – Richard
Lampitt (neve marinha)

*À memória do Professor
Luiz Saldanha*

Os pavilhões temáticos de uma grande exposição mundial servem, antes de mais, o tema da exposição em que se inserem. No caso do EXPO '98, o tema é «Os Oceanos, Um Património para o Futuro», em sintonia com o facto de as Nações Unidas terem declarado 1998 como Ano Internacional dos Oceanos.

Abordando este tema nas suas vertentes ecológica, lúdica, científico e artística, os pavilhões temáticos são espaços-âncora de mostra e reflexão, fazendo realçar os bens físicos e culturais oferecidos pelos Oceanos e alertando para a responsabilidade que todos temos na sua conservação perante as gerações futuras.

No EXPO '98 há cinco grandes pavilhões temáticos: o Pavilhão dos Oceanos, o Pavilhão do Conhecimento dos Mares, o Pavilhão do Futuro, o Pavilhão da Utopia e, naturalmente, o Pavilhão de Portugal.

O Pavilhão do Futuro pretende modificar a percepção que habitualmente se tem dos mares com uma visão nova e científico dos requisitos para a sua exploração e conservação.

É neste espaço que são divulgados alguns dos assuntos fundamentais que ocupam os programas internacionais de investigação nos vários domínios em que se desdobra a actividade científico a que está confiado um papel do maior relevo.

Nesta última exposição mundial do século XX pedimos aos visitantes que sejam mais um elo de sensibilização da comunidade internacional para esse projecto comum que tanto nos entusiasma e motiva: a defesa dos Oceanos.

EXPOSIÇÕES – MODUS FACIENDI

A Parque EXPO 98, S.A., tendo por compromisso estabelecido com o Bureau International des Expositions (BIE) a realização em Lisboa, de 22 de Maio a 30 de Setembro de 1998, de uma Exposição Mundial subordinada ao tema «Os Oceanos, Um Património para o Futuro», definiu uma metodologia para a concepção, produção e montagem dos pavilhões temáticos.

Coube à Área Promark/Departamento de Conteúdos a responsabilidade da organização dos seguintes pavilhões e áreas temáticas da Exposição Mundial de Lisboa: Pavilhão do Conhecimento dos Mares, Pavilhão do Futuro, Pavilhão da Utopia, Pavilhão da Realidade Virtual e Exibição Náutica.

Com uma equipa de colaboradores permanentes e de consultores nacionais e internacionais, quer para a elaboração do guião, a partir de um plano director previamente definido, quer para o acompanhamento do desenvolvimento dos projectos expositivos, da produção e da montagem das exposições, foi possível promover um trabalho que se crê inovador e criativo no campo da realização de exposições. Partiu-se de um tema, no qual a noção de património esteve ligada à ideia de conservação e de responsabilidade face às futuras gerações, desdobrando-o num plano nacional e internacional, de modo a tornar o futuro português solidário com o futuro das relações entre o homem e os oceanos à escala mundial. Foi neste contexto que se integraram e desenvolveram os pavilhões e áreas temáticas da EXPO '98.

Definiu-se uma metodologia para o desenvolvimento dos trabalhos de implantação dos conteúdos, tendo como princípios orientadores, para além da temática de cada pavilhão, a qualidade, o rigor, a inovação, a originalidade, a criatividade, o planeamento e o orçamento preestabelecido.

Esta metodologia para a realização das exposições obedeceu à definição das seguintes etapas, que foram directamente acompanhadas pela equipa permanente do Departamento de Conteúdos e pelos consultores para as diferentes especialidades: plano director de conteúdos, pré-guião, selecção de equipas projectistas, estudo prévio, guião expositivo, anteprojecto expositivo, projecto básico, projecto de produção, selecção de equipas de produção e de montagem de conteúdos, produção de conteúdos, montagem e operação.

Neste contexto, foram seleccionados os projectistas, de entre equipas nacionais, para a elaboração dos projectos expositivos, e escolhidas as empresas para a produção de conteúdos

e montagem das exposições, o partir de uma vasta consulto, tanto a nível nacional como internacional. Ao mesmo tempo, foi feito um estudo no mercado sobre a tipologia dos materiais e equipamentos, e sobre os seus custos, de modo a ter elementos seguros para negociações com as empresas produtoras e instaladoras de conteúdos, e, por outro lado, para se fazer o contraste orçamental durante a elaboração de todas as fases do projecto expositivo, permitindo análises, correcções e ajustamentos.

Durante todas as fases, quer de projecto quer de produção, houve acompanhamento, supervisão e controlo técnico expositivo e avaliação técnica de todos os sistemas expositivos.

Estamos perante um novo conceito de exposição centrado sobre um tema lúdico que é simultaneamente de primordial importância social, cultural, económica e política para a humanidade.

A pluralidade de experiências expositivas que uma Exposição Mundial exige criou, estamos certos, uma nova cultura no campo da concepção, produção e montagem de exposições, deixando, assim, um grande contributo ao *modus faciendi* de grandes realizações mundiais.

ROLANDO BORGES MARTINS

Director de Área

ANTÓNIO NABAIS

Director do Departamento de Conteúdos

FAZER UMA EXPOSIÇÃO NUMA EXPOSIÇÃO

As Exposições Internacionais são, essencialmente, a reunião de um conjunto de exposições que decorrem nos diferentes pavilhões que as constituem. Aparentemente, estas exposições poderão parecer semelhantes às que se podem ver em qualquer museu ou evento cultural, mas, pela simples razão de pertencerem a uma Exposição Internacional, são bem distintas. Isto deve-se ao facto de que, para que a sua função se cumpra devidamente, têm de ser capazes de cobrir uma série de requisitos tão precisos, que acabam por condicionar o projecto, tornando-as diferentes.

O primeiro condicionamento é o próprio tema da Exposição em que se inscrevem. A Exposição Mundial de Lisboa de 1998 — iniciativa desencadeada com a intenção de celebrar o V Centenário da chegada de Vasco da Gama à Índia, comandando uma frota portuguesa —, possui um objectivo mais ambicioso que o da mera comemoração histórica. A EXPO '98 pretende festejar o Oceano, esse único e imenso mar que cobre uma grande parte da superfície do nosso planeta. Nenhuma outra homenagem a Vasco da Gama, e ao conjunto de descobridores portugueses que ele simboliza, poderia ser melhor. Mas o Oceano, essa bela massa de água que caracteriza e diferencia o nosso planeta como o planeta azul, essa imensa massa de água que converte a Terra no planeta vivo, é um sistema frágil.

Sob o tema «Os Oceanos, Um Património para o Futuro», Lisboa será o epicentro a partir do qual irradiará uma mensagem que deverá difundir-se à escala universal, como um baque que nos fará reflectir a todos e que lançará as bases para uma mudança de atitude individual e colectiva. Essa mensagem constitui o tema central da EXPO '98: o Oceano, esse imenso e maravilhoso mar azul vital, é um Património de todos — entendendo por património o seu valor intrínseco natural, biológico e geológico, e também a relação que, ao longo da história, o Homem estabeleceu com ele —, e que todos temos a responsabilidade de conservar para o Futuro.

Todos aqueles que participam na EXPO '98 contribuem para a celebração e desenvolvimento do seu tema. Contudo, a organização assumiu a responsabilidade de desenvolver o discurso global de modo integral e extensivo, através de uma série de actividades temáticas e de instalações expositivas desenvolvidas em vários pavilhões independentes distribuídos pelo recinto, formando um conjunto discursivo entrançado e coerente: o Pavilhão dos Oceanos, o Pavilhão do Conhecimento dos Mares, o Pavilhão da Utopia e o Pavilhão do Futuro. Cada um deles desenvolve uma parte do tema geral da EXPO '98.

UM PÚBLICO UNIVERSAL

Além de contribuírem para o desenvolvimento do tema, os pavilhões temáticos têm outra missão essencial: a de garantirem uma oferta expositiva básica na EXPO '98 que seja suficientemente atractiva e satisfatória para o visitante. Atrair e satisfazer o público é, por conseguinte, a outra prioridade de cada um dos pavilhões temáticos.

O público de uma Exposição Internacional caracteriza-se por ser muito numeroso e muito diverso. Procede dos mais variados âmbitos geográficos e linguísticos, e de níveis socioculturais muito diferentes.

No entanto, é um público que tem algo em comum: a certeza de que vai encontrar coisas surpreendentes, novas e admiráveis. As pessoas vão a uma Exposição Internacional em busca de uma experiência única e inesquecível. Cada um dos pavilhões, e todos os elementos que os integram, deverão dar resposta a essa procura. O visitante de uma Exposição é movido pelo afã da descoberta, da procura da novidade. Inovação, surpresa e singularidade, são ingredientes essenciais para que a oferta que encontrar não defraude essa expectativa.

Esta atitude dos visitantes é um aliciente muito positivo sempre que se aborda um projecto expositivo. Porém, não se trata de agradar a um visitante, mas a milhões deles. O visitante individual impõe-nos uma abordagem inovadora e ambiciosa de cada pavilhão. Mas o público da EXPO '98, devido ao seu número, impõe um conjunto de obrigações funcionais e limites muito determinados.

Para que o acesso a vários pavilhões se possa garantir aos milhões de visitantes que a EXPO '98 espera receber, cada um deles terá de funcionar como uma máquina e absorver milhares de visitantes por dia.

A diversidade linguística, outro aspecto que, pensamos, caracterizará o público da EXPO '98, impõe mais uma decisão comum, neste caso, ao conjunto dos pavilhões temáticos: a renúncia à palavra falada como sistema de comunicação. Experiências anteriores desaconselhavam o uso de sistemas de tradução em acontecimentos dirigidos a grandes massas de visitantes. Renunciou-se, portanto, à voz como elemento narrativo. Quanto à palavra escrita, o seu uso também será muito restringido, devido ao imperativo de se terem de usar sempre em simultâneo os três idiomas oficiais da EXPO '98.

A APOSTA NA INOVAÇÃO

Por tudo o que se disse até agora, é evidente que o desenvolvimento dos projectos expositivos não era uma tarefa simples, pois partíamos de objectivos ambiciosos — desenvolver um tema complexo e muito denso —, mas com as fortes obrigações impostas pelo tipo de público esperado. Perante esta perspectiva, a aposta foi, desde o início, muito clara: por um lado, não renunciar à partida a um delineamento ambicioso, não «nivelar por baixo», tentar o máximo desenvolvimento de cada um dos temas, embora dentro dos limites aconselháveis para um meio como o expositivo. Resumindo, assumiu-se o desafio de atrair o grande público sem se cair na banalização. Por outro lado, procurar a inovação. Era preferível o risco da experiência à repetição. Não bastava transpor para a EXPO '98 fórmulas mais ou menos seguras, comprovadas em pavilhões de exposições precedentes.

A EXPO '98 optou por desenvolver uma linguagem expositiva própria para cada pavilhão temático, garantindo que não se defraudassem as expectativas de surpresa dos visitantes. Qualidade, criatividade, inovação e originalidade converteram-se assim em prioridades, no momento em que se definiu a tipologia expositiva de cada pavilhão.

ALQUIMIA ENTRE EXPERIÊNCIA E FRESCURA

Desde 1958, ano em que se celebrou a Exposição de Bruxelas — conhecida pela Exposição do Atomium —, até 1992, ano em que se realizou a Exposição Universal de Sevilha, que a Europa não tinha sido palco de nenhuma Exposição Internacional. Durante esses trinta e cinco anos, realizaram-se numerosas exposições de diferentes categorias e magnitudes nos Estados Unidos, Canadá, Japão e Austrália. Daí que a experiência, o *savoir-faire* e a capacidade profissional na matéria se encontrassem do outro lado do Oceano.

Nos pavilhões do Expo '92 puseram-se à prova toda a espécie de tipologias e sistemas expositivos. Alguns limitaram-se a repetir os modelos já experimentados noutras exposições. Outros, aventuraram-se a explorar, com maior ou menor timidez, novos territórios. Sevilha foi o campo de ensaio de uma Exposição europeia contemporânea.

Os responsáveis pelo EXPO '98 intuíram que essa experiência podia ser útil, mas que se deveria pôr ao serviço de novas fórmulas. Sabiam também que Portugal tinha de fazer a sua própria Exposição e que o podia fazer. Portugal tinha de contribuir para a EXPO '98 com a sua própria criatividade e com as suas capacidades, e a EXPO '98 devia servir para legar experiência e conhecimentos ao país.

Conhecíamos muito bem todo o processo e as ferramentas de trabalho: os requisitos que um pavilhão de uma exposição deve cumprir, a sua base funcional e os seus princípios operativos; os recursos tecnológicos e criativos disponíveis; o tipo de profissionais necessários para os executar; as equipas disponíveis em ambos os lados do Atlântico; a metodologia de trabalho necessária para o levar a cabo e os prazos razoáveis para chegar ao seu bom termo a tempo. Estávamos também bastante conscientes das potencialidades e dos limites que os recursos orçamentais consignados a cada projecto permitiam. Com esta bagagem, e com uma grande ânsia de investigação e inovação, pusemos mãos à obra. O primeiro passo consistiu em elaborar o Plano Director de Conteúdos, documento programático que definiria os pavilhões a erguer e os seus característicos. O Plano Director marcaria as linhas mestras do conjunto da oferta temática, além de muitos outros aspectos do EXPO '98.

O processo de elaboração deste documento foi apaixonante. Intensas semanas de leitura, pesquisa de documentação e gestação dos primeiros conceitos criativos. António Mega Ferreira, promotor da iniciativa do EXPO '98, representou um papel fundamental nesta fase do processo, alimentando o nosso trabalho com a sua vasta cultura e matizando as propostas com lucidez, numa série de fecundas reuniões de trabalho que decorreram durante a Primavera de 1994. No Verão desse mesmo ano concluímos esta primeira etapa, que teve como fruto um documento no qual se definiam as linhas mestras dos pavilhões, a sua função, conteúdos e estrutura conceptual, as tipologias expositivas de cada um dos seus sectores, os fluxos e circuitos. Definia também com precisão os programas dos edifícios que era preciso construir para albergar cada exposição e a metodologia de trabalho a seguir ao longo de todo o processo, até à sua inauguração.

A aprovação do Plano Director de Conteúdos por parte do Conselho de Administração da EXPO '98 estabeleceu o ponto de partida para começar a trabalhar em cada um dos projectos. Os responsáveis pela edificação puderam, assim, iniciar o processo de selecção dos arquitectos que projectariam

cada um dos edifícios. Quanto a nós, começámos a procurar as estruturas profissionais capazes de liderar os diversos projectos expositivos. Interessavam-nos equipas portuguesas, gente com criatividade e talento, com potencial inovador. Estávamos conscientes de que nunca teriam feito projectos similares, mas... quem não arrisca não petisca. Os responsáveis pelo EXPO '98 aceitaram com muito gosto o risco.

Primeiro, incorporaram-se os equipas de arquitectos que liderariam o projecto. Assumiram com entusiasmo embrenhar-se num processo incerto, de cuja complexidade só ficaram plenamente conscientes quando já tinham percorrido uma boa parte do caminho. Desde muito cedo trabalharam com um vasto grupo de profissionais de várias áreas: engenheiros, especialistas em sistemas de som, audiovisuais e instalações especiais, moquetistas, desenhadores gráficos, compositores. A EXPO '98 dotou-se de uma equipa de peritos nos temas que os pavilhões abordariam. Durante os mais de dois anos que durou a elaboração dos projectos, mantivemos incontáveis reuniões, discussões e troca de pontos de vista, contámos com o tempo e o sossego necessários para reflectir sobre os pormenores aparentemente mais insignificantes e, desses dois anos, resultaram projectos extremamente pormenorizados em que nada era casual.

Numa segunda etapa, foram-se incorporando novas equipas que assumiram a materialização do projecto: carpinteiros, serralheiros, equipas de montagem, técnicos de iluminação, produtores do sector audiovisual, músicos, tipógrafos, maquetistas, escultores. Também neste caso se preferiu trabalhar com equipas portuguesas, embora se tenham igualmente incorporado equipas internacionais especializados, sempre que pareceu oportuno. Ao longo destes anos, as ideias foram ganhando forma, primeiro no papel, mais tarde materializando-se em diversos suportes e, finalmente, situando-se dentro do pavilhão, nos espaços para os quais foram criadas.

Agora é a sua vez. Esperamos que este complexo processo, que já começo a fazer parte do passado, tenha servido o seu objectivo principal: surpreendê-lo, interessá-lo e contribuir para que a sua visita à EXPO '98 seja uma experiência inesquecível.

CARMEN BUENO

Consultora do Parque EXPO 98, S.A.

O OCEANO, UMA PRIORIDADE PARA O FUTURO DO PLANETA

O oceano constitui um universo de uma riqueza excepcional, mas extraordinariamente hostil para quem se aproxime dele sem respeito.

Vasco da Gama foi um dos seus primeiros e corajosos pioneiros. O século XIX foi o século dos exploradores científicos e do reconhecimento do mundo marinho. O século XX assistirá à revelação do oceano enquanto elemento fundamental para a vida e o sobrevivência do planeta.

OCEANO = VIDA

O homem toma consciência, cada vez mais, dos males que inflige ao oceano (poluição, pesca em excesso, gestão compartimentada e incoerente, etc.). Porém, ainda são muitas as pessoas que apenas vêm neste espaço tridimensional um vasto reservatório de pesca intensiva, irracional e incontrolada. Todos os dias se esgota o património aquático da Humanidade, e somos nós os responsáveis por isso.

Hoje em dia, no entanto, e embora ainda reste muito por fazer, conhecemos melhor os mecanismos íntimos que regem essa vasta extensão de água, que representa cerca de dois terços da superfície do planeta. Hoje compreendemos um pouco melhor que a nossa origem é marinha. Há cerca de 3000 milhões de anos, após as grandes chuvas que se espalharam sobre o nosso «rochedo» e criaram os mares, surgiram microrganismos. Com o tempo, esses organismos elementares conseguiram transformar a atmosfera carregada de gases – gás carbónico, metano e outros – num ar respirável.

Entre os protagonistas fundamentais dessa revolução atmosférica, figura, em primeiro lugar, o fitoplâncton. Graças a esse conjunto de microrganismos fotossintéticos, a vida pôde desenvolver-se no mar e em terra.

Representando cerca de 90 % da biomassa marinha, essas minúsculas células são o verdadeiro pulmão do nosso planeta azul e a base de toda a cadeia alimentar. Consumidas pelo zooplâncton, asseguram a alimentação de todas as formas de vida marinha.

O fitoplâncton foi, é e será fonte de vida.

Precisamos de prosseguir a investigação sobre as nossas raízes aquáticas. Precisamos de preservar e proteger essa fonte de energia, de saúde e de nutrição. Eis a razão por que importa lutar contra todas as agressões ao mundo marinho. Precisamos de favorecer a exploração desse continente líquido.

O futuro dos mares está por inventar. Energia, nutrição, saúde e bem-estar são a chave desta nova epopeia.

OCEANO = ENERGIA

No fim da vida, o fitoplâncton e o zooplâncton são arrastados para o fundo dos oceanos. Tal como na terra, produz-se então uma fermentação bacteriana, geradora de hidratos que contêm diversos gases energéticos, entre os quais o metano. Em teoria, deveria haver hidratos de metano onde quer que estivessem reunidas as condições para a sua formação (temperaturas inferiores a 2 °C, pressão superior a 200 bar), a partir de algumas centenas de metros de profundidade. Esse gás, aprisionado em cristais, constitui uma reserva enorme e inexplorado de energia fóssil, como o petróleo.

Ainda não se conhece o conteúdo dessas reservas, mas as companhias petrolíferas consideram seriamente a possibilidade de as explorar, sobretudo ao largo do Alasca e do Sibéria.

É certo que a exploração do metano das grandes profundidades coloca problemas ainda por resolver. Porém, se conseguirmos comercializá-los, os hidratos de metano oceânicos talvez venham a constituir a resposta à angustiante questão da escassez de energia.

É também no fundo dos oceanos que cristalizam os metais. Sob a forma de seixos de dimensões variáveis, esses nódulos constituem um concentrado de elementos tão procurados como o níquel, o cobalto ou o manganês.

A tecnologia de recolho desses nódulos não é fácil, uma vez que se situam a mais de 5000 metros de profundidade! Porém, é provável que venhamos a passar do estágio de pioneiros ao de exploradores, mais depressa do que pensamos.

OCEANO = SAÚDE

Constitui um imenso laboratório de substâncias naturais de bioactividade variada. Foi por isso que nos interessámos pelas toxinas das anémonas-do-mar, das medusas e dos cones carnívoros (gostropodes do género *Conus*), bem como por muitas outras estruturas químicas eficazes (antibióticos).

É por isso que os farmacologistas e os químicos vêem no oceano um imenso reservatório de moléculas originais de grande interesse biológico para a saúde, a elaboração de medicamentos, de cosméticos e de produtos para a indústria alimentar.

Analisámos mais de 4000 novas moléculas marinhas, 500 das quais apresentam uma actividade biológica real: substâncias antitumorais, antivírus, antibióticas, inibidores enzimáticos, ou substâncias que actuam a nível do sistema nervoso e do sistema cardiovascular.

Como constatamos actualmente, a Humanidade continua a ser ameaçada por novos agentes de agressão. As reservas do mar são indubitavelmente capazes de fazer frente a todos os ataques. O mundo das esponjas, para citar apenas um exemplo, é de uma riqueza inacreditável da qual só agora começamos a ter consciência. No meio marinho, estão inventariados mais de 500 000 espécies, estando apenas 1 % estudado. Portanto, todas as esperanças são permitidas.

OCEANO = BEM-ESTAR

A sociedade actual é uma causa de desestabilização para o espírito humano, agredindo-o com demasiado informação, agitação e incompreensão. Através dos centros marinhos de recuperação da forma, o mar já nos dá um primeiro ideio da sua capacidade para repor a harmonia.

No Grécia antiga, o mar era utilizada para tratar as males das homens. Hoje, é cada vez maior o número de centros de talassoterapia que propõem métodos naturais de utilização dos efeitos benéficos do água do mar e dos lamas marinhos, sem esquecer o poder tonificante do clima marítimo.

De futuro, quando conhecermos melhor os elementos que fazem do mar esse imenso espaço de regresso às origens, seremos capazes de utilizar ainda melhor os seus recursos. A sua imutabilidade será um factor fundamental de estabilização. A sua capacidade de apelar aos diversos sentidos (o seu cheiro, cor, forma, toque, música) fará ressurgir, no mais profundo de nós, o equilíbrio, a serenidade, o bem-estar.

Amanhã, se soubermos protegê-los, os efeitos benéficos do mar deverão ser acessíveis a toda a Humanidade. Do mesmo modo, ele saberá fornecer-nos a todos o meio de nos alimentarmos. Não é ele, aliás, com o seu fitoplâncton, o primeiro elo da cadeia alimentar?

Sob diversas formas, as actividades humanas representam, no entanto, um verdadeiro perigo para o oceano. Se não for melhor compreendida, gerida e regulamentada, a pesca provocará, ao acelerar-se, o desaparecimento de numerosos espécies. É verdade que o problema não é simples. No seu aventuro terrestre, o homem passou do estágio de recolector ao de cultivador. Em meu entender, é importante que este ciclo de evolução se realize no mundo marinho.

A aquicultura, tal como a conhecemos actualmente, com os seus excessos e limites, não é decerto a única resposta. Para evitar um deserto do Sara marinho, devem ser desenvolvidos métodos modernos de gestão e de cultura extensiva. As algas gigantes das nossas costas e a fitoplâncton são capazes de concentrar 50 000 vezes os elementos presentes na água do mar (iodo, cobre, ferro, etc.).

Contudo, se são capazes de captar esses oligoelementos úteis, também estão prontas a deixar-se impregnar de elementos tóxicos, como o chumbo dos nossos pilhas eléctricas ou o arsénico dos nossos pesticidas.

Por conseguinte, convém que sejamos sempre muito prudentes, ao interferirmos na natureza. A aquacultura intensiva não controlada pode ser uma fonte de perigos: resíduos poluentes e substâncias químicas como os antibióticos, utilizados para manter essas culturas em bom estado de saúde, têm consequências não desprezíveis na fauna e na flora perto das culturas marinhas.

Num futuro decerto muito próximo, poderemos, a partir das investigações actuais sobre as bactérias marinhas, lutar eficazmente contra este tipo de desequilíbrio e contra outros resíduos poluentes. O mundo marinho está sempre repleto de revelações: tanto nas grandes profundidades onde reina uma total obscuridade, como nos locais próximos dos vulcões submersos, existe vida. Eis um novo campo de investigações para a biologia molecular!

É assim que, numa gota de água do mar, existem mais vidas e mais riquezas do que poderíamos imaginar. Para mim, essa gota de água revela o formidável potencial nutritivo que o meio marinho representa.

Serão as biotecnologias marinhas que nos encaminharão para esta «evolução-revolução». Quero dizer com isto que o plâncton, num ambiente marinho mais bem conhecido e, por isso, mais bem controlado, tornar-se-á, sob diversas formas, um elemento natural da alimentação. Essa página por escrever da história marinha apaixonou muitos homens; é o fundamento de muitas acções.

Por conseguinte, nós, homens, mulheres e crianças do século XXI, temos de preparar-nos a partir de hoje para novas relações com o oceano. Nele encontraremos equilíbrio, um maior bem-estar e uma nova solidariedade geradora de felicidade.

DANIEL JOUVANCE

Presidente da Direcção do Laboratório
de Biologia Marinha Daniel Jouvance

ÍNDICE

RECORRENTE 2013

1

ARQUITECTURA E EXPOSIÇÃO

CONCEITO ARQUITECTÓNICO DO EDIFÍCIO

PAULO SANTOS, ANE RAMOS,

MIGUEL GUEDES 33

FILOSOFIA DO CONCEITO EXPOSITIVO

PEDRO BELA NAVARRA 39

A EXPOSIÇÃO

FRANCISCO FATELA, PEDRO CASALTEIRO,

PAULO SOBRAL MARQUES 51

2

PARTICIPAÇÕES ESPECIAIS

EUREKA E O FUTURO DOS OCEANOS

PRESIDÊNCIA PORTUGUESA

DA INICIATIVA EUREKA 63

PREVER O FUTURO ATRAVÉS

DO SISTEMA GLOBAL DE OBSERVAÇÃO

OCEANOGRÁFICA (GOOS) DA COI, UNESCO

CAROL SUMMERSHAYES 67

3

SABER, PROTEGER

EVOLUÇÃO DA TERRA E DA VIDA

R. M. GALOPEM DE CARVALHO 73

BIODIVERSIDADE MARINHA:

AMEAÇAS E GESTÃO

RICARDO SERRÃO SANTOS 87

INTERACÇÃO OCEANO-ATMOSFERA

ISABEL AMAR 99

DIVERSIDADE DE AMBIENTES COSTEIROS

MARIA JOSÉ ROSADO COSTA 113

ZONAS COSTEIRAS

F. VELOSO GOMES 123

ASPECTOS FISIOGRAFICOS E GEOLÓGICOS

DA PLATAFORMA E VERTENTE CONTINENTAIS

JOÃO M. ALVEZAINHO DIAS 133

REFLOREMENTO COSTEIRO

- COASTAL UPWELLING

FÁTIMA ABRANTES 137

RECURSOS VIVOS DA PLATAFORMA

E VERTENTE CONTINENTAIS

ANTÓNIO M. DE FARIAS MARTINS 141

FONTES TERMAIS SUBMARINAS:

A PONTA DO ICEBERGUE

FERNANDO J. A. S. BARRIGA 145

VIDA NO OCEANO

LUIZ SALDANHA 159

O FUTURO DO NOSSO

PATRIMÓNIO OCEÂNICO COMUM

AL GORE 167





ARQUITECTURA E EXPOSIÇÃO

1



CONCEITO ARQUITECTÓNICO DO EDIFÍCIO

PAULA SANTOS*, RUI RAMOS*, MIGUEL GUEDES*

INTERPRETAÇÃO

Desenhar um edifício para uma exposição mundial teve, em outras alturas da história da arquitectura, uma intenção de manifesto. No modernismo, as exposições justificavam a oportunidade de fazer na arquitectura a defesa dos princípios da disciplina e a cultura de conceitos.

Hoje, esse é um fenómeno transfigurado. As exposições universais revelam-se cada vez mais nos conteúdos expositivos. Os edifícios são «contentores», «depósitos», onde o que é importante e o que é manifestamente interessante, objecto de visita e de investimento do ponto de vista conceptual e criativo, é o conteúdo e o discurso expositivo.

O projecto foi pensado no início com base neste pressuposto: desenhar uma sucessão de salas, todas fortemente caracterizadas, com funções predestinadas e com contornos muito marcados, que sugestionassem o projectista da exposição temática.

Foi na origem a fórmula utilizada para defender o projecto, mas, de facto, embora o tema da exposição e as necessidades funcionais e discursivas implícitas tenham sido objecto de reflexão sobre o que concretamente se pretendia que o edifício representasse, a exposição sobre o futuro dos oceanos ou o seu conteúdo não foram a principal motivação na concepção geral do projecto e não condicionaram o realização e o

desenvolvimento do mesmo em nenhuma das fases (excepto, talvez, na coordenação dos projectos de infra-estruturas), tanto mais que o Porque EXPO optou por distinguir, desde início, edifício e conteúdos, orientando ambos os projectos independente e individualmente.

Com o amadurecimento do processo e a sua consolidação, foi crescendo uma ideia de edifício, de forma e de conceito, que marginalizou progressivamente a ideia do «depósito» de uma exposição. O desenho ganhou autonomia e passou a ter uma expressão individual, relativamente independente dos temas e dos discursos que se lhe poderiam justapor, ao mesmo tempo que começou a definir-se numa ideia de concepção diversa e estruturada.

A exposição trata o futuro dos oceanos, mas poderia tratar qualquer outro tema relacionado com os oceanos, tema central da EXPO '98. Mantendo-se as premissas do programa e as áreas previstas, provavelmente o objecto construído seria semelhante na forma e no significado.

O tema do mar foi, no entanto, fundamental na sugestão de uma expressão para o alçado principal e para a fachada falsa: é o que justifico, de uma forma talvez prosaica, as lâminas onduladas e a tonalidade «metálica» do edifício.

O mar recordo-me, tinha tonalidades de sombra, de mistura com fugas onduladas de vaga luz – e era tudo tão misterioso como uma ideia triste numa hora de alegria, profético não sei de quê.

BERNARDO SOARES, *Livro do Desassossego*

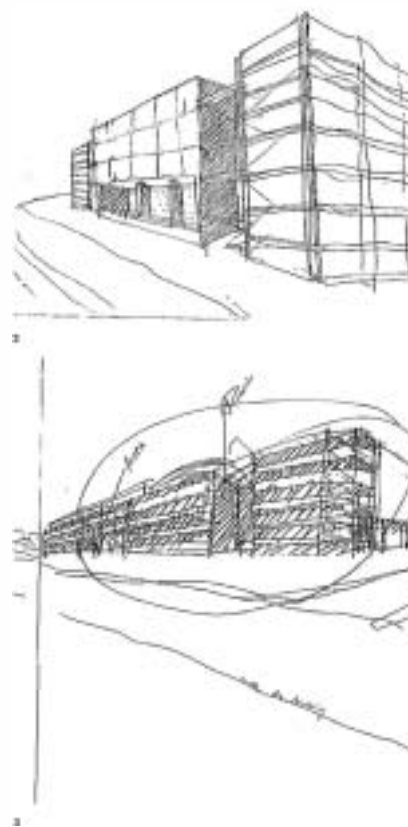
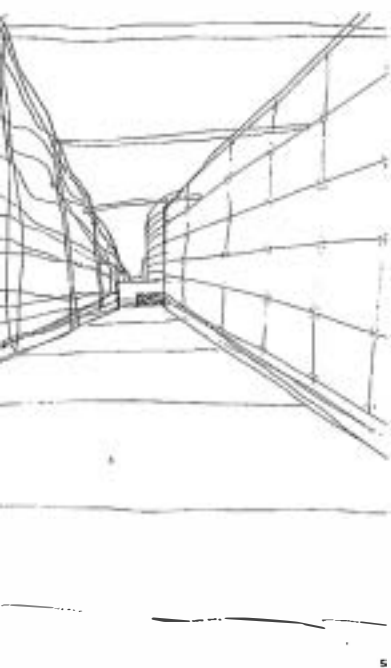


Figura 1 — Pavilhão do Futuro (pormenor da fachada).

* Arquitectos



Figura 4 — Simulação do fachado.



EFEMERIDADE

O facto de o edifício ser efémero foi outro pressuposto, desde o início fortemente discutido e amplamente avaliado. O Pavilhão do Futuro funcionaria somente durante o período de abertura da EXPO, e isso obrigou a algumas opções de princípio, principalmente as que se relacionavam com sistemas construtivos e custos. Estes dois motivos de constante avaliação – construção efémera e custos – tornaram as diferentes fases do projecto algo contraditórias, porque a construção efémera não é forçosamente mais barata do que a definitiva. Por este motivo, que fomos descobrindo ao longo do projecto de execução, algumas áreas do edifício foram perdendo o carácter efémero e ganhando uma expressão mais definitiva, alimentando talvez a esperança de que o edifício pudesse resistir à demolição.

Por outro lado, toda a arquitectura é efémera, e não é forçosamente essa a razão primeira do desenho. O facto de ser efémero serviu para algum experimentalismo na definição dos métodos e sistemas construtivos.

MONUMENTALIDADE

Que desenho para as condicionantes temáticas e construtivas solicitadas? Sendo o programa importante, um edifício deve ser, no entanto, suficientemente flexível para se adaptar a novas intenções. Neste caso, a dimensão dos espaços facilita este objectivo. Por outro lado, o desenho só tem resultados depois da construção, nunca antes.

O número de visitantes previsto exige que todos os espaços sejam amplos e de grande dimensão, quase monumentais. É esta a característica principal da diferença entre este e outros projectos e a principal preocupação na concepção do edifício.

O conceito de «monumento» é talvez a ideia mais comum a todos os edifícios temáticos desta exposição e, por essa razão, um dos principais motivos de investigação para o projecto.

Pela sua dimensão e escala, os edifícios tenderão a ser interpretados enquanto «monumentos», e isso teve algum peso na ideia, na concepção da imagem e nos princípios orientadores da solução, já que neste caso o local há-de ser contemporâneo da construção dos edifícios.

IMAGEM

Um rectângulo de 122 x 55 m com uma altura máxima de 22 m foram as restrições para uma correcta «integração». Ambas esgotámos na totalidade: ocupámos todo o perímetro do quarteirão e subimos até à altura máxima, massificando exteriormente, embora com sobreposição de planos e fachadas, fachadas falsas e vazios interiores.

Consequentemente, a esta pré-condição para a elaboração do projecto – a da sua dimensão –



sobrepõem-se outra, a da imagem e da aparência do edifício. Interessou-nos desde o início o contraste de texturas e materiais diversos, sendo as diferentes cores do edifício as dos próprios materiais utilizados: o betão aparente, o vidro, a madeira e o aço.

Um cilindro em madeira, um cubo em vidro, um trapézio e um paralelepípedo em betão foram sendo sucessivamente as escolhas, à medida que o desenho se ia consolidando e que os materiais iam respondendo a cada uma das solicitações: o betão para grandes cargos e grande vãos, para áreas fechadas, obscuras e centrípetas; a madeira para o volume cilíndrico,

área de recepção e passagem dos visitantes o dois níveis, criando alguma temperatura contrastante com a frieza do aço e do betão utilizados nos restantes áreas; e o vidro, envolvendo toda a área expositiva, criando a noção de água, de grande aquário, de invólucro para a grande curiosidade do edifício: a exposição sobre o futuro dos oceanos.

Sobre tudo isto e numa espécie de saturação do discurso e na procura de criação de ambientes e espaços diferenciados com diferentes tonalidades de luz e sombra dentro da área de intervenção, uma fachada falsa, ondulada, metálica, que se desenvolve em tiras horizontais, delimitando todo, ou quase todo, o edifício.

O discurso formal e a aparência exterior são ilustrados por uma série de elementos que são supérfluos, estranhos à arquitectura que desenhamos habitualmente e de alguma forma extraordinários pela sua desnecessidade e excessos. A sua única justificação é a experiência formal, a criação de paredes e de contornos falsos e, consequentemente, de espaços intersticiais entre estes e os espaços com utilizações determinadas.

É uma arquitectura que se expõe e que se sobrepõe à tradição meramente literal da relação entre espaço e função. Não há outra explicação para a criação das fachadas onduladas e planas e para a criação de estruturas metálicas complementares que suportam estes elementos senão supor que o desenho não seja estritamente funcional e posso desempenhar um papel igualmente figurativo e fortemente expressionista.

A aproximação às ondas do mar ou aos reflexos da água são expressões meramente sensitivas e profundamente cúmplices da vontade de ensaiar uma imagem diferenciada e expressiva.

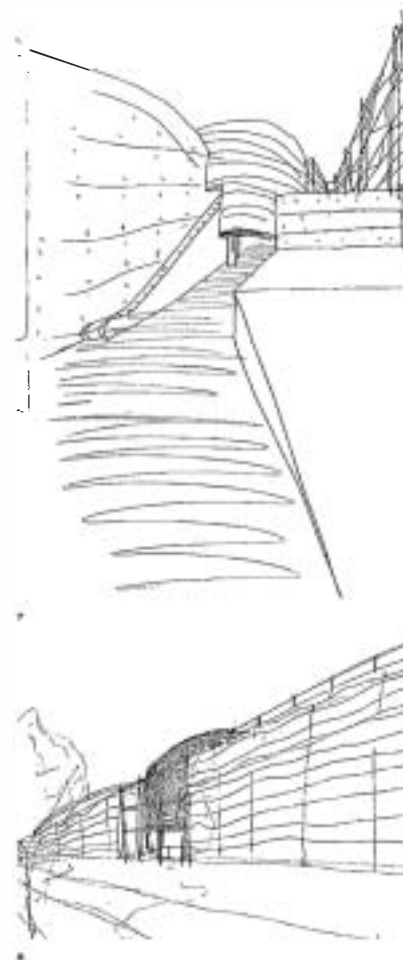
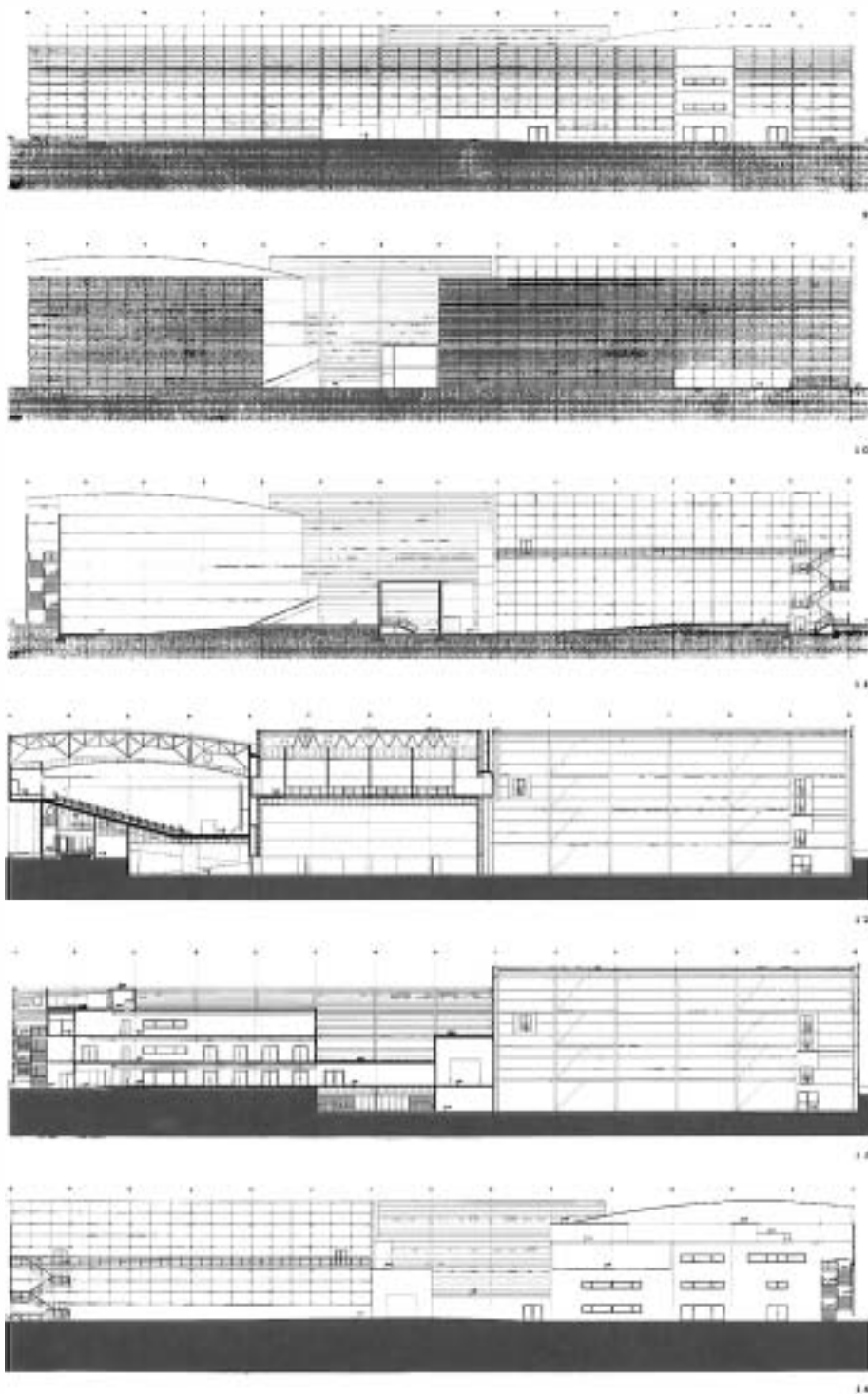


Figura 6 — Textura da madeira.



Figuras 9 e 10 — Alçados este e oeste.

Figuras 11 a 14 — Cortes longitudinais.

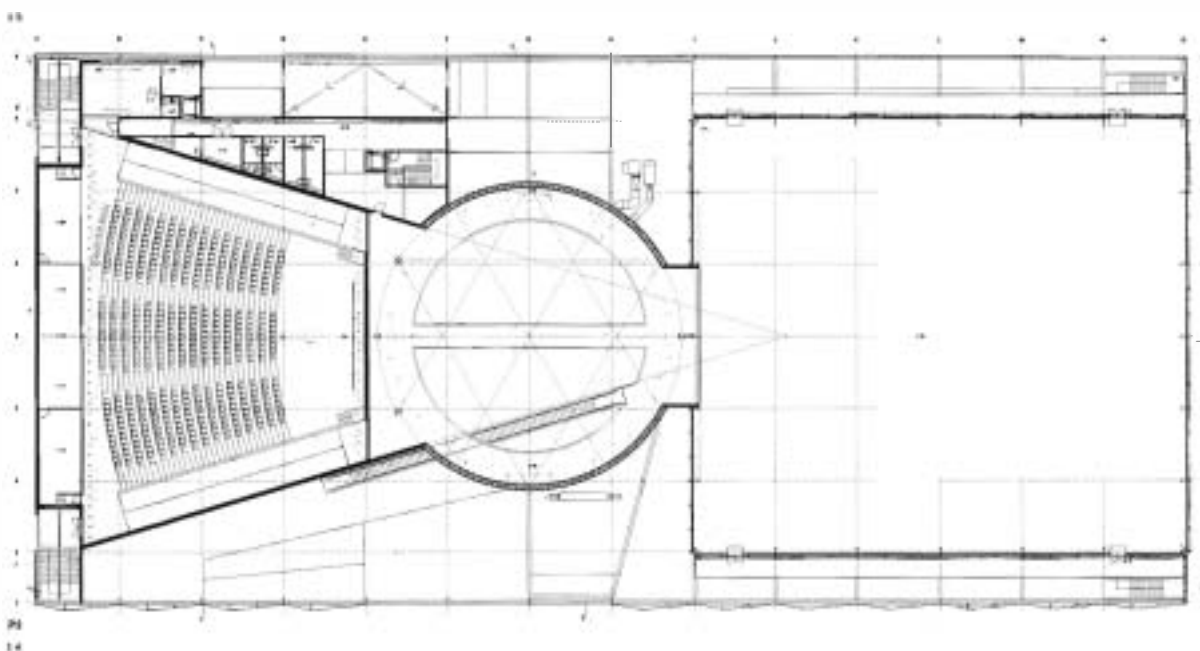
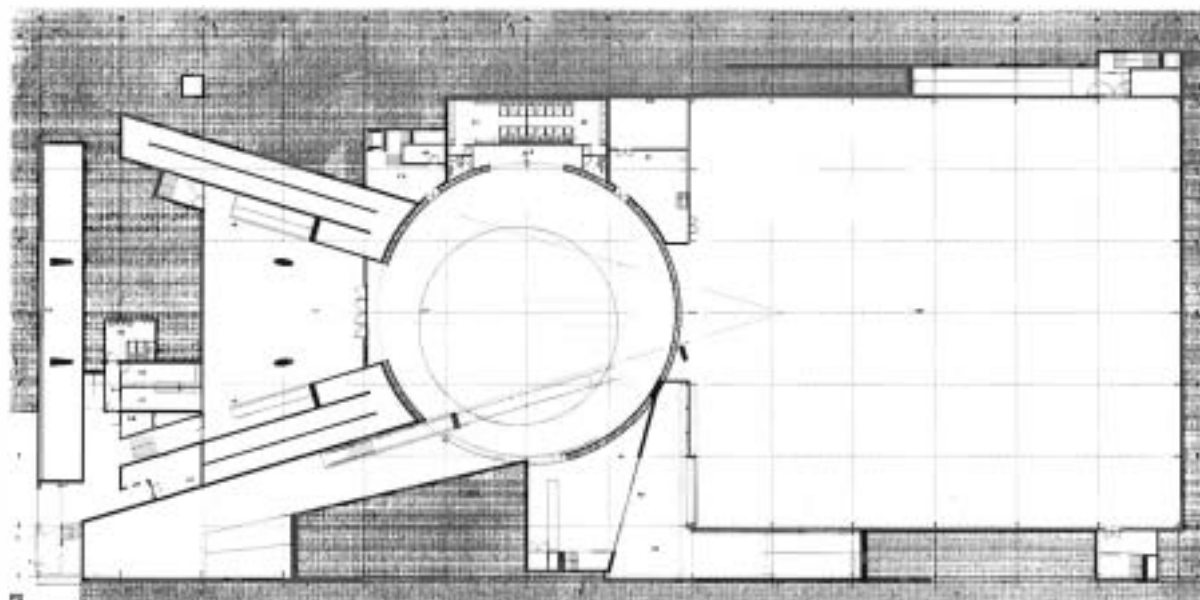
PROGRAMA

O programa é bastante simples e desenvolve-se em contínuo, o que é vantajoso para a leitura do edifício: rampas de entrada a partir da alameda da EXPO, grande cilindro para recepção dos visitantes, acesso ao designado *pré-show* com uma apresentação em audiovisual do que se vai passar no interior do pavilhão, entrada para o teatro de 500 lugares onde se vê um filme de oito minutos, saída à cota superior do anfiteatro novamente para o cilindro, travessia em *passerelles* suspensas e entrada no observatório, sala de 40 x 50 m e 18 m de altura, que foi deixada livre para a intervenção dos projectistas dos conteúdos expositivos, saída para o exterior, possibilidade de visita à loja temática e novamente subida em rampa até à abertura para a alameda principal.

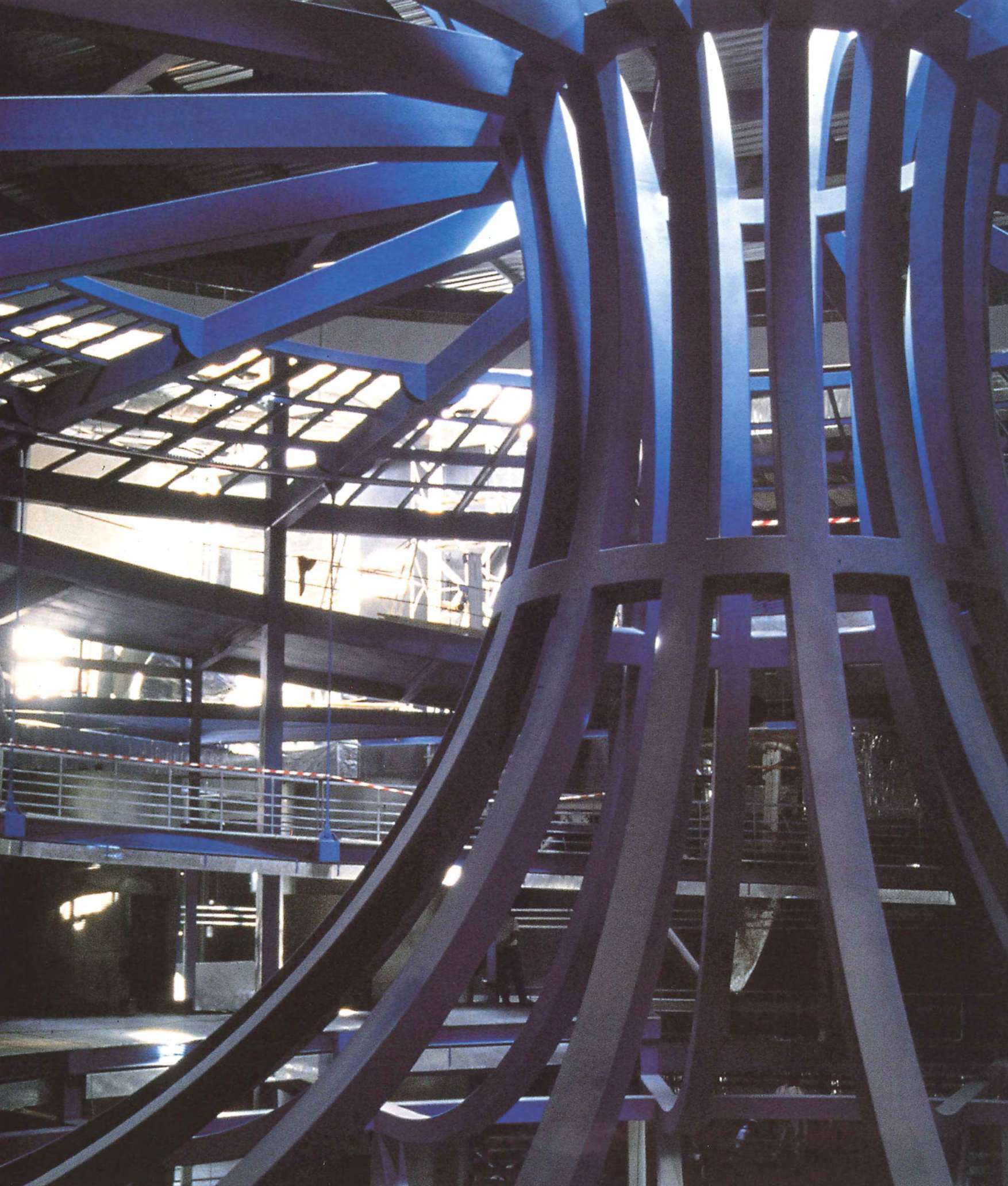
FUTURO

Tecnologia e técnica foram até hoje grandes temas para o futuro do desenho e a construção dos edifícios. Hoje regressa-se a uma avaliação na arquitectura como em outras disciplinas — partindo da matéria intrínseca que lhe está implícita. Tecnologia e artesanato não estão dissociados. Neste edifício, embora alguns processos construtivos e infra-estruturais sejam inovadores, chegamos à conclusão de que a expressão da arquitectura passa muito pela experimentação, pela capacidade dos construtores e pela realização individual com sucesso de cada uma das componentes implícitas, sejam elas formais, conceptuais ou construtivas.

A oportunidade que a EXPO '98 nos deu para isso pela escala a que o podemos fazer é única e inestimável.



Figuras 15 e 16 — Plantas.



FILOSOFIA DO CONCEITO EXPOSITIVO

PEDRO BELO RAVARA*



Ao sequência da consulta a dez *ateliers* de arquitectura e *design* efectuada pela Parque EXPO 98 em Janeiro de 1995, com vista à selecção de equipas para a elaboração dos projectos dos conteúdos expositivos inerentes à EXPO '98, foi o nosso *atelier* escolhido para a realização do projecto dos conteúdos do Pavilhão do Futuro.

Nesse processo de consulta, desenvolveu-se uma opção conceptual que passava por um entendimento global do carácter da exposição do Pavilhão do Futuro, fundindo aspectos que, tradicionalmente, se revestem de sentidos mais arquitectónicos e/ou espaciais com instalações que, pelo sua especificidade e caracterização, são geralmente considerados «unidades expositivas». O objecto final proposto revelava-se como uma instalação espacial cujo efeito se justificava amplamente pela exposição ali contida.

O conceito presente na proposta de ideias apresentada à consulta manteve-se, com as naturais rectificações de princípio que se regeram pelo total conhecimento do projecto arquitectónico para o edifício do Pavilhão do Futuro, elaborado pela respectiva equipa de projecto, bem como do guião entretanto desenvolvido pelo Departamento de Conteúdos do Parque EXPO 98.

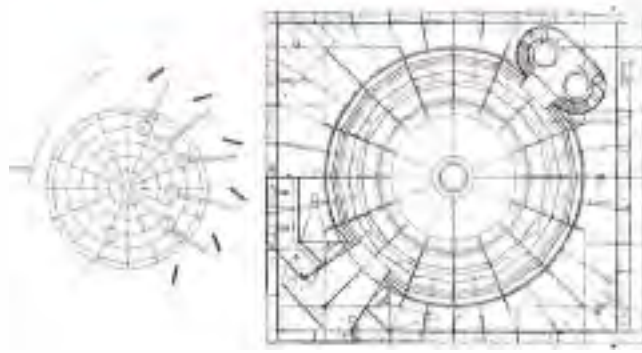
Foi nosso entendimento que o projecto dos conteúdos e o projecto do edifício deveriam ser complementares quanto ao seu tratamento

material, conceptual e espacial. É ainda nosso opinião que a relação entre interior e exterior arquitectónico não é, presentemente, tão evidente como decerto o foi no passado, não só devido à evolução das tecnologias de construção, mas também à evolução paralela dos programas a albergar nos edifícios. Neste caso concreto, a especificidade própria do programa resulto essencialmente de uma experiência perceptivo no interior do pavilhão, da qual resulta o seu sucesso informativo. A concepção do interior complementa uma ideia-força da equipa projectista do exterior (a representação de 2/3 de água e de 1/3 de terra), reafirmando-o, por um lado, e destacando-se dela pela representação em uníssono da massa oceânica e da sua leito terrestre, por outro.

O projecto de conteúdos responde a cinco sectores distintos, que nos guiões são referidos como se segue: «A Sala do Atlas» (situado no corpo cilíndrico do edifício); «O Oceano Ameaçado» (situado no corpo do anfiteatro); «O Observatório do Oceano»; «Um Passeio ao Azul Profundo»; «Rumo ao Futuro». (Os quatro últimos ficarão situados no corpo paralelepípedo do edifício.)

A nossa intervenção enquanto projectistas de conteúdos resume-se ao corpo cilíndrico, através do desenho dos sistemas expositivos, entendidos como objectos numa sala perfeitamente definida e pormenorizado pelos projectistas do edifício; e ao corpo paralelepípedo, que nos é apresentado como uma caixa vazia e isenta de condicionamentos

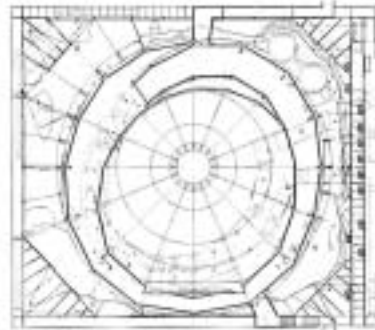
* Arquitecto



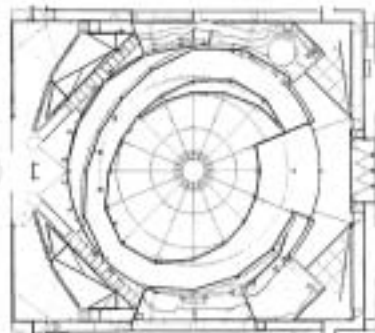
18



19



20



21

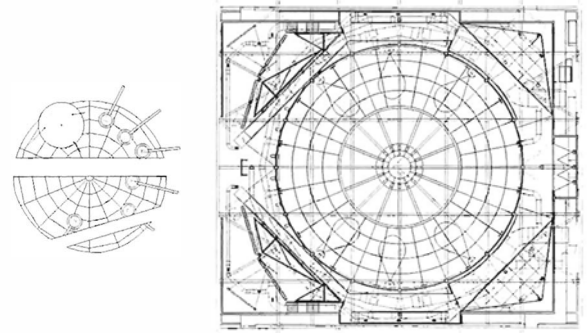
Figura 18 — Piso 0. «A Solo do Atlas» e «Rumo ao Futuro».

Figura 19 — Piso 1. «A Solo do Atlas» e «Um Passeio ao Azul Profundo».

Figura 20 — Piso 2. «A Solo do Atlas» e «Um Passeio ao Azul Profundo».

Figura 21 — Piso 3. «A Solo do Atlas», «O Observatório do Oceano» e «Um Passeio ao Azul Profundo».

Figura 22 — Piso 4. «A Solo do Atlas» e «O Observatório do Oceano».

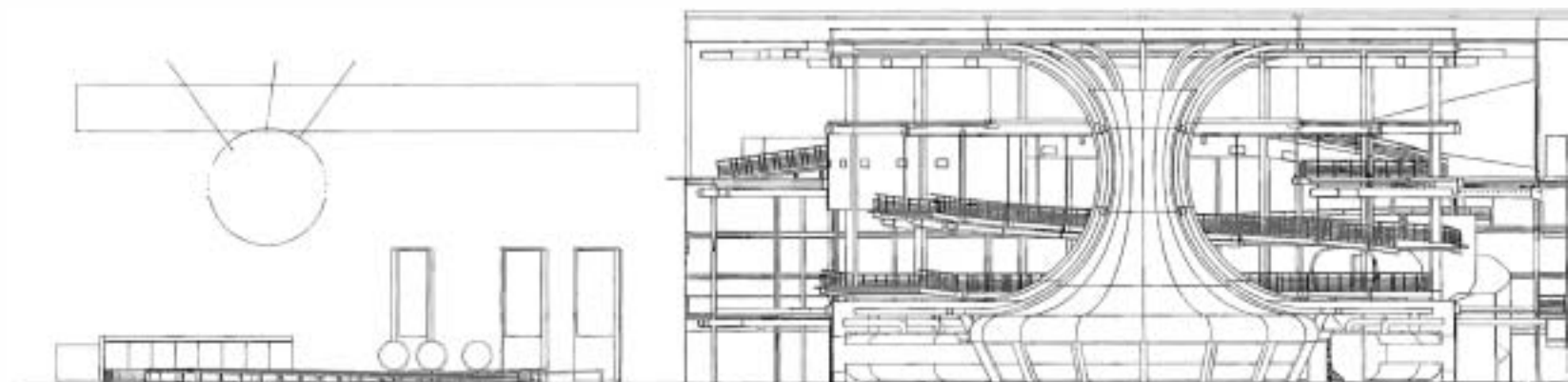


22

espaciais, próprio para o tipo de exposição a albergar neste pavilhão.

O corpo cilíndrico é constituído pelo que, no projecto do edifício, se apresenta como o espaço que simboliza a terra. O seu exterior é forrado a contraplacado «marítimo» e contrapõe-se, na sua massa de 1/3, aos 2/3 metálicos e curvilíneos que simbolizam os oceanos. O interior, totalmente desenvolvido e pormenorizado pela equipa projectista do edifício, oferece-nos paredes brancas e cilíndricas, confinadoras de um espaço atravessado a toda a altura apenas pelas passagens-ligações entre os outros dois corpos do pavilhão. Neste espaço cilíndrico, ressaltam o valor terreno – a terra como uma montanha mitológica com erupções geológicas – e o aparecimento da vida. Aqui apresentar-se-ão, pois, as grandes geografias físicas que dominam a superfície do globo, realçando-se o elemento terra, ou sala, em detrimento da superfície de água que ocupa 2/3 do planeta. O globo é reproduzido fisicamente, de forma à visualização perfeita e clara das mudanças agrestes e das cicatrizes profundas que marcam a crosta terrestre – continentes, plataformas, taludes, superfícies abissais –, acusadoras de encontros e movimentos de placas, afinal instáveis, ao longo dos tempos.

Esta sala restaura o imaginário sobre o oceano de forma a torná-lo possível de ser



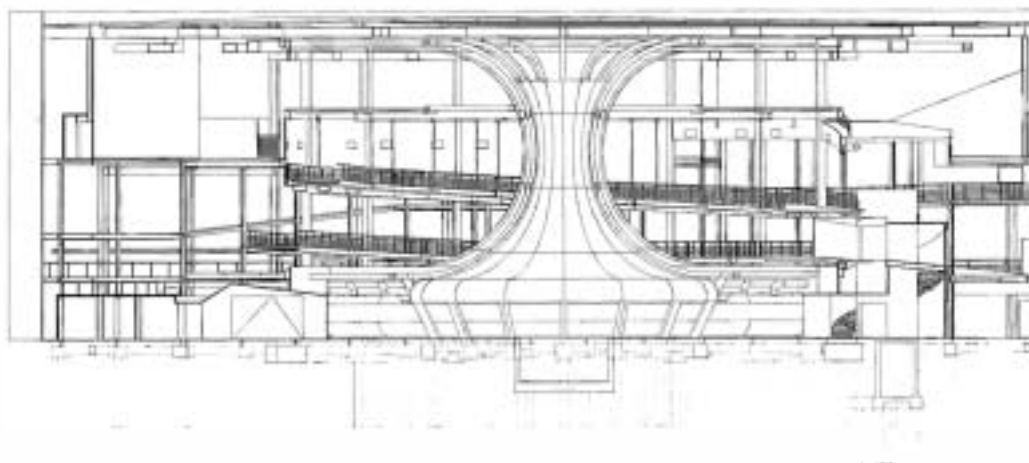
23

percorrida e visitada e a incentivar o visitante a estabelecer conexões através do tempo e do espaço.

Os sistemas expostos nesta sala respondem aos conteúdos temáticos introdutórios do pavilhão, criando simultaneamente as filas de acesso ao sector «O Oceano Ameaçado». «A Sala do Atlas» é, pois, assumida como o primeiro sector no percurso expositivo do pavilhão, albergando cerca de 500 pessoas numa fila de espera periférica e concêntrica.

Os temas nesta sala tratam essencialmente a evolução geológica e biológica do planeta, apresentando uma escala temporal de evolução que traduz noções temporais infinitamente grandes e pequenas, remetendo os sistemas expositivos para leituras próximas e distantes, ou de níveis diferenciados, consoante o tema tratado.

Existem três níveis de leitura dos elementos expositivos. O primeiro refere-se ao tratamento ambiental da sala e é-nos introduzido pela percepção dos grandes sistemas, caso da banda sonora especialmente composta para este espaço, uma enorme superfície que representa a estrutura molecular da água ou a grande esfera terrestre. O segundo é um nível médio ou intercalar em termos de percepção (situa-se



24

algures entre o geral e o particular) e inclui os sistemas expositivos visíveis de qualquer ponto da sala, tais como as esferas incorporadas no desenho da superfície ou as imagens de grande formato coladas em painéis verticais de cerca de 7 m de altura. O terceiro nível é-nos dado por grafismos de leitura próxima (imagens, textos, etc.), aplicados sobre os materiais que constituem os vários sistemas expositivos e que acompanharão os visitantes na seu tempo de permanência-espera nesta sala.

Os sistemas expositivos de «A Sala do Atlas» descodificam, assim, as mensagens temáticas a três níveis de leitura, do nível mais abrangente

Figura 23 — Corte longitudinal pelos corpos paralelepípedo e cilíndrico.

Figura 24 — Corte pelo corpo paralelepípedo.



25

Figura 25 — Axonometria de pormenor de uma retro projecção sobre superfície cenográfica em fibra de vidro.

Figura 26 — Axonometria dos sistemas expositivos para o «A Sala do Atlas».

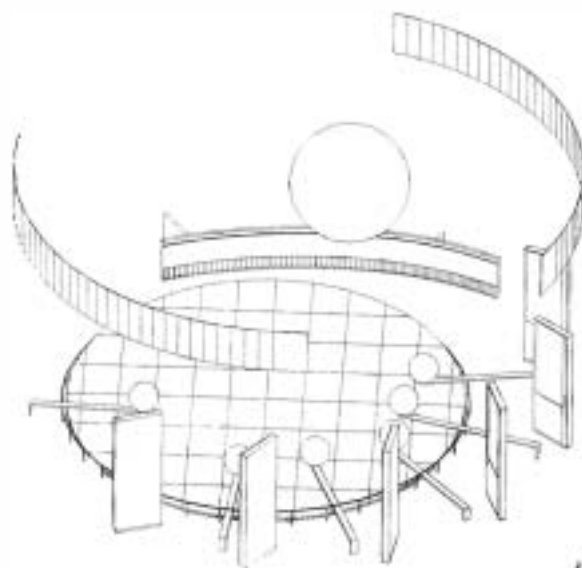
(da percepção) para o mais particular e próximo (a informação).

Propõe-se depois uma relação de visibilidades entre o nível térreo e o segundo nível («O Oceano Ameaçado»), de forma que os vários temas tratados por cada um dos sistemas sejam visíveis em simultâneo.

Em cada ponto da sala haverá, a um tempo, uma leitura global da evolução (biológica e geológica), uma leitura da mensagem global da parede do segundo nível e uma leitura particular do «momento temporal» que corresponde a cada secção da sala através da introdução de um código de cores cientificamente definido para caracterizar os diversos momentos da evolução geológica (e geográfica) da Terra.

No corpo paralelepipedico, propomos um tratamento arquitectónico forte, que una todos os pontos expositivos específicos, justificando cada um deles no percurso proposto, bem como, com esse percurso, a globalidade da operação. A relação espacial criada entre os sectores representados neste corpo entende-se como uma dicotomia entre espaço positivo e espaço negativo, côncavo e convexo, interior e exterior, ligando ideias e conceitos plásticos a ideias e conceitos mais comuns e aceites sobre o oceano, bem como à vivência e às experiências ocorridas no seu âmbito. Este é o único dos três espaços em que a nossa intervenção constitui uma proposta global, não só ao nível das diferentes áreas de projecto (incluindo áreas mais tradicionais de projecto, como as especialidades de estruturas, redes eléctricas, águas e engenharias mecânicas), mas também ao nível conceptual.

A concepção deste projecto assenta em três noções firmes de comunicação entre os temas a expor, que caracterizam as funções do nosso imaginário sobre o futuro (um futuro



26

próximo) dos oceanos: a primeira é o movimento, a segunda é a relação e a terceira é o aspecto.

A primeira noção – o *movimento* – trata de uma concepção quase arbitrária, ou caótica, das inflexões (ou decisões) que uma gota de água, um fluido, toma ao descrever um percurso. O fluido indicia um espaço cuja definição de interioridade não assenta em planos horizontais, verticais ou oblíquos, arestas vivos, etc. O fluido indicia um espaço de redondos mal definidos, de superfícies pouco moldáveis e de uma interioridade comunicante entre os elementos que o definem. O movimento é sugerido pela continuidade espacial das superfícies e pelas suas inflexões.

A continuidade-movimento das superfícies «relaciona» os elementos que caracterizam este espaço e é tomada como uma *relação* de causa-efeito, de interdependência espacial, material e funcional. O espaço unitário, que se assume como a representação do fluido, transforma-se, considerando os diferentes níveis e escalas, em geofluido.

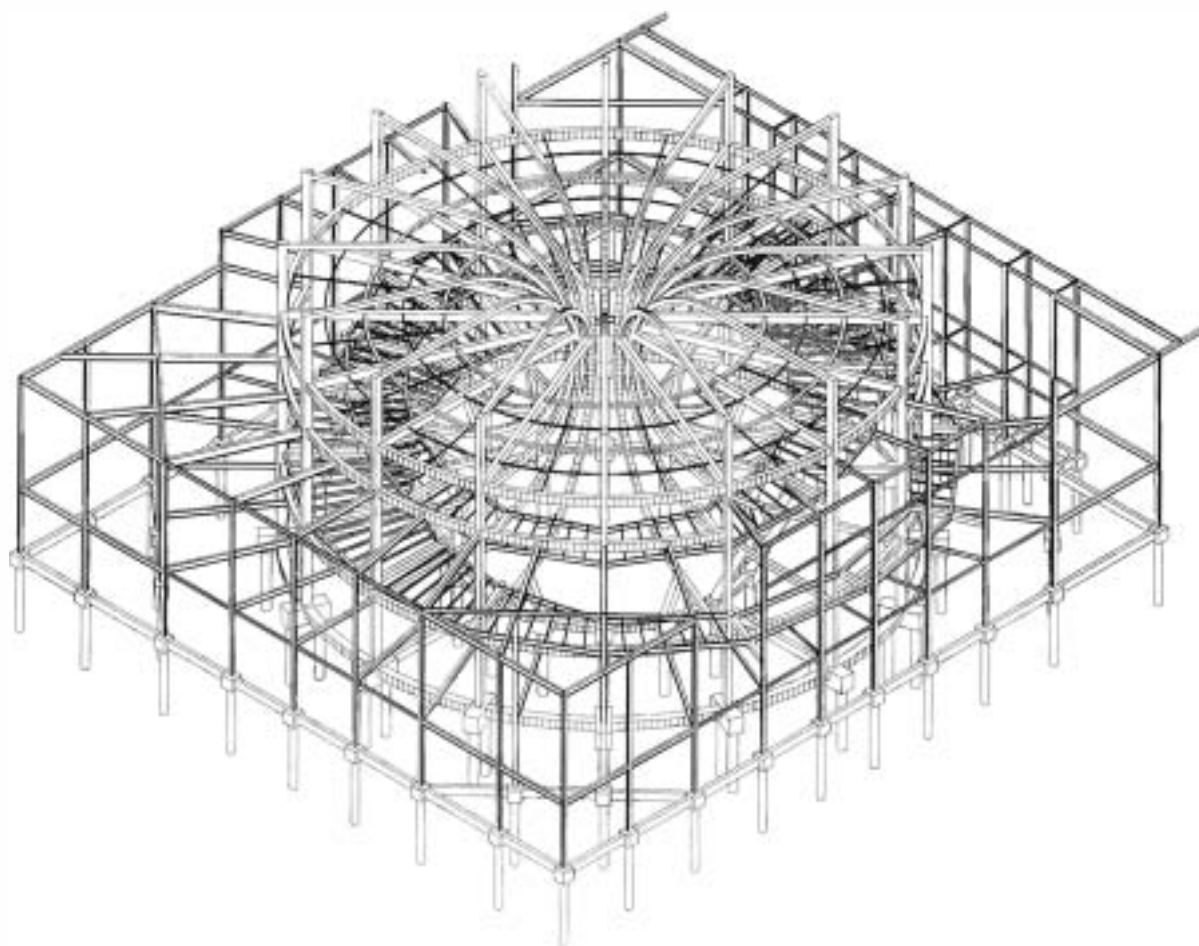


Figura 27 — Axonometria da estrutura metálica interior no corpo paralelepípedo.

27

Esta relação permite ao visitante estabelecer um nível de consciencialização relativamente ao espaço que percorre e funciona igualmente como uma relação de cumplicidade do visitante com a natureza do espaço.

O movimento e a relação, como catalisadores da interiorização do espaço, completam-se numa terceira noção — o *aspecto*. O aspecto associa-se à profundidade espacial através da transparência dos elementos e/ou superfícies que compõem o percurso e também aos efeitos de luz e sombra projectados nessas transparências. A luz e a sombra são os

gradientes da profundidade. A profundidade é, por isso, o aspecto do fluido.

O projecto final desenha um percurso linear ao longo de todas as áreas expositivas, percurso que é animado por uma série de situações completamente distintas ao nível da percepção espacial. As variadas experiências perceptivas, que se transmitem a vários níveis sensoriais (visual, auditivo, táctil e até de interpretação fenomenológica), relacionam-se com os diversos temas expositivos, representando-os como conceitos integrados num contexto comum, numa relação crítica entre o observador

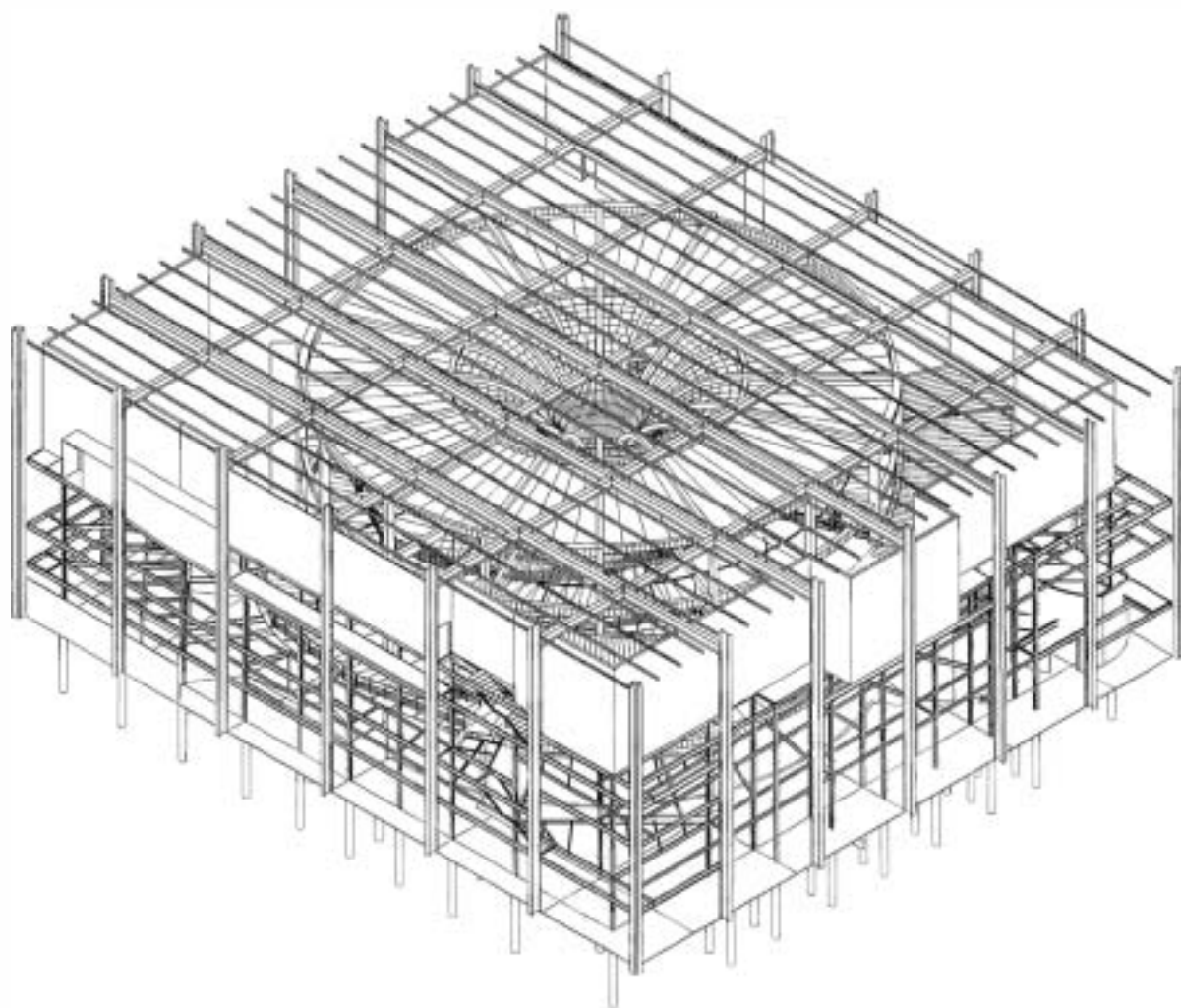


Figura 28 — Axonometria
do interior do corpo
porolelepipédico.

28

(visitante), o objecto (sistemas expositivos) e o espaço (envolvência).

De facto, o percurso, os diferentes espaços e os sistemas expositivos foram estruturados e sequenciados a partir da criação de dicotomias (positivo/negativo, côncavo/convexo, interior/ exterior, macro/micro, distante/próximo, conhecido/desconhecido), que potenciam a capacidade de absorver informação através de (quase) todos os sentidos por parte dos visitantes.

Deste modo, a arquitectura e o *design* da informação constituem-se como as principais estratégias expositivas e os mecanismos decisivos para fazer passar o conjunto de mensagens que se pretende transmitir no Pavilhão do Futuro.

Por outro lado, no percurso do visitante pelo pavilhão – condicionado, como já vimos, pelas noções de movimento, relação e aspecto –, insinua-se e afirma-se uma progressão de experiências visuais e intensidades vivenciais

muito diversificadas, que constitui uma mais-valia perceptiva e comportamental que, consciente ou inconscientemente, qualquer visitante avaliará no balanço global da sua passagem pelo pavilhão.

Outra fundamental condicionante perceptiva e comportamental reside na progressiva e enriquecedora alteração do campo, do alcance e do objecto da visão que os diversos sectores da exposição e os diferentes recursos expositivos vão ilustrando, num claro efeito de interpelação activa do visitante.

O OBSERVATÓRIO DO OCEANO

Este sector, que vem na sequência de um espectáculo multimédia apresentado em «O Oceano Ameaçado», e depois de atravessada «A Sala do Atlas» até ao seu nível superior, mostra ao visitante a percepção que se tem presentemente do oceano como um sistema único, bem como as tecnologias de observação, estudo e exploração desse mesmo oceano: os instrumentos a partir dos quais se observam os fenómenos oceânicos, tanto à superfície, como nas suas longínquas profundezas.

Nesta área expositiva é revelada uma visão científica do oceano de uma forma exterior a esse mesmo oceano. O visitante é confrontado com uma posição exterior e colocado acima da linha de água.

O tratamento gráfico-expositivo desta zona do pavilhão é feito mediante a utilização de gráficos e representações produzidos pela ciência a partir de fenómenos observados, acompanhados de textos explicativos, numa lógica de sobreposição de referências dedutivas e/ou implicativas: uma palavra ou um número num texto ou num gráfico remetem, como num organigrama, para uma área ou tema que lhes estejam associados.

UM PASSEIO AO AZUL PROFUNDO

O tratamento expositivo desta área do Pavilhão do Futuro tem como base o conceito de envolvimento. Propõe-se dar ao visitante uma recriação dos conteúdos para que sejam vividos física e sensorialmente. Esta ideia de presenciar os conteúdos temáticos sublinha a intenção de dar ao visitante a possibilidade de presenciar o futuro (não de fora, mas integrando-se nesse mesmo futuro). Com a atitude subjacente ao tratamento didáctico e visual elaborado para esta área relaciona-se a função entre o elemento «macro» (valor ambiental que situa o visitante no conceito global) e o elemento «micro» (especificações e particularizações de conteúdo representadas através de peças visuais). Foi com base na relação destas duas funções que se elaborou um sistema expositivo para toda «Um Passeio ao Azul Profundo».

«Um Passeio ao Azul Profundo» é, tematicamente, uma descida às profundezas do oceano. Assim, o elemento «macro» a caracterizar como ambiente geral parte de referências como: elemento água, sensação de mergulho e progressão na descida azul; o talude é a resposta visual a esta necessidade temática, representado por uma grelha que envolve ou está presente durante toda a descida e que pretende transmitir simultaneamente uma sensação imediata e uma descoberta progressiva; trata-se da «pele» envolvente do percurso, formada por uma grelha triangular azul e translúcida. Esta grelha volumétrica, além de transpor a ideia de mergulho-percurso subaquático, é também o suporte de projecções de diapositivos e de incorporação de imagens, servindo ainda de superfície para efeitos luminotécnicos.

A diversidade de funções da grelha corresponde à necessidade de acompanhar a



Figura 29 — Desenho-estudo da localização do globo «A Sala do Atlas».

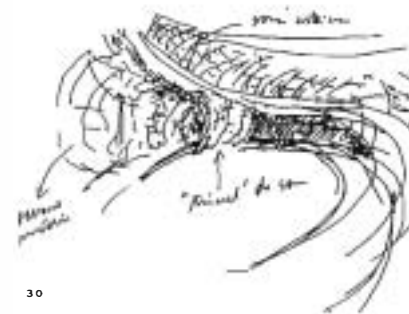


Figura 30 — Desenho-estudo para o «Túnel do Som».

ARQUITECTURA E EXPOSIÇÃO

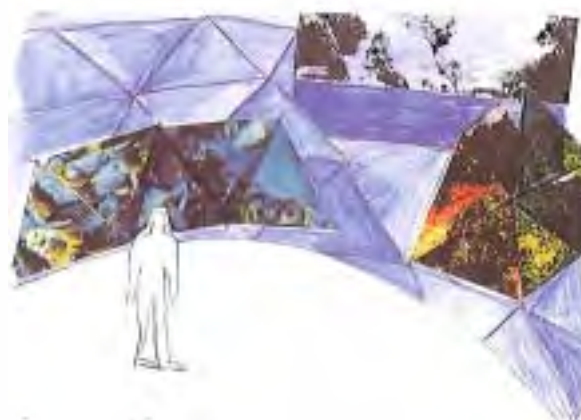


Figura 31 — Desenho conceptual para o Plataforma Continental, do autoria de Morto Wengorovius, in *Story Boord* do Azul Profundo.

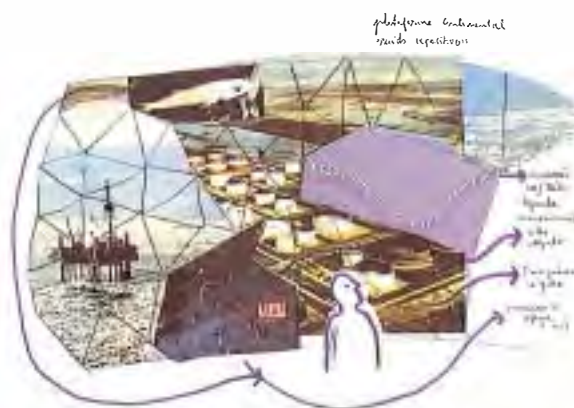


Figura 32 — Desenho conceptual para o início do Oceano Médio, do autoria de Morto Wengorovius, in *Story Boord* do Azul Profundo.

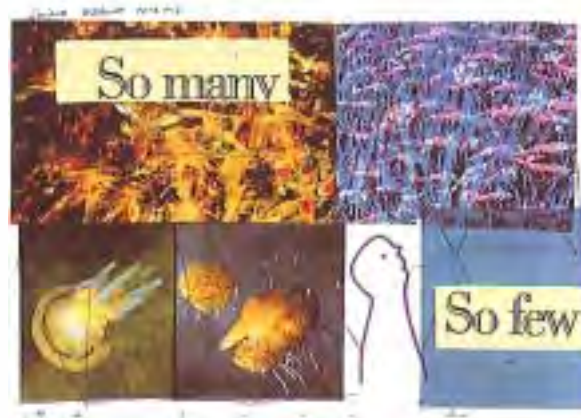


Figura 33 — Desenho conceptual para o Vertente Continental, do autoria de Morto Wengorovius, in *Story Boord* do Azul Profundo.

Figura 34 — Simulação. Composição de painel vertical com marcação de profundidades no zono do Vertente Continental, do autoria de Francisco Rocho, in *Dossier de Imagens e Grafismos*.

descida com as diversos característicos das diferentes profundidades. Assim, a sua disposição no espaço arquitectónico consiste,



sobretudo, no envolvimento de todo o espaço expositivo em articulação com o superfície de revolução central. No entanto, o representação e a caracterização da grelha respondem, no respectivo desenho, o diferentes necessidades de conteúdo em «Um Passeio ao Azul Profundo». O talude – correspondendo, como foi descrito, à escala-macro – é também o elemento que enquadro ou incorporo os conteúdos do escala-micro. A escala-micro corresponde aos elementos expositivos integrados ou relacionados com a pele/talude. Estes elementos expositivos estão relacionados com o acção, caracterizando de uma forma vivo a sensação geral de mergulho. São imagens *click* que compreendem em si um carácter duplo, acompanhando a ciência e potencializando emoções.

A informação gráfico nesta zona do pavilhão é proposta como porte integrante do próprio



35

«talude» com diferenciações que acompanham o desenvolvimento espacial da exposição e as especificidades e características das diferentes zonas de «Um Passeio ao Azul Profundo».

O sistema concebido permite incorporar simultaneamente:

- a) imagens documentais (fotografia, vídeo);
- b) imagens gráficas (representações científicas da realidade, gráficos, curvas batimétricas, tabelas, mapas, etc.);

c) tratamento gráfico (palavras, texto, símbolos), bem como texto explicativo sobre as particularidades dos conteúdos específicos. Pretende-se apresentar em simultâneo estes diferentes níveis de representação num cruzamento entre a realidade tal como é perceptível (visual e sonora) e tal como é pensada e representada pela ciência, atribuindo-se uma primazia ao aspecto sensorial e sensitivo da percepção do visitante.

Figura 35 — Simulação de conceito para composição gráfica e texto, do autoria de Francisco Rocha, in *Dossier de Imagens e Grafismos*.

A diversidade dos conteúdos e temas relacionados com o oceano é pensada não apenas do ponto de vista da diversidade das espécies e suas características, mas também da diversidade das suas representações.

Considera-se este ponto fundamental para a compreensão da distribuição e das características gráficas das imagens e do texto, tanto na relação entre si, como na relação com o próprio sistema e a forma como o caracteriza.

Assim, a descida ao «azul profundo» é dividida em três grandes zonas com um tratamento gráfico específico, adequado aos sistemas nos quais se insere, que correspondem a três

grandes áreas de profundidade. Estas três zonas são uniformizadas pelo uso de uma luz azul dinâmica e um som global:

- a) nível superior: engloba a zona costeira e a plataforma continental;
- b) nível médio: engloba a zona das águas intermédias;
- c) nível profundo: engloba as zonas da vertente continental, da planície abissal, das cristas médias e das fossas abissais.

«A Passagem» prende-se com um efeito purificador de catarse de um sector da exposição essencialmente narrativo, «Um Passeio ao Azul Profundo», para outro espaço, «Rumo ao Futuro», que em forma e conteúdo



Figura 36 — Composição para o Plataforma Continental, da autoria de Francisco Rocha, in Dossier de Imagens e Grafismos.

funciona como o negativo, ou positivo, do anterior.

A passagem é assegurada por duas plataformas hidráulicas fechadas que, através de efeitos luminotécnicos, de som e do seu imperceptível movimento, transportam o visitante para uma nova dimensão espacial; o futuro apresenta-se, pois, como uma experiência quase imaterial em que o vazio e o luz se tornam existências físicas e palpáveis.

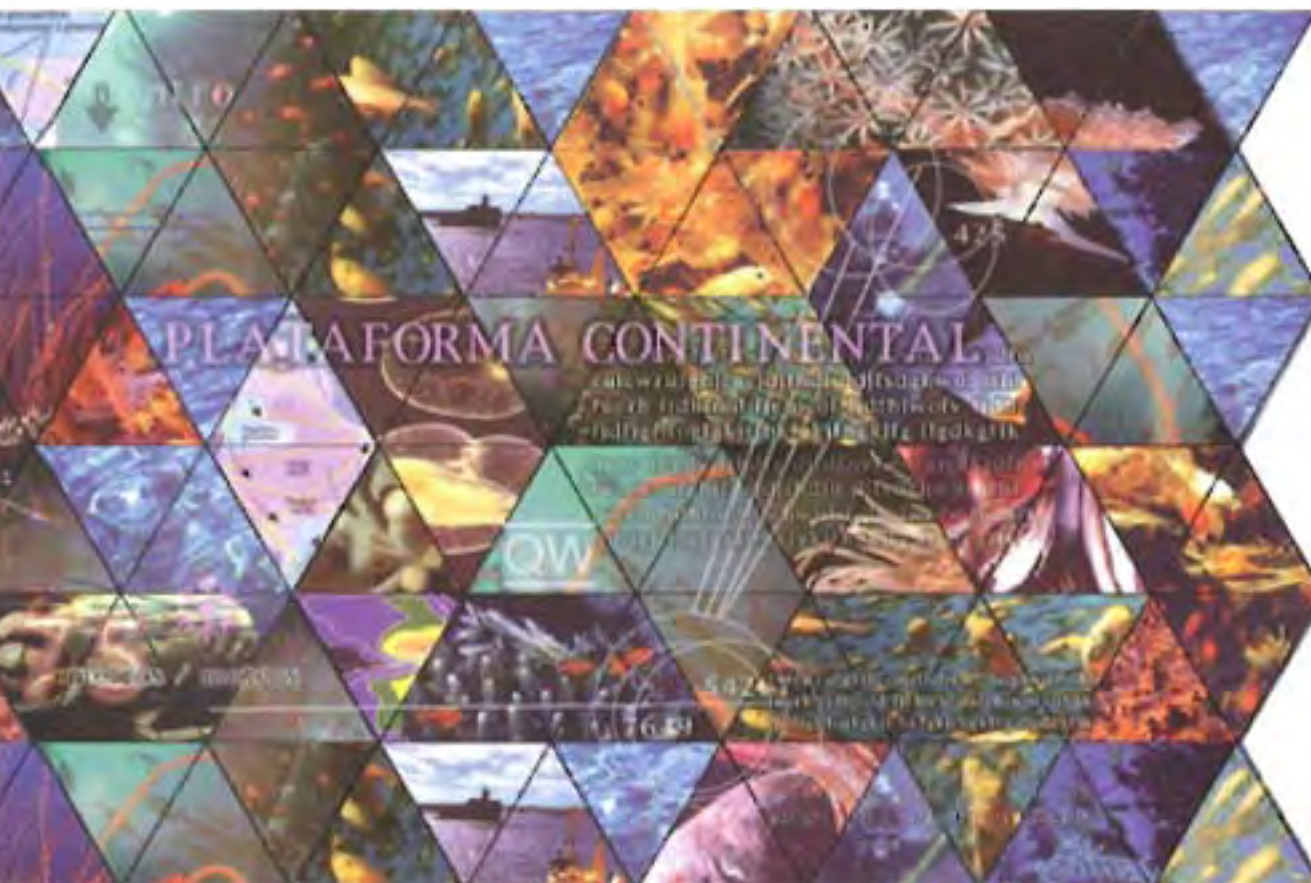
RUMO AO FUTURO

Este sector é constituído espacialmente pelo negativo geométrico dos sectores precedentes

(«O Observatório do Oceano» e de «Um Passeio ao Azul Profundo»). Possui uma coroa circular e um núcleo, onde se encontra o sistema expositivo central e de maior impacto de todo o sector.

Depois da experiência perceptiva e espacial do «Azul Profundo», carregado de informação e de som, o sector «Rumo ao Futuro» revela-se, pelo contrário, como um espaço abstracto e vazio.

A coroa exterior representa o vazio sideral, a «não-existência», tornando o visitante omnipresente no sua visita e na recepção do mensagem de todo o percurso expositivo e temático do pavilhão, que é a necessidade de um uso sustentado do oceano.





A EXPOSIÇÃO

FRANCISCO FATELA*, PEDRO CASALEIRO*, PAULO SOBRAL MARQUES*



Pavilhão do Futuro encerra o discurso temático da Exposição Mundial de Lisboa de 1998, defendendo a importância do oceano como património

fundamental para o futuro da Humanidade.

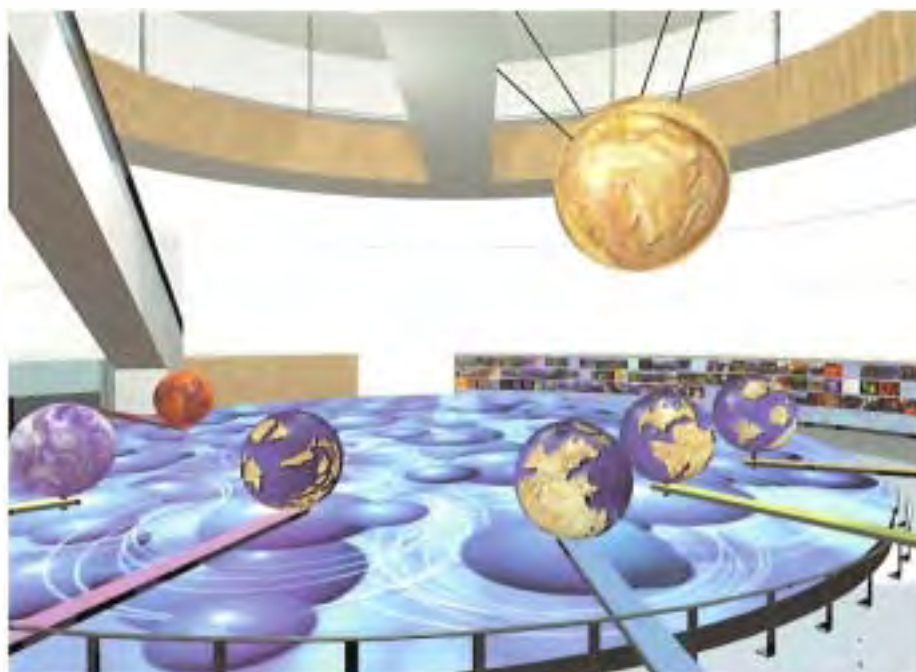
A exposição apresentada aos visitantes da EXPO '98 compreende cinco sectores principais:

- «A Sala do Atlas»;
- «O Oceano Ameaçado»;
- «O Observatório do Oceano»;
- «Um Passeio ao Azul Profundo»;
- «Rumo ao Futuro».

O percurso expositivo do Pavilhão do Futuro representa a partida para uma viagem, que se inicia nas origens da nossa consanguinidade com o oceano e com todas as formas de vida que a partir dele se geraram. Sentindo (porque é de sentir que se trata) a complexa teia de interações de que fazemos parte, prossegue-se tomando consciência das ameaças que o nosso comportamento encerra, até nas mais vulgares e inconscientes acções quotidianas. E mostram-se as alternativas que, através de uma mudança de atitude, pessoal e conscientemente respeitadora dos recursos e da vida, definem o caminho a tomar, para lá da visita ao pavilhão, rumo à reconstrução do futuro.

A SALA DO ATLAS

«A Sala do Atlas» corresponde ao primeiro momento expositivo de que o visitante da EXPO '98 poderá desfrutar no Pavilhão do Futuro.



O globo terrestre — que, pelas suas proporções gigantescas, domina o espaço — oferece-nos uma visão pouco comum do nosso planeta sem água, permitindo a observação, quer da orografia dos continentes, quer dos magníficos relevos que ocupam os 3/5 da superfície submersa do oceano.

Construído em fibra de vidro translúcida e com 5 metros de diâmetro, este é um dos maiores globos terrestres em relevo até hoje construído. A representação da orografia e da batimetria do planeta foi realizada com a escala vertical de 1:100 000, ou seja, cada centímetro de altura no globo corresponde na realidade a 1000 metros de altitude ou de profundidade. No seu interior está instalado um sofisticado sistema de iluminação e de refrigeração, controlado por computador.

Figura 38 — Imagem virtual de «A Sala do Atlas».

* Director de pavilhão, chefe de visitas e chefe de gestão técnico, respectivamente.

Figura 37 — Beluga ou boleio-branco.

Este Atlas representa o extremo do presente na espiral do tempo que a Terra percorreu desde a sua formação até ao dia de hoje. Para chegar aqui, o visitante passa pelos momentos mais significativos da evolução geológica e biológica do planeta:

- Terra primordial;
- Formação do oceano e a origem da vida;
- Paleozóico Inferior;
- Paleozóico Superior;
- Mesozóico;
- Cenozóico;
- Presente.

Cada um destes períodos da história da Terra está ilustrado pela imagem dominante de um dos seres vivos mais característicos e por um pequeno globo, de 1,5 metros de diâmetro, que representa a superfície da Terra ou o posição então ocupado pelos continentes.

Percorrendo esta primeira parte da exposição, atravessam-se as principais fases da deriva dos continentes e da evolução da vida.

A água líquida, que corresponde a uma das principais características do planeta e, simultaneamente, ao factor crucial na viabilização da presença da vida na Terra, surge representada no vasto disco central. Esta relação com a água está simbolicamente reforçada pela integração dos diferentes globos na representação das suas moléculas.

Nesta abreviada viagem pelo Tempo tomamos consciência de que a vida é um fenómeno frágil, ciclicamente modelada pela forte dinâmica do planeta. As principais fases que marcam a história da Terra correspondem a períodos em que ocorreram profundas alterações nos grupos de seres vivos, em consequência de extinções maciças e da subsequente recuperação da fauna e da flora.

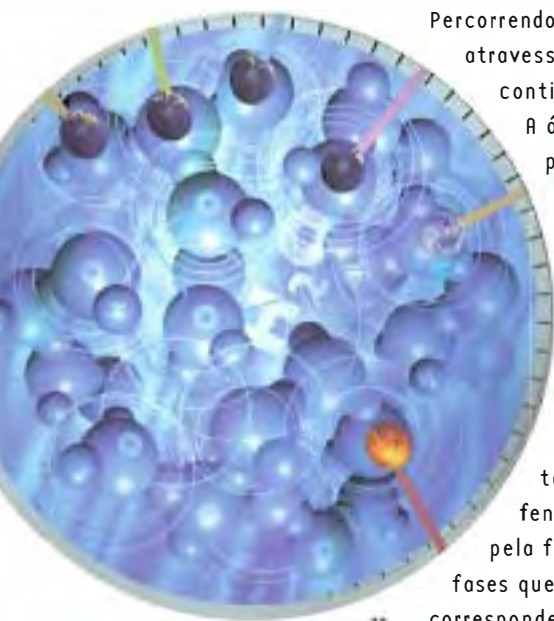


Figura 39 — Pormenor do disco central.

Figura 40 — Pormenor do painel vertical.



Apesar dos contornos catastróficos destes acontecimentos, durante os quais desapareceu uma larga percentagem dos grupos biológicos de então, as extinções de origem natural nunca representaram uma ameaça à vida na Terra.

Chegados aos nossos dias, torna-se evidente para todos que a poluição e o consumo abusivo dos recursos põem em risco inúmeros *habitats* e os seres que deles dependem. Há muito que deixámos de ser uma espécie mais neste planeta. Somos um agente que interage com o ambiente natural, ao ponto de influenciar o ritmo e o sentido da evolução, conduzindo as extinções até uma dimensão irreversível.

A nossa milenar atracção pelo oceano, que nos leva a sobreocupar as zonas litorais, torna-o o elemento fulcral da nossa relação com o mundo, porque é nele que se encontra uma parte importante dos recursos que utilizamos, é sobre ele que incidem algumas das nossas piores ameaças e é ainda nele que se acumulam os efeitos de acções aparentemente circunscritas aos continentes.

A inteligência que nos distingue das restantes espécies permitiu-nos ocupar com sucesso todos os ambientes da superfície do planeta e criar os meios de utilizar os recursos disponíveis. Porém, tomámos uma direcção que, paradoxalmente, nos poderá conduzir até à nossa própria extinção.

O perigo persiste, mas a consciência de que temos uma Terra e um único oceano conduziu-nos à busca incessante de alternativas que nos permitam devolver o futuro ao planeta. Falta convencermos-nos todos disto!

O OCEANO AMEAÇADO

Neste sector pomos em evidência as ameaças que pendem sobre o oceano, nomeadamente o impacto global das nossas pequenas acções quotidianas.

Na primeira parte, o pré-espectáculo, as imagens de acidentes ecológicos chegam ao

visitante sob a habitual forma de noticiário de TV, numa projecção de televisão de alta definição — HDTV (sobre três ecrãs com cerca de 6 m²).

Todas as catástrofes que, de forma generalizada, começam a pôr em causa o bem-estar da nossa própria geração estão simbolicamente dirigidas para uma criança. Nela podemos reconhecer a atitude ingénua de quem se tenta alhear da vertente ameaçadora dos acidentes ecológicos.

A segunda parte deste sector expositivo é preenchida por um espectáculo multimédia a três dimensões (3D), para o qual se distribui um par de óculos polarizados a cada visitante. Este espectáculo baseia-se numa fusão inovadora de



41

imagens de diapositivos de alta definição com imagens *laser* produzidas em computador, que são projectadas num ecrã de aproximadamente 110 m². Por efeito das três dimensões, as imagens destacam-se, porém, do ecrã, envolvendo cada um dos espectadores ao longo de toda a história.

Neste espectáculo, a mesma criança vive uma experiência mágica durante a visita a um grande aquário. Aí, uma beluga (baleia-branca do Ártico) condu-la numa viagem onde lhe mostra que as consequências das nossas atitudes desatentas



42

Figura 41 — Imagem virtual do pré-espectáculo.

Figura 42 — Espectáculo *laser* 3D no auditório.



43



44

Figuras 43 e 44 — Efeito ondo laser a) e b).

atingirão inevitavelmente o oceano. Os efeitos negativos resultantes do uso de produtos tóxicos de aerossóis, do desperdício de energia e de objectos de consumo concentram-se no mar onde a sua dinâmica os dissemina por toda a Terra e, mais tarde ou mais cedo, atingirão todos os seres vivos. A nós, chegam-nos segundo uma espécie de efeito de *boomerang*, que não se limita a devolver-nos a poluição em tudo o que comemos, bebemos e respiramos, mas concentra-o multiplicado, por exemplo, pela bioacumulação.

Não estamos, no entanto, condenados a um fim drástico e inevitável. A tomada de consciência destes problemas e das suas consequências exige-nos, a todos, uma transformação das atitudes e uma mudança dos critérios que nos norteiam, o cada momento, enquanto utilizadores dos recursos naturais.

As alternativas existem, e a soma de todos os nossos vontades represento um passo fundamental para estabelecermos uma relação sustentada com o planeta, rumo ao verdadeiro desenvolvimento, em que a utilização dos recursos é feita sem pôr em causa a possibilidade, e o direito, de os gerações que nos sucedem deles poderem igualmente usufruir. O futuro do oceano e o bem-estar da Humanidade estão estreitamente ligados, e ambos dependem do nosso capacidade de gerirmos o património natural de modo não imediatista.

Após o espectáculo multimédia 3D, revisitamos «A Sola do Atlas», atravessando-a pelo piso superior, que dá acesso ao sector seguinte, a Sala de Tecnologias EUREKA. Aproximamo-nos pela primeira vez do grande globo, que pulso cadenciado pelo ritmo do vida que sustento.

É aqui que se descodifico o grande superfície circular, coberta pela representação da molécula de água. Cada um dos globos, que marcam as diversas fases do evolução do planeta, corresponde a um dos seus átomos, mostrando o intrínseco dependência entre o água e a evolução da Terra e da vida.

Figura 45 — A transformação.
Figura 46 — Grafismo dos joaninhos em laser vermelho.



45



46

Os sectores seguintes foram concebidos com o objectivo de dar a conhecer aos visitantes o oceano em todas as suas dimensões — porque poro proteger é preciso amor —, e ninguém ama o que não conhece.

O OBSERVATÓRIO DO OCEANO

Um só oceano é o mensagem fundamental que se repete ao entrar neste sector. Um grande mapa representando uma das projecções de Spilhaus põe particularmente em evidência o facto de habitar-mos um planeta com um oceano único e global.

A tecnologia assume um papel essencial no conhecimento dos fenómenos e na exploração dos recursos marinhos. As grandes descobertas do oceano estão, quase sempre, associadas a marcos importantes da evolução tecnológica.

Nas últimas décadas, a investigação tecnológica aplicada ao oceano ganhou uma dimensão fundamental, a da monitorização, quer dizer, a possibilidade de obtermos um registo permanente da dinâmica do oceano e dos efeitos das nossas acções. Ciência e tecnologia surgem, assim, com um papel reforçado, enquanto ferramenta de um progresso orientado no sentido do desenvolvimento sustentado.

O Programa EUREKA, presidido por Portugal de Junho de 1997 a Junho de 1998, congrega os esforços de muitas organizações de 25 países, além da Comissão Europeia, promovendo o desenvolvimento tecnológico, com propósitos pacíficos, para o bem-estar de todos.

Apresentamos aqui, no Pavilhão do Futuro, alguns dos projectos mais significativos desenvolvidos pelo Programa EUREKA, no âmbito das ciências e tecnologias do mar:

- EUROMAR-MURPOS — Bóia derivante que, além de comunicar permanentemente a sua posição via satélite, transmite também os valores da temperatura da água do mar, da velocidade das correntes e dos níveis de poluição; projecto desenvolvido pela Suécia e a Alemanha.

- HYDROSIL — Concepção de um novo tipo de hidrofones («microfones» subaquáticos) que permitem a realização de imagens a três dimensões da estrutura dos sedimentos e das rochas abaixo dos fundos oceânicos, mediante reflexão sísmica. Esta tecnologia permitirá, por exemplo, determinar com maior rigor a configuração das jazidas de hidrocarbonetos *off-shore*; projecto desenvolvido pela França e a Holanda.

- EUROMAR-APG-1 — Plataforma submersa com resistência activa às condições adversas do meio

marinho, que reforçará a segurança e optimizará a instalação dos equipamentos que medem os parâmetros físico-químicos da água do mar em zonas profundas, durante longos períodos de tempo. Este projecto servirá as futuras aplicações do programa GOOS (Global Ocean Observing System); projecto desenvolvido pela Alemanha e a Espanha.

- EUROMAR-MERMAID — Sistema automático de medição e amostragem de micropoluentes orgânicos e inorgânicos, operado por controlo remoto. Projecto desenvolvido pela Alemanha, o Canadá, a França e a Holanda.

- EUROMAR-OPMOD — Modelo informático que permite visualizar e prever o percurso e o alastramento de determinado poluente em estuários e zonas costeiras. As imagens construídas por este modelo são permanentemente actualizadas a partir dos dados reais (como a corrente, por exemplo) enviados pela instrumentação submersa; projecto desenvolvido pela Alemanha, a Espanha, a Finlândia, a França, a Holanda, Portugal e a Suécia.

- EUROMAR-CARIOCR — Desenvolvimento de novos sensores que, através da emissão de dados em contínuo (via satélite), permitirão medir as trocas de CO₂ (dióxido de carbono) entre a superfície do oceano e a atmosfera. Estes novos equipamentos contribuirão para um melhor conhecimento das consequências do efeito de estufa; projecto desenvolvido pela França e o Reino Unido.

- EUROMAR-BISCUIT — Câmara de fundo que permitirá analisar *in situ* a dinâmica química, biológica e sedimentar dos meios bênticos, evitando os desvios introduzidos pela recolha e tratamento de amostras; projecto desenvolvido pela Alemanha, a Irlanda e o Reino Unido.

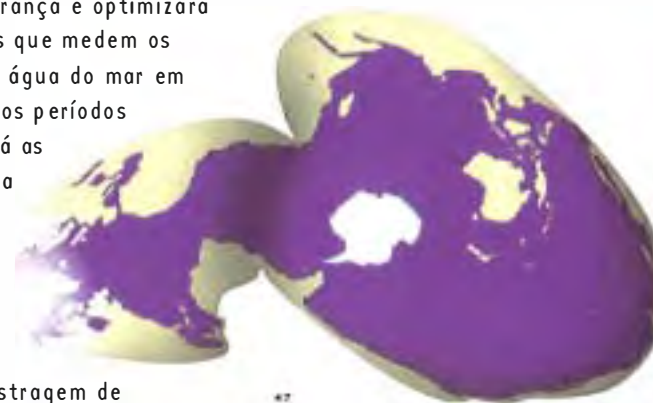


Figura 47 — Um só oceano, mapa de Spilhaus.

- **EUROMAR-STIRLING AUV** — Veículo submarino não tripulado, com a capacidade de desenvolver missões de recolha de dados oceanográficos e de imagens submarinas, de modo autónomo, seguindo as instruções de um programa informático preestabelecido; projecto desenvolvido pela Dinamarca, a França e a Suécia.

- **ROMAN** — Robot de grande potência concebido para a execução de trabalhos submarinos a profundidades consideráveis. Possui quatro pernas hidráulicas que lhe conferem grande estabilidade em qualquer tipo de fundo e um braço com a capacidade de manipular objectos até 400 kg; projecto desenvolvido pela Suécia e a Holanda.



Figura 48 — Imagem virtual de «O Observatório do Oceano», espelho de água.

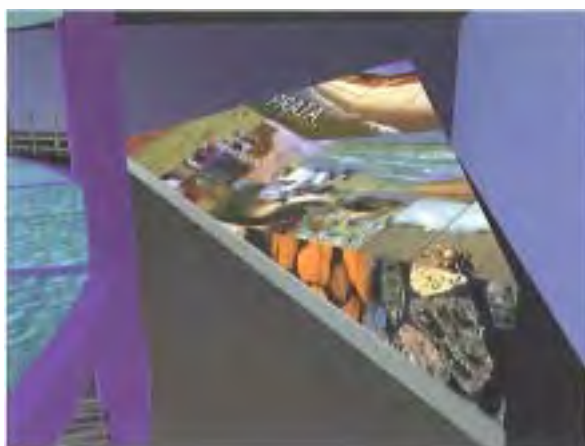
No piso superior, o visitante sentir-se-á como um adamastor sobre a superfície revolta do oceano; efeitos especiais de luz e som gerarão a tempestade.

Embora as diferenças entre as características físicas e químicas do oceano e da atmosfera sejam evidentes, registam-se semelhanças notáveis quanto ao comportamento destes dois fluidos que interagem. A dinâmica da atmosfera actua sobre a dinâmica do oceano

que, por sua vez, influencia a da atmosfera, nomeadamente o clima.

São várias as interacções oceano-atmosfera identificadas e, como quase todos os fenómenos naturais, a sua importância social é relevante. Apresentamos aqui a formação das ondas, o afloramento costeiro e a distribuição de calor entre o equador e os pólos. As duas primeiras correspondem a uma acção da atmosfera sobre o oceano. Dos efeitos das ondas sobre a vida das populações ribeirinhas nada haverá a acrescentar porque os conhecemos bem como fonte de lazer ou destruição, quando procuramos limitar o direito do oceano ao próprio espaço. No afloramento costeiro, como adiante se verá, a acção do vento sobre a superfície do oceano desencadeia, em certas regiões costeiras, uma concentração de nutrientes que permite o aumento da produtividade biológica, enriquecendo bastante estas zonas em recursos piscícolas. A terceira acção representa um dos exemplos de influência do oceano sobre a atmosfera, nomeadamente a corrente do Golfo que transporta calor do equador até às regiões circum-polares do Atlântico Norte, onde ameniza o clima dos países nórdicos.

Uma vez mais, o estudo do oceano conduz-nos a uma perspectiva integrada e global do sistema planetário. É este o princípio fundamental que caracteriza os projectos implementados pelas organizações internacionais da esfera das Nações Unidas, como a Comissão Oceanográfica Intergovernamental, que promove a instalação de um Sistema Global para a Observação do Oceano (Global Ocean Observing System — GOOS). A perspectiva global e integrada deste programa permitirá obter novos conhecimentos acerca do oceano e abrirá novas possibilidades no domínio das previsões quanto ao funcionamento e ao comportamento do oceano, à imagem do que hoje conhecemos para as previsões meteorológicas.



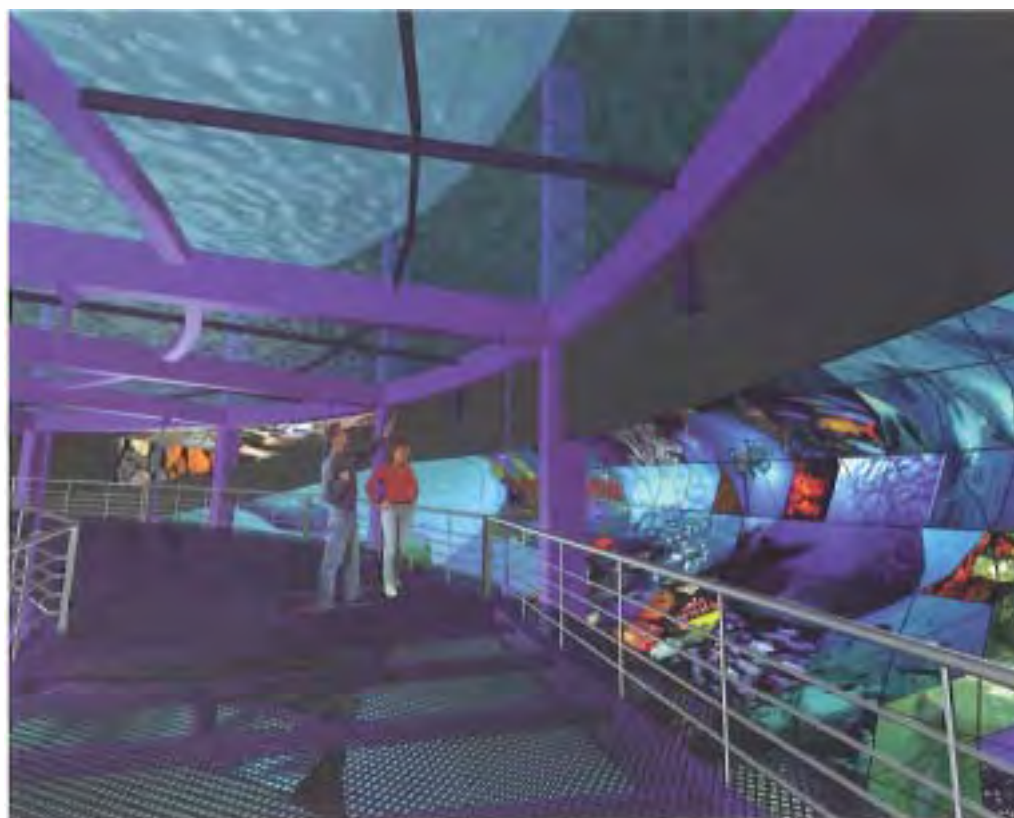
UM PASSEIO AO AZUL PROFUNDO

Prosseguimos a nossa viagem com um passeio até ao azul profundo, embora sem nenhuma baleia por companhia. Ao longo de uma descida de 200 metros, vamos percorrer os principais ambientes do oceano, desde a praia até às fossas abissais, entre uma superfície serenamente côncava e outra de malha triangular, fortemente variável na forma e na intenção. Esta deambulação pela beleza e pela riqueza do oceano realiza-se por um espaço envolvente, como se mergulhássemos mar dentro.

Em cada zona vamos abordar alguns aspectos da interacção do homem com os ambientes oceânicos e com a biodiversidade a eles associada. Apresentamos ainda alguns exemplos dos teias alimentares, que reflectem a complexidade das relações tróficas entre os diferentes organismos marinhos.

Na praia salientamos a impossibilidade de conciliar a fragilidade e a riqueza dos seus habitats com o utilização e a ocupação excessivas.

Serão mostrados exemplos consequentes de poluição e de erosão costeira, mas também de recuperação de zonas anteriormente degradadas.



50

No limite inferior da representação da praia descemos para lá da zona de rebentação, abaixo do nível do mar, mergulhando sob o espelho de água que nos serve agora de tecto. Calcorreamos a plataforma continental, que é talvez a zona mais rica do oceano pela sua elevada produtividade biológica e por acumular muitos recursos não vivos, como o petróleo e o gás natural. Devido a esta riqueza e à proximidade do continente, é o ambiente de todo o oceano que mais atingimos com as nossas variadas formas de poluição e de sobreexploração, nomeadamente quando se trata de pesca.

Continuamos pelas águas intermédias, que dizem respeito à coluna de água situada entre a profundidade-limite onde chega a luz (cerca de 200 metros) e os 3000-4000 metros.

Figura 49 — Imagem virtual da zona de praia.

Figura 50 — Imagem virtual de «Um Passeio ao Azul Profundo», Plataforma Continental.



51



52

Figura 51 — Imagem virtual de «Um Passeio ao Azul Profundo», águas intermédias.

Figura 52 — Imagem virtual de «Um Passeio ao Azul Profundo», vertente continental e planície abissal.

A escuridão perpétua está na origem de adaptações espectaculares, como os organismos bioluminescentes ou com órgãos que produzem luz própria. Este ambiente está identificado como o maior *habitat* do planeta, e é aqui que se registam as mais impressionantes migrações.

De volta aos fundos, encontramos a vertente continental, que, tal como a plataforma, corresponde à extensa área dos continentes que o oceano submerge. Esta região, constituída por crosta continental, geralmente coberta por uma espessa camada de sedimentos, estende-se até cerca dos 4000 metros de profundidade. Os imponentes desfiladeiros que a caracterizam atingem, por vezes, as jazidas de petróleo e de gás natural, produzindo fontes submarinas de hidrocarbonetos. Em torno destas fugas instalam-se comunidades biológicas cuja vida

depende de bactérias quimiossintéticas, que num mundo sem luz desempenham o mesmo papel que as plantas e o fitoplâncton à superfície.

Seguimos pelas grandes cordilheiras submarinas, pelas zonas de *rift* onde as incomensuráveis forças telúricas geram os fundos de crosta oceânica e provocam a deriva dos continentes. Ocorrem com frequência fontes hidrotermais submarinas onde os fluidos geoquímicos provenientes do interior da Terra permitem a instalação de ecossistemas em que a vida assume formas verdadeiramente fantásticas. Estas comunidades também dependem da actividade de bactérias quimiossintéticas, mas as temperaturas mais elevadas das fontes hidrotermais, relativamente às de hidrocarbonetos, permitem a existência de verdadeiros oásis submarinos.

Atingimos as grandes planícies abissais, abaixo dos 4500 metros de profundidade, onde os organismos que vivem em relação com o fundo (o bentos) possuem corpos delicados e longos apêndices que se apoiam no sedimento macio. Apesar das distâncias, ainda aqui podemos encontrar algum do lixo que produzimos no continente.

Por fim, descemos às fossas abissais, que se desenvolvem abaixo dos 6000 metros de profundidade, onde os fundos oceânicos envelhecidos são reabsorvidos pelo manto terrestre. A profundidade máxima do oceano, na fossa do Mindanau, situa-se um pouco para lá dos 11 500 metros, representando a última fronteira que nos resta vencer na exploração do planeta.

Atingimos os fundos oceânicos no final da descida, mas não terminaremos aqui a nossa viagem. Tomamos uma plataforma hidráulica, onde efeitos especiais de luz e som atenuam as emoções anteriormente vividas, e reiniciamo-la, em direcção ao próximo sector, «Rumo ao Futuro».



53

RUMO AO FUTURO

Neste último sector procura fazer-se a síntese de toda a mensagem do pavilhão de uma forma eminentemente expressiva.

Rompe-se com o carácter narrativo de tudo o que ficou atrás, e vamos sentir-nos muito próximos do sistema expositivo dominante — um aquário esférico de medusas —, ao ponto

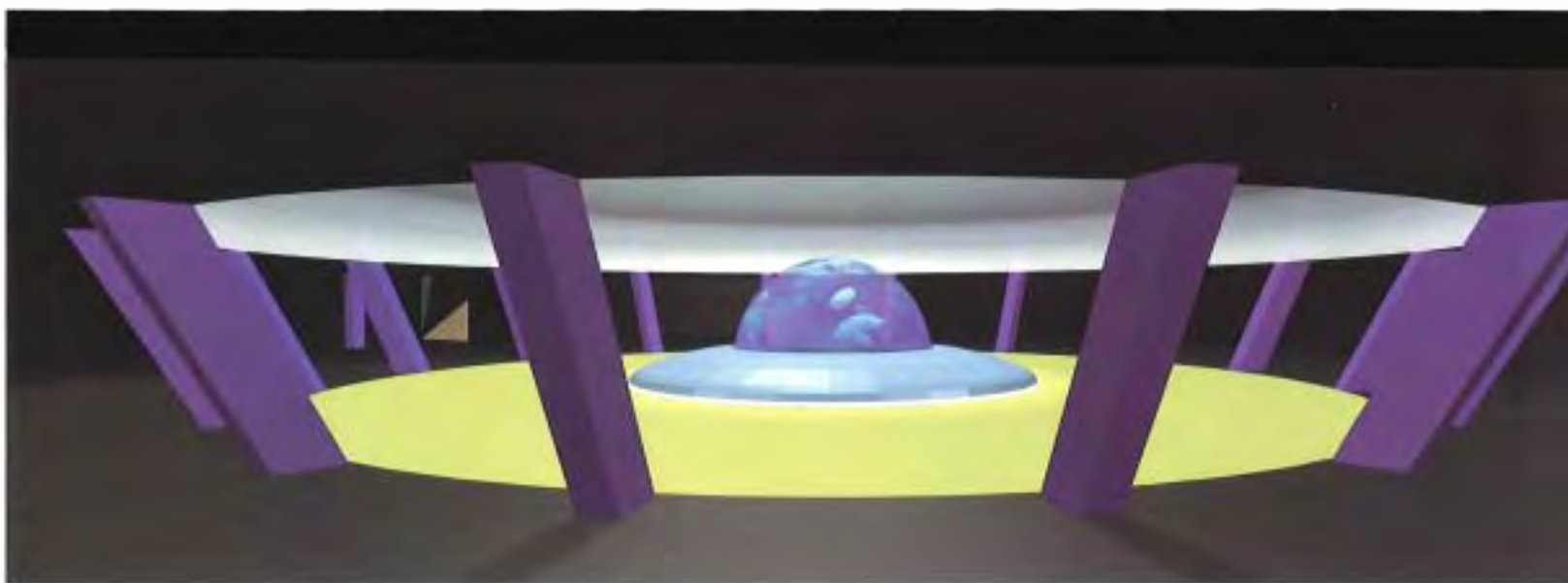
de sentirmos na nossa própria vida a fragilidade da vida no oceano.

O projecto deste aquário esférico constituiu um desafio importante, na medida em que rompe com a forma tradicionalmente cilíndrica de todos os aquários de medusas. A metade superior, com cerca de 3,5 metros de diâmetro, corresponde a uma das maiores cúpulas semiesféricas de polimetil-metacrilato até hoje fabricadas. O objectivo de a produzir de forma esférica para manter a coerência do discurso expositivo exigiu um estudo hidrodinâmico aprofundado e a execução de um protótipo, à escala 1:5, para a definição do campo de correntes a estabelecer no seu interior.

Este sistema representa a Terra, planeta-água, de onde a vida recolhe desde início a fragilidade e a força.

Devemos levar daqui o último elemento de reflexão sobre a responsabilidade que cabe a cada um, e a todos nós, de devolver o futuro ao planeta, porque só há uma Terra, um oceano e uma vida.

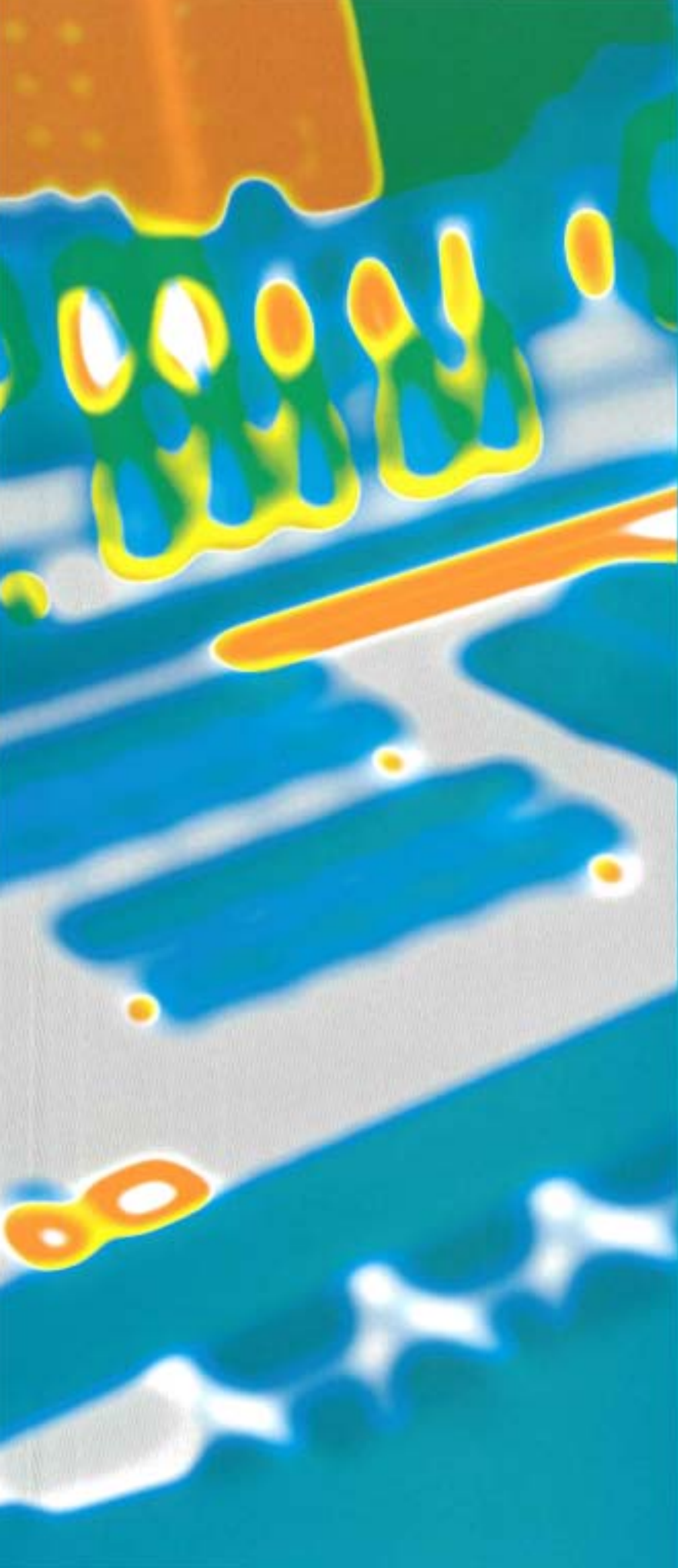
Figura 53 — Imagem virtual de «Um Posseio ao Azul Profundo», cristas médio-oceânicas e planície abissal.



54

Figura 54 — Imagem virtual de «Rumo ao Futuro».





PARTICIPAÇÕES 2
ESPECIAIS



EUREKA E O FUTURO DOS OCEANOS

PRESIDÊNCIA PORTUGUESA DA INICIATIVA EUREKA



s oceanos representam, desde há séculos, um recurso natural valioso para a prosperidade da Humanidade. São fonte de alimento e energia, via de comunicação que põe em contacto culturas diferentes e geograficamente distantes e espaço de lazer. Mas, infelizmente, o mar tem sido considerado pelo homem como uma «lixreira» onde podem depositar-se as substâncias poluidoras e tóxicas convenientemente escondidas da superfície terrestre.

Cada vez mais, a sua preservação não depende apenas de alguns países e da legislação em vigor. A preservação do mar e a sua exploração racional têm de resultar da cooperação de todos.

É na cooperação que a Iniciativa EUREKA tem vindo a desempenhar um papel fundamental.

EUREKA – O CAMINHO PARA A COOPERAÇÃO TECNOLÓGICA INTERNACIONAL

A Iniciativa EUREKA reúne actualmente 25 países europeus que cooperam entre si para colocarem ao serviço do mundo os resultados práticos da investigação efectuada em conjunto por empresas, universidades e instituições dos países-membros do EUREKA.

Se uma empresa, uma universidade ou um instituto de investigação tiver uma ideia

inovadora para desenvolver um produto ou um serviço, poderá apresentar a sua ideia à Iniciativa EUREKA.

A concretização da ideia será efectuada se os potenciais parceiros de negócio forem empresas ou institutos de investigação e desenvolvimento de, pelo menos, dois países membros do EUREKA; se estes parceiros tiverem recursos humanos e materiais que possibilitem o desenvolvimento do projecto; e, por fim, se o produto ou o serviço que resultar da ideia apresentada tiver viabilidade económica.

Cada projecto de investigação no EUREKA tem sempre como objectivo proporcionar o desenvolvimento tecnológico dos vários sectores de actividade económica e contribuir para melhorar a qualidade de vida das populações, mas sempre através da utilização racional dos recursos naturais. Esta preocupação constante da Iniciativa EUREKA consolidou-se através da criação, em 1994, do Prémio Lillehammer, que visa premiar os projectos EUREKA que apresentem benefícios significativos para o ambiente.

EUREKA E OS OCEANOS

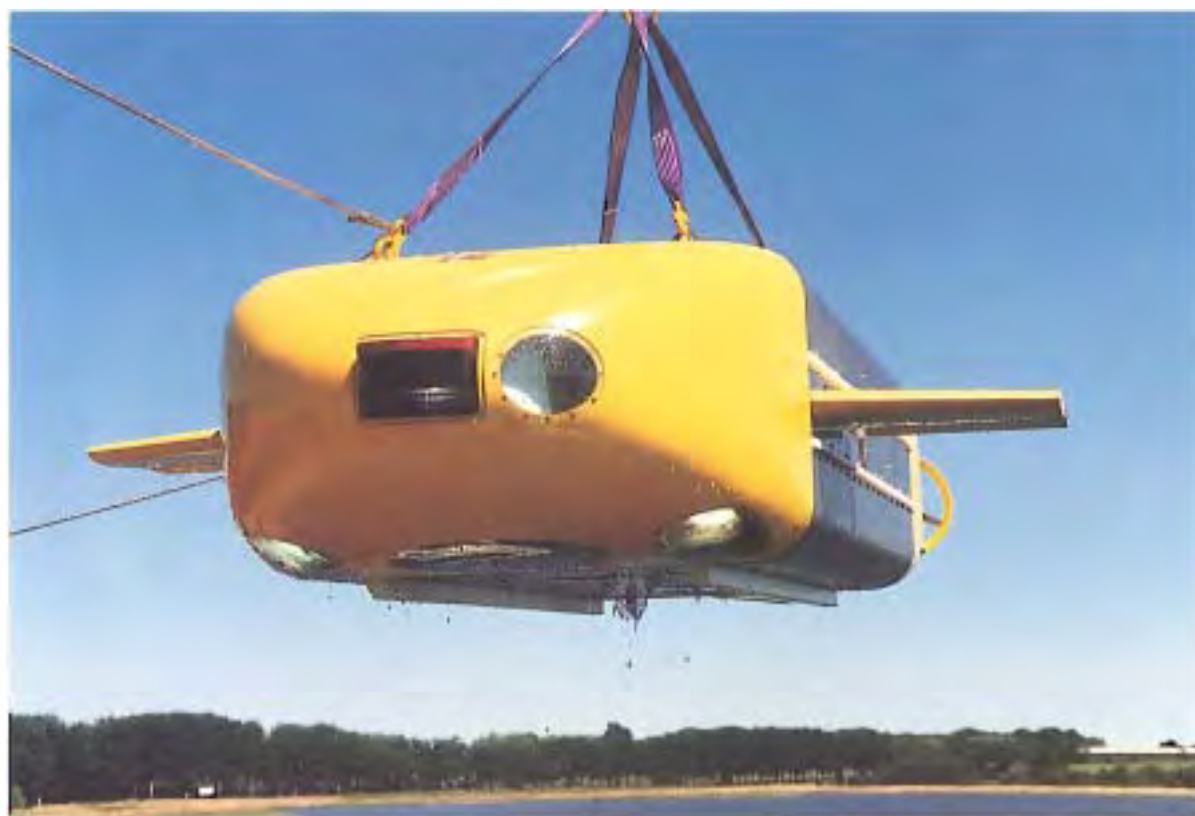
Na área do mar, a Iniciativa EUREKA tem como objectivo encontrar novas tecnologias que permitam explorar os recursos marítimos e, ao mesmo tempo, geri-los e preservá-los.



Presidência Portuguesa



Figura 55 — Navio Emerald
o arrastar os microfones
subaquáticos (hidrofones) do
Sistema HYDROSIL, para o captação
de imagens por reflexão sísmica.
Projecto EUREKA — 1203 HYDROSIL.



Entre os cerca de 70 projectos que o EUREKA tem neste momento a decorrer nesta área, encontram-se em desenvolvimento tecnologias que vão desde a recolha de dados sobre temperatura das águas, correntes, dados

sísmicos, dados sobre o leito dos mares, até à construção de equipamentos de comunicação que transmitam os dados recolhidos, de forma contínua e fidedigna, para os centros de controlo em terra. O estudo de novos tipos de embarcações para pesquisa e transporte também faz parte do leque de projectos EUREKA na área do mar, bem como o estudo dos organismos microscópicos, mas que contribuem para o equilíbrio da ecologia marinha.

CONHECER OS OCEANOS PARA GARANTIR O SEU FUTURO

Quando, muitas vezes, se tem conhecimento de um derrame de petróleo no mar e se pensa nas suas consequências, interrogamo-nos sempre



Figuras 56 e 57 — Mini-submarino autónomo para recolha de dados oceanográficos e imagens submarinos.
Projecto EUREKA — EU1249
Stirling AUV.



porque não se fez nada para evitar o catástrofe ou porque não se agiu atempadamente.

Este é um domínio onde o projecto EUREKA tem contribuído no sentido de encontrar soluções que permitam prever e dar uma resposta atempada à conservação dos oceanos.

No Pavilhão do Futuro vai encontrar produtos e tecnologias, que são uma pequena amostra da intervenção do EUREKA, na busca constante de informação que permita prever catástrofes, controlar as fontes de poluição, proteger o ambiente.

A PRESIDÊNCIA PORTUGUESA DO EUREKA

Este ano cabe a Portugal a presidência do EUREKA. Esta presidência, a decorrer em 1998, ano que as Nações Unidas instituíram como o Ano Internacional dos Oceanos, tem particular significado. O mar foi a porta de abertura ao conhecimento científico e tecnológico dos Portugueses. O domínio da arte de navegar que

lançou os Portugueses na descoberta do caminho marítimo para a Índia, ligando o Atlântico ao Índico, despertou o espírito científico e tecnológico para a arte de navegar e para o estudo das plantas e suas características medicinais, abriu novos caminhos ao mundo — pondo em contacto culturas diferentes e distantes —, estimulou a cooperação comercial, religiosa e cultural entre os povos.

PRIORIDADE AOS OCEANOS

Os oceanos foram importantes no passado e são decisivos para o futuro da Humanidade.

A presidência portuguesa deu prioridade aos oceanos, propondo-os como área estratégica do EUREKA. A investigação nos oceanos é fundamental. Os projectos EUREKA procuram soluções para problemas ambientais, alterações de clima, pesca, inclusive soluções alternativas de meios de transporte, que possam desbloquear os problemas relacionados com os transportes terrestres, sempre com o objectivo de melhorar a qualidade de vida das populações.

Figura 58 — Robot telecomandado para reparação de estruturas subaquáticas.

Projecto EUREKA — EU1027 ROMAN.



PREVER O FUTURO ATRAVÉS DO SISTEMA GLOBAL DE OBSERVAÇÃO OCEANOGRÁFICA (GOOS) DA COI, UNESCO

COLIN SUMMERHAYES*

A Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI) da UNESCO é o parte do sistema dos Nações Unidas que promove o investigação e a observação dos oceanos mundiais, com o dupla finalidade de aprofundar o conhecimento e de melhorar o utilização que lhes é dado. Os Estados-membros da UNESCO utilizam a COI como meio fundamental de abordar colectivamente as solicitações que lhes são feitos pelos diversos Convenções dos Nações Unidas, no que respeito à gestão do meio marinho, nomeadamente pelo convenção sobre Biodiversidade e Alterações Climáticas e pela Agenda 21 — Declaração da Conferência dos Nações Unidas poro o Desenvolvimento Ambiental — que se realizou no Rio de Janeiro em 1992. Poro responder às solicitações do Convenção sobre Clima, o COI procuro reduzir os incertezas acerca do papel que os oceanos desempenham no clima, tendo em consideração factores como o dióxido de carbono, os alterações do nível do mar e o radiação ultravioleta. Para responder às solicitações do Convenção sobre Biodiversidade, o COI está o estudar o degradação generalizado dos recifes de coral. Poro responder às solicitações do Agendo 21, a COI está o desenvolver o Sistema Global de Observação Oceanográfica (Global Ocean

Observing System ou GOOS), que monitoriza o oceano e prevê o seu estado futuro. A COI está também a ajudar os Estados-membros a responder às solicitações do Plano de Acção Global para a Protecção do Ambiente Marinho relativamente às Actividades Terrestres, desenvolvendo directivos e normas que são subsequentemente aplicados na observação e qualificação da poluição costeiro como bases para o desenvolvimento de planos de acção destinados a melhorar a qualidade do ambiente. A COI está igualmente a trabalhar no sentido de prever o florescimento de algas nòcivas que envenenam os mariscos e os pessoas que os consomem. A resposta a estas questões globais do maior importância ultrapasso o que uma nação pode fazer isoladamente e exige o tipo de cooperação internacional possibilitado pelo sistema dos Nações Unidas e por organizações como a COI.

O trabalho da COI é necessário porque os oceanos cobrem 70 % do superfície do planeta e têm um impacto fundamental no desenvolvimento sustentável.

Fornecem à Humanidade uma ampla variedade de recursos essenciais, desde alimentos e



Figura 59 – Storm System (Sistema de Tempestade).

* Director do Sistema Global de Observação Oceanográfico (GOOS); Gabinete de Projecto da Comissão Oceanográfico Intergovernamental (COI) da UNESCO.



Figura 60 – Tempestade tropical durante o furacão Olivia, Baixo Califórnia, México.

produtos farmacêuticos a serviços como transportes e actividades recreativas. Exercem igualmente uma influência fundamental no clima. Por conseguinte, compreender o comportamento do oceano é vital para a compreensão dos recursos, dos danos ambientais, da temperatura e do clima e para a previsão de alterações, tanto diárias como mensais, sazonais ou ao longo de décadas. Por exemplo, se compreendermos melhor o funcionamento do oceano e o modo como ele controla o clima ao longo dos tempos, poderemos prever com um maior grau de certeza a ocorrência e magnitude potenciais de fenómenos extremos como *El Niño*, que causa chuvas fora de época em locais como o Peru e a Califórnia no oceano Pacífico, permitindo que os

países potencialmente afectados estabeleçam planos para enfrentar os problemas logo que surjam, salvando assim vidas e bens e ajudando a manter a estabilidade das suas economias.

Realizar este objectivo mágico de prever o futuro exige uma recolha global de dados, à superfície e no fundo dos oceanos, e a integração dessas informações em modelos numéricos sofisticados que simulem o comportamento do oceano e das suas correntes e remoinhos ao longo do tempo. Para o efeito, a COI está a ajudar as nações, por intermédio de um Sistema Global de Observação Oceanográfica (GOOS), muito parecido com a Vigilância Meteorológica Mundial (World Weather Watch ou WWW) que apoia os observatórios



61

meteorológicos nacionais no fornecimento das bases para os boletins meteorológicos televisivos.

A COI colocou o GOOS no Pavilhão do Futuro para acentuar a importância da passagem da investigação acerca do funcionamento do oceano para a aplicação desses conhecimentos em modelos que só podem ser utilizados nos supercomputadores mais potentes do mundo, a fim de produzir previsões sobre os oceanos e o clima para o bem da Humanidade.



62

Figura 61 – Topex/Poseidon, um satélite que observa a superfície do oceano.

Figura 62 – Os oceanógrafos recolhem dados no mar.





SABER, PROTEGER 3



Aliás, foi no fundo dos mares, por via da investigação científico em vários domínios (paleomagnetismo, gravimetria, fluxo térmico, petrografia e geocronologia dos sedimentos e do substrato rochoso), que os geólogos puderam formular uma visão global da geologia da Terra, hoje bastante desenvolvida na teoria do tectónica de placas.

ORIGEM E EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA TERRA

A origem, a natureza e a evolução do Terra não podem ser desligados dos do Sistema Solar, da nossa Galáxia e do próprio Universo.

Aceito-se hoje que no fornalha primordial que marca o início do expansão do Universo, há uns 15 000 milhões de anos, foram gerados praticamente todo o hidrogénio e a maior parte do hélio hoje existentes, na proporção de aproximadamente 9 para 1. A restante parte do hélio, bem como os restantes elementos da tabela periódica (apenas 1 % da composição global do cosmos), foram, na imensa maioria, produzidos da seguinte forma: uns por síntese no interior das estrelas, mercê de reacções termonucleares próprias da sua actividade; outros na sequência de grandiosas explosões das estrelas mais maciças – *supernovas* – no decurso das quais foram libertadas incomensuráveis quantidades de energia, com temperaturas na ordem dos muitos milhões de graus centígrados (Celsius), onde prosseguiu a nucleossíntese dos elementos mais pesados do que o ferro.

As supernovas ejectam nos espaços, o velocidades próximos da luz, não só os elementos contidos e gerados no interior dos respectivas estrelas enquanto tal, mas também os produzidos nas respectivas explosões. Nos tempos que se lhes seguem, a estes elementos juntam-se outros materiais produzidos em pleno espaço interestelar, frio. Nesta fase, alguns átomos combinam-se, dando origem a moléculas, como água, metano,

amoníaco, ácido cianídrico, álcool etílico.

Constituem-se assim nuvens imensas – *nébulas* – nos quais surgem, ainda, poeiras finíssimas de substâncias sólidas, como carbono, magnetite e olivina. Estas nuvens são visíveis no firmamento, obscurecendo certas zonas mais luminosas do céu, e, dentro delas, têm sido referenciados alguns corpos esféricos não luminosos – *glóbulos* – que são interpretados como estádios, ainda embrionários, de formação de novas estrelas a partir do concentração gravítica dos materiais dessas mesmas nébulas.

No estado actual da ciência, aceita-se que o Sistema Solar nasceu, assim, da contracção de uma nébula com um diâmetro médio estimado no ordem dos dois anos-luz que, por sua vez, teria resultado de uma supernova ocorrida há cerca de 8000 milhões de anos. Herdamos, pois, não só a matéria sintetizada nessa imensa explosão, mas também a da estrela que a antecedeu, numa ocorrência considerado normal e até frequente entre as galáxias, onde as estrelas nascem, evoluem e morrem. Na Via Láctea, por exemplo, ocorre uma supernova, em média, todos os trinta anos. Nesta óptica consensual, o Sistema Solar deve ser entendido como uma fase cíclica da própria dinâmica do Universo. A esta herança tem vindo o acrescentar-se uma ínfima percentagem (relativamente à composição inicial) de elementos sintetizados no interior do Sol, como é o caso do hélio, por fusão de núcleos de hidrogénio e, ainda, os gerados nos planetas, por decaimento de certos isótopos radioactivos, como aconteceu com o ^{26}Mg a partir do ^{26}Al , para referir apenas duas situações.

Ao contrair-se a nébula que nos antecedeu, inicialmente frio, deu nascimento a um glóbulo animado de movimento de rotação, de densidade sucessivamente crescente, gigantesco à nossa escala, mas minúsculo relativamente à nuvem-mãe, onde se concentrou a quase totalidade (cerca de



Figura 65 – Supernova.

Figura 66 – Nébula.



Figura 67 – Os planetas do Sistema Solar.

67

99,8 %) dos materiais nela contidos. Ao mesmo tempo, constituía-se à sua volta, no plano equatorial e rodando com ele, um disco formado pelos materiais não incorporados no corpo central (apenas 0,2 %). Do colapso gravítico resultou não só o aumento da velocidade de rotação do referido glóbulo, mas também o seu aquecimento, tornando-se incandescente e, portanto, luminoso. A continuação da contracção elevou a temperatura interna desta proto-estrela a níveis tais (12 000 000 °C) que possibilitaram o desencadear da fusão nuclear do hidrogénio em hélio, comportamento que marcou o nascimento do Sol como estrela.

Foi a partir da massa ínfima não incorporada no glóbulo central que se formaram os restantes corpos do Sistema Solar: os nove planetas e os seus satélites, um número incomensurável de asteróides e de cometas e, ainda, uma infinidade de poeiras várias, de que temos testemunho nas frequentes e espectaculares chuvas de estrelas.

Vaporizados por efeito térmico do jovem Sol e dispostos por densidades ao longo do disco equatorial em rotação, os materiais aí satelizados acabaram por arrefecer e, em parte, condensar.

Os mais refractários e os mais densos mantiveram-se na zona mais interna do disco. Os menos refractários, os voláteis e os menos densos foram sendo segregados para os anéis mais afastados. Daí o contraste entre os planetas essencialmente sólidos – ou *telúricos* – do interior do sistema, num dos quais tivemos berço, e os gigantes gasosos exteriores a Marte.

Entre os primeiros condensados formou-se um tipo particular de corpos rochosos testemunhados por certos meteoritos (*condritos*) com cerca de 4600 milhões de anos, valor aceite não só para a idade da Terra, mas também de todos os planetas e demais componentes do Sistema Solar.

A nossa Terra, uma parte ínfima deste conjunto, nasceu, assim, à semelhança dos seus companheiros, fria e por aglutinação – *acrecção* – sucessiva dos primeiros condensados, gerando corpos progressivamente maiores, os *planetesimais*. Por reunião destes, a Terra acabou por atingir as dimensões que teve como corpo planetário ainda não diferenciado e maior do que hoje. Como todos os corpos planetários de maiores dimensões (na ordem dos milhares de quilómetros de diâmetro), a Terra tornou-se um globo esférico¹ por efeito da

¹ Por efeito da sua rotação e do consequente aceleração centrífuga, a Terra não é perfeitamente esférica. A sua forma é próxima da de um elipsóide de revolução de muitíssimo pequeno achatamento (1/293).

Figura 68 – Pequeno asteróide.
(Gaspia)



68

gravidade, ao contrário do que se verifica com a imensa maioria dos asteróides (como Gaspia e Ida, por exemplo), com os núcleos dos cometas ou com as pequenas luas dos vários planetas do nosso Sistema Solar (Fobos e Deimos, de Marte, Amalteia, de Júpiter, Hiperión, de Saturno, etc.), de formas sempre irregulares. A acreção dos materiais que a formam ocorreu a uma dada distância do Sol (150 000 000 km), numa fase já avançada da sua evolução como estrela.

Mais afastada do que Mercúrio, fica-lhe no entanto mais próxima do que muitos dos seus companheiros. Assim, por razões de densidade e de selecção térmica, a Terra e os restantes corpos do Sistema Solar ficaram com as composições que lhes conhecemos.

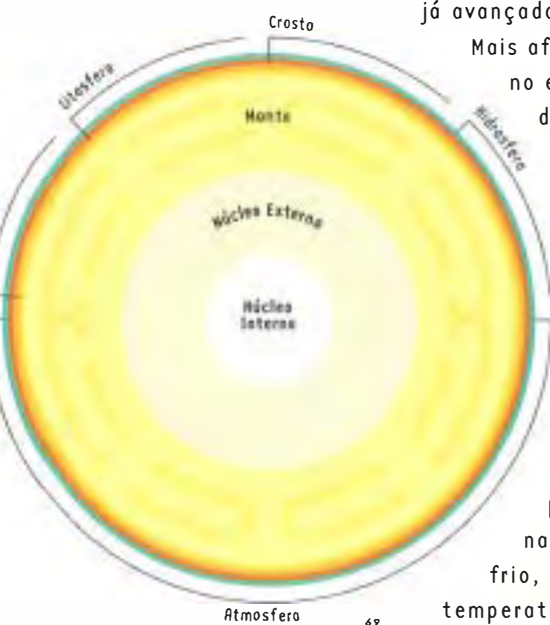
Em resultado da contracção gravítica, do declínio radioactivo de certos isótopos e, ainda, das colisões de grandes corpos meteóricos (em continuação do processo de acreção), o *protoplaneta*, nascido como um corpo relativamente frio, começou por sua vez a aquecer. As temperaturas então atingidas (naturalmente muito mais baixas do que as verificadas no Sol, dada a descomunal diferença de massas), foram,

no entanto, suficientes para provocar a fusão parcial de alguns dos seus constituintes. O ferro disseminado no seu interior migrou para o centro e formou o núcleo, diferenciando-se de uma enorme zona envolvente, silicatada e ferromagnésiana – o *manto*. Concomitantemente, teve lugar intensa actividade vulcânica que, como outra expressão da diferenciação do planeta, esteve na base da formação, há cerca de 4200 milhões de anos, da crosta primitiva, praticamente desaparecida e de composição ainda polémica².

O intervalo de tempo que decorreu entre o nascimento da Terra e o das mais antigas rochas conhecidas (gneisses e outras rochas do escudo canadiano, com cerca de 3900 milhões de anos) é bastante longo, na ordem dos 700 milhões de anos. Assim, a reconstituição desta fase juvenil do nosso planeta tem sido abordada e explicada com recurso aos conhecimentos adquiridos relativamente aos seus parceiros no Sistema Solar e, em particular, ao nosso satélite³.

Posteriormente à formação das primeiras porções de crosta continental, ter-se-ia verificado o alastramento destes terrenos e a sua reunião em escudos maiores, sucessivamente mais rígidos. Esta fase da evolução da crosta evidencia acontecimentos à escala global, como vulcanismo, erosão, sedimentação, orogénese, etc., segundo modelos ainda não suficientemente conhecidos, mas que, é lógico admitir, se foram aproximando progressivamente do que se aceita hoje na tectónica de placas pós-paleozóica.

A grande quantidade de calor armazenado no interior do planeta, isto é, a sua energia interna tem proporcionado à Terra uma contínua renovação da sua fisionomia. Com efeito, as massas continentais, com dimensões e geometrias certamente diferentes das actuais, têm migrado mais ou menos à superfície da

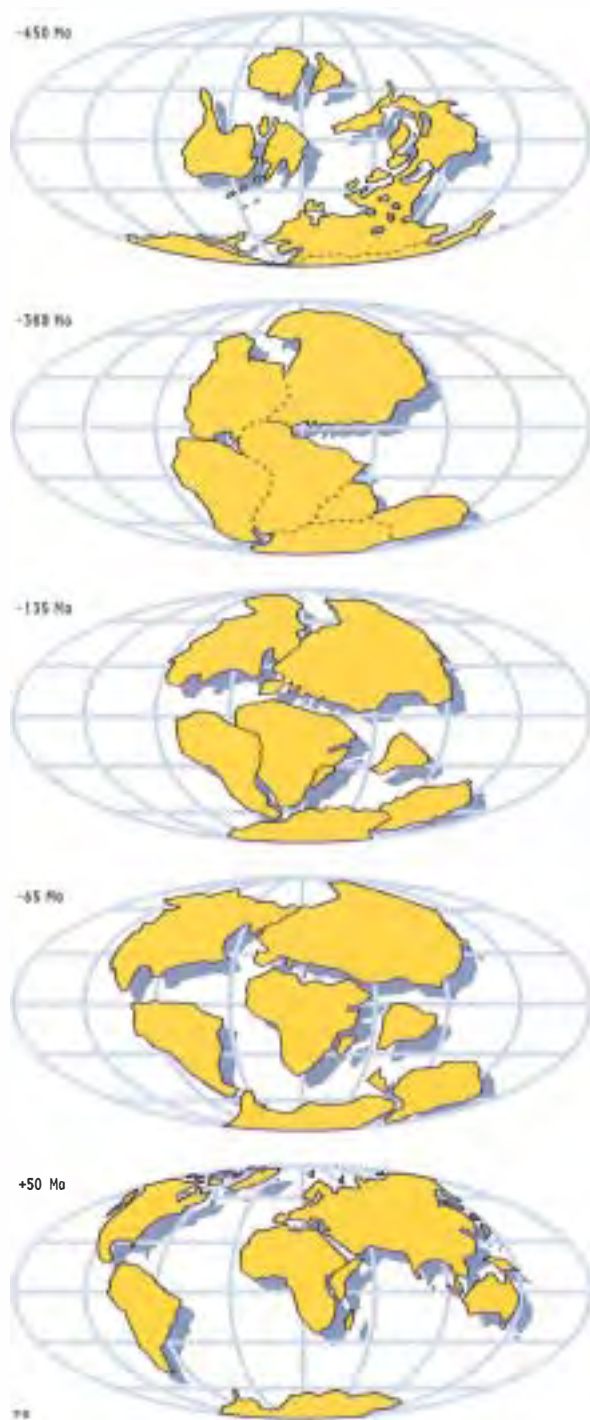


69

Figura 69 – Estrutura da Terra e convecção do manto.

² São conhecidos na Austrália Ocidental cristais de zircão com cerca de 4250 milhões de anos, que certamente pertenceram a rochas de uma antiquíssima crosta, entretanto desaparecida. Vestígios dessas rochas, estes zircões sobreviveram aos processos geológicos que os destruíram e foram incorporados em materiais mais recentes no decurso de posteriores processos petrogenéticos.

³ A crosta primitiva deve ter sido algo próximo do actual crosta oceânica ou, há quem o defenda, semelhante à do nosso satélite, com rochas de um tipo relativamente pouco abundante na Terra actual, a que se dá o nome de onortosites.



Terra, ao sabor de movimentos de convecção térmica gerados no manto, ora se aproximando e unindo, ora se fragmentando e afastando, à medida que os oceanos se têm reduzido e fechado ou se vão abrindo e crescendo. Numa destas fases, a que antecedeu a actual deriva dos continentes, todas as massas continentais estiveram unidas num único supercontinente, a *Pangeia*, rodeado por um único oceano, a *Pantalassa*. Consolidada nos últimos tempos da era paleozóica, esta imensa e única massa continental começou a fragmentar-se há uns 200 milhões de anos e a evoluir para a situação presente. A actual configuração dos continentes e oceanos é algo de aparentemente estável à escala da vida humana. Na realidade, a movimentação das placas litosféricas continua incessantemente, e dessa dinâmica interna do globo temos testemunhos frequentes e, tantas vezes, catastróficos, como são os sismos e as erupções vulcânicas.

A relativa juventude das rochas do substrato oceânico (basaltos, com idades inferiores a 200 milhões de anos) contrasta com a grande antiguidade da maioria das rochas dos continentes que exibem vastas áreas formadas por terrenos arcaicos.

Desde muito cedo na história da Terra, os sedimentos resultantes da erosão dos continentes foram-se acumulando nas suas margens. Assim, fases de erosão e sedimentação repetiram-se ciclicamente, como se comprova no registo geológico. Por outro lado, e em virtude da constante movimentação de porções maiores ou menores de litosfera, foram sendo geradas sucessivas cadeias de montanhas que repunham à superfície e à periferia dos velhos continentes a maior parte da massa litosférica que lhes ia sendo subtraída pela erosão, constituindo assim novas porções de crosta. Tais processos têm-se repetido, também mais ou menos ciclicamente,

Figura 70 – Sequência da evolução dos continentes, imagens do modelo tectónico.

GRANDES DIVISÕES DOS TEMPOS GEOLÓGICOS
Com indicação dos respectivos limites de idades absolutas, em mega-anos (Ma)

ERAS Grupos		PERÍODOS Sistemas		SÉRIES Épocas		CRONOLOGIA (Ma)		
F A N E R O Z Ó I C O	ERA CENOZÓICA	Quaternário	Holacénica		0.01	60 a 65		
			Plistacénica					
		Neogénica	Pliacénica		1.8			
			Miacénica		5			
					23			
		Paleogénica	Oligacénica		38			
			Eacénica		53			
			Paleacénica					
	ERA MESOZÓICA	SECUNDÁRIO	Cretácica	superior	136-140	225-240		
				média				
				inferior				
			Jurássica	Malm	195-200			
				Dogger				
			Triásica		Keuper			
			Muschelkalk					
			Buntsandstein					
	ERA PALEOZÓICA	PRIMÁRIO	Pérmica			280	540	
				Carbónica				
					345			
			Devónica		395-410			
			Silúrica		430-440			
			Ordavílica		500			
Câmbrica								
PROTEROZÓICO (ou Algónquico)			PRECÂMBRICO		2500			
ARCAICO								
				4600				

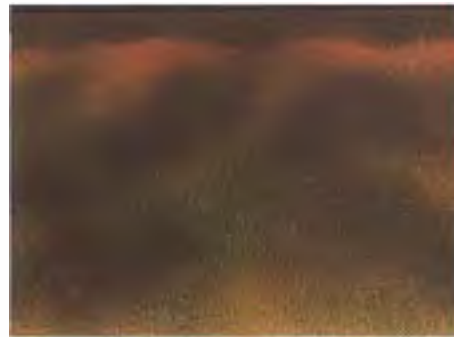
ao longo da tempo (assim a indicam as várias ciclos orogénicas), num constante rejuvenescimento da crosta continental e, consequentemente, contínua modificação da fisionomia do planeta. Na mesma moldura dinâmica, a crosta oceânica é constantemente reprocessada, e também de forma cíclica. Surgindo nas *rifts*, alastra até à expansão máxima das oceanos, regressando ao manto ao longo das fossas abissais, na fase de retracção e fecha das mesmas.

Relativamente à diferenciação da crosta primitiva, ter-se-iam libertado enormes quantidades de vapor (CO₂, H₂O e outras), responsáveis pela atmosfera de então e subsequente formação da hidrosfera. O nascimento desta geosfera ocorreu há cerca de 4000 milhões de anos, logo que a temperatura da superfície baixou a valores da ordem dos 380 °C, a que, em conjugação com a pressão atmosférica de então (217 bar), permitiu a condensação do vapor de água, criando-se as oceanos. Assim, num intervalo de tempo relativamente curto, pode dizer-se que choveram todas as mares. De um planeta aculta por espessa, densa e permanente nebulosidade, à semelhança de Vénus, a Terra evoluiu para a *planeta azul*, com uma atmosfera transparente, parcialmente encoberta pelas farrapos brancas das nuvens sempre em movimento. É hoje um dado assente que esta atmosfera, rica em vapor de água e francamente reductora, saída da diferenciação, acabou por condensar num imenso dilúvio. As primeiras águas, quentes, circularam e acumularam-se nas reentrâncias das rachas. As torrentes juntaram-se em lagoas, e estas em mares que foram aumentando progressivamente em extensão e em profundidade, acabando por se reunir, muito provavelmente, num primitiva e única oceano global.

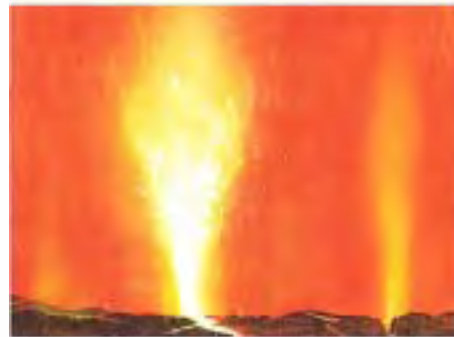
A Terra terá sido então um *planeta de água* de onde emergiam porções de massas continentais isoladas e bastante menores do que as dos dias de hoje. Toda esta hidrosfera juvenil conteria em dissolução produtos nascidos da química interestelar e reunidos na atmosfera-mãe, como amônia, metano, dióxido de carbono, álcoois, ácido cianídrico e muitos outros gases, que tiveram um papel fundamental nos fenômenos precursores da biosfera. As primeiras águas exerceram certamente intensa dissolução e erosão das rochas existentes, carregando-se também de catiões como Na, Ca, Mg, entre muitos outros.

ORIGEM E EVOLUÇÃO DA VIDA

Os mares primitivos – gigantescos laboratórios químicos carregados de moléculas, iões e átomos – tiveram os seus níveis superficiais sujeitos às radiações solares (entre as quais a ultravioleta), aos raios cósmicos e ainda, muito provavelmente, às descargas eléctricas atmosféricas. Deste modo, no seio da água, e ainda sob uma atmosfera marcada pela quase ausência de oxigénio, ocorreu um sem-número de reacções químicas e consequente formação de grande variedade de novas moléculas, muitas das quais as das tradicionalmente chamados compostos orgânicos⁴. Tendo em conta trabalhos experimentais, por demais referidos na bibliografia geológica e biológica, crê-se que tivessem surgido, nesses mares primitivos, substâncias como açúcares simples, ácidos gordos, glicerina, aminoácidos, bases azotadas, etc. Estas e outras moléculas acumuladas nas águas, ainda quentes, teriam constituído as primeiras fases do longo caminho percorrido pela *evolução molecular abiótica* ou pré-biológica. Os compostos recém-criados puderam ser preservados, reedificados, recombina- dos ou destruídos, em função dos ambientes, no decurso de algumas centenas de



71



72



73



74

Figuras 71 a 74 – Evolução da atmosfera.

⁴ Assim chamados por se ter acreditado que eram substâncias exclusivamente produzidos pelos organismos vivos, o que hoje sabemos não corresponder à verdade.

milhão de anos, uma enormidade de tempo durante a qual uma infinidade de acasos, numa longa caminhada certamente pejada de insucessos, permitiu também os passos favoráveis que conduziram à vida. A partir destes compostos formaram-se macromoléculas mais complexas, tais como polipeptídios e ácidos nucleicos, podendo as argilas ter contribuído para a edificação de certas estruturas assimétricas características dos seres vivos.

Nesta linha evolutiva, algumas moléculas ter-se-iam agregado em conjuntos sucessivamente mais elaborados, de que resultaram edifícios relativamente estáveis a que têm sido dado nomes como *coacervados*, *microgotas* ou *microsféricas*, com capacidade de auto-organização dos seus constituintes. A partir destes puderam originar-se *cocóides* que, por sua vez, se reuniram em *esferóides*. Unidades individualizadas e protegidas por membranas rudimentares, tais agregados permitiram trocas selectivas com o meio e exerceram actividade que se teria aproximado, cada vez mais, da dos primeiros organismos, ainda heterotróficos, podendo crescer, dividir-se e, assim, replicar-se. Deste modo e nestes organóides, aceites como prefigurações das células vivas, foram-se marcando as diferenças que os separavam do mundo biológico. Nesta fase não havia ainda oxigénio em quantidade para os destruir e, assim, dispuseram de tempo suficiente para adquirir capacidade de regular a informação genética. O carácter não oxidante da atmosfera primitiva manteve-se durante os primeiros 2000 a 2500 milhões de anos da história da Terra. Lentamente, os seres vivos primitivos foram adquirindo uma cada vez maior eficiência no uso da energia, primeiro por fermentação, depois por fotossíntese e, finalmente, só muito mais tarde, por respiração. Só após a aquisição da última destas capacidades pôde a vida sair do ambiente que lhe permitiu a origem e o berço – a água.

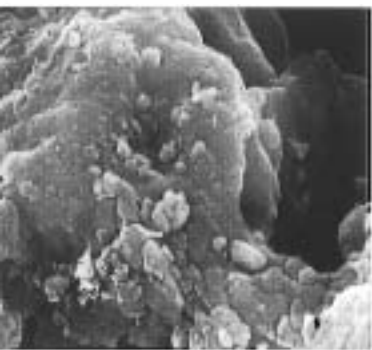


Figura 75 – Cianobactérias fósseis.

Subtraída de grande parte do vapor de água, , entretanto passado à hidrosfera, a atmosfera terrestre evoluciona, no início, com produção de algum oxigénio por dissociação fotoquímica da água e do dióxido de carbono. Posteriormente, mais de 1000 milhões de anos depois, continuou essa marcha por efeito da fotossíntese realizada pelos organismos autotróficos. Assim, no que se refere ao nascimento e à evolução do oxigénio na atmosfera, a uma fase abiótica sucedeu-se outra essencialmente condicionada pela biosfera, ou, por outras palavras, aos processos fotoquímicos, exclusivamente inorgânicos, viriam a suceder, mais tarde e após a aparição das primeiras manifestações de vida, os processos organogénicos.

Uma vez libertado na água, o oxigénio era de novo aprisionado por oxidação, principalmente sob a forma de óxidos de ferro, como o testemunham as enormes quantidades destes componentes em certos tipos de rochas sedimentares precâmbrias (as bem conhecidas *iron banded formations*) que constituem um considerável reservatório crustal do oxigénio que não chegou a libertar-se para a atmosfera.

A passagem dos seres heterotróficos a autotróficos e a relação de interdependência que se criou no binómio «atmosfera versus seres vivos» são uma conquista da biosfera decisiva para o aumento gradual do teor de oxigénio livre, que, numa interacção contínua, condicionou toda a caminhada do mundo vivo. A fotossíntese utiliza as radiações solares de baixa energia (espectro visível) libertando como subproduto o oxigénio, numa das mais importantes sequências de reacções bioquímicas que ainda hoje ocorrem à superfície da Terra. Supõe-se que certos organismos primitivos, cianobactérias ou cianófitas, tenham sido os primeiros organismos com capacidade fotossintética.

Testemunhos destes organismos primitivos encontram-se em certas estruturas calcárias

lamelares, os *estromatólitos* (resultantes da sua actividade biológica), no Arcaico africano da Suazilândia (3500 milhões de anos) e do Zimbábue (2600 milhões de anos). Recentemente foram encontrados outros indícios (indirectos) da vida ainda mais remota sob a forma de inclusões de carbono em grãos de apatite com 3850 milhões de anos, na ilha de Akilia, na Gronelândia. Tais quimiofósseis testemunham, por via isotópica, a existência de actividade fotossintética e, portanto, de clorofila.

O aumento substancial desta flora primordial incrementou a produção de oxigénio a níveis que ultrapassaram a capacidade de fixação deste elemento por parte do conteúdo iónico da hidrosfera. Assim, o oxigénio fotossintético pôde começar a escapar-se para a atmosfera. A presença significativa deste gás livre no ar de então, embora com teores ainda baixos, mas já susceptíveis de desencadear fenômenos de oxidação subaéreos, é testemunhada pela ocorrência, no Proterozóico, de depósitos detríticos de *facies* continental de intensa coloração vermelha devido à presença significativa de óxido de ferro (hematite).

No início da vida, a existência de oxigénio livre constituía um elemento desfavorável aos organismos primitivos; com efeito, na falta de enzimas adequados, que só apareceram muito mais tarde, este gás é letal para as células. Assim, a precipitação das referidas formações ferríferas precâmblicas foi decisiva na manutenção dos baixos níveis de oxigénio, permitindo que, muito lenta e progressivamente, os seres vivos se tivessem adaptado a um metabolismo aeróbio para satisfação das suas exigências energéticas.

Estava-se ainda longe da reprodução sexuada das células, possibilidade que só apareceu muito depois, uns 500 a 600 milhões de anos mais tarde, um intervalo de tempo tão dilatado como o que nos separa da explosão dos metazoários, no início do Paleozóico.

Os primeiros metazoários bem conhecidos datam do final do Precâmbrico. Além da excepcionalmente bem conservada fauna de Ediacara (Austrália), com 650-700 milhões de anos, conhecem-se outros locais que forneceram bons fósseis da mesma idade, entre os quais os referenciados na Namíbia, na Sibéria, na Carolina do Norte (EUA), na Finlândia, na Inglaterra, etc. Nesta etapa da vida, ainda exclusivamente marinha, os animais eram desprovidos de carapaça, uns do tipo das medusas, outros com afinidades com os anelídeos e muitos outros sem correspondência com qualquer dos grupos conhecidos. Estes organismos, ainda de corpo mole, mais carentes energeticamente do que os seus antecessores, necessitavam de teores de oxigénio mais elevados, todavia ainda muito baixos relativamente aos valores actuais.

O tempo (cerca de 3000 milhões de anos) consumido pela evolução biológica antes do aparecimento dos mais antigos metazoários é enorme quando comparado com o da evolução posterior, até ao presente. Tal diferença permite supor que os seres pluricelulares teriam «aguardado» tão grande intervalo de tempo até que a atmosfera permitisse a existência de um metabolismo oxidante. Por outro lado, a síntese de certas substâncias necessárias à formação das carapaças de alguns organismos só surgiu no começo da era paleozóica, há 540 milhões de anos, e exigiu certamente um novo aumento do nível deste mesmo gás, hoje indispensável à vida.

Ao contrário dos tempos precâmbricos, o registo fóssil no Paleozóico permite a abordagem da evolução biológica em moldes mais seguros, à semelhança do que se passa nas restantes eras do Fanerozóico. A vida essencialmente microscópica do Arcaico e a ausência de estruturas esqueléticas nos metazoários do Proterozóico não ofereceram condições favoráveis à fossilização, e daí, talvez, a raridade dos seus testemunhos.



76



77

Figuras 76 e 77 – Fauna de Ediacara. Adelaide, South Australian Museum.

No Câmbrio assiste-se a uma enormíssima explosão da vida com o aparecimento de numerosos e muito diversificados grupos biológicos, todos marinhos. A flora resume-se a plantas não vasculares, como as algas, e no reino animal já estão representados praticamente todos os *fila* dos invertebrados e, admite-se, inclusivamente os cordados. Outros grupos não vingaram, tendo desaparecido quase a seguir à sua entrada em cena, pelo que não têm quaisquer laços com a biodiversidade que conhecemos, como o demonstra a excepcionalmente abundante e bem conservada fauna fóssil dos xistos de Burgess, na Colúmbia Britânica (Canadá).



Figura 78 – Trilobites.
Lisboa, Museu Nacional de
História Natural.

Figura 79 – Placa com vegetação
do Carbónico. Lisboa, Museu
Nacional de História Natural.

parcial de oxigénio molecular de cerca de 10 % do valor actual se estabeleceu a camada de ozono que passou a proteger a superfície da Terra da radiação letal ultravioleta oriunda do Sol. As formas de vida, até então subaquáticas, puderam sair do seu meio e começar a povoar as terras emersas. Tal ocupação prosseguiu com a invasão das áreas mais húmidas dos continentes por plantas muito simples, até atingir a situação das grandes florestas de distribuição mundial do final da era, onde as gimnospermas acabaram por substituir a vegetação primitiva (fetos e outras plantas arbóreas afins). Os insectos, surgidos de uma evolução complexa a partir de



Nos mares do Paleozóico abundaram, em particular, trilobites, celenterados, nautilóides, graptólitos, amonóides, briozoários, foraminíferos, com maior ou menor desenvolvimento, uns e outros, nos diversos períodos. A aparição dos vertebrados ocorre no final do Câmbrio, há cerca de 520 milhões de anos, através de animais aparentados com os peixes, os *agnatas*. Os verdadeiros peixes surgem muito mais tarde, no Silúrico, uns 100 milhões de anos depois, aproximadamente a idade do início da ocupação das terras pelas primeiras plantas vasculares. Considera-se altamente provável que só quando se atingiu a pressão

certos artrópodes marinhos, acompanharam o desenvolvimento e a diversificação da cobertura vegetal. Às áreas florestadas opuseram-se, por vezes, grandes extensões desérticas no interior dos continentes.

A evolução da flora e a grande expansão global que ocorreu a partir do Paleozóico superior tiveram por base o rápido aumento de oxigénio molecular na atmosfera, que atingiu na Carbónico, há cerca de 280 milhões de anos, um nível muito semelhante ao actual, isto é, cerca de 21 % da composição global do ar que respiramos. Por seu turno, a expansão do mundo

verde teve um papel importante na evolução da atmosfera. Dir-se-ia que a biosfera foi criando a atmosfera ao sabor das suas necessidades.

Entre os peixes, talvez em águas pantanosas associadas a florestas húmidas e quentes do Devónico, há 370 milhões de anos, diferenciou-se um grupo (sarcopterígeos) com barbatanas carnudas e com capacidade de respirar também fora de água, que ensaiou com sucesso a saída do meio aquático. Esboçou-se, assim, o começo da ocupação dos continentes pelos vertebrados. São ainda anfíbios os primeiros tetrápodes terrestres, não dispensando contudo a proximidade dos meios húmidos de que eram dependentes, em especial pela necessidade que os machos tinham de aí fecundarem (no exterior) os ovos gelatinosos que as fêmeas lançavam previamente na água. A existência de uma fase larvar nos primeiros tempos de vida dos descendentes constituía outra dependência da água.

A efectiva invasão do meio terrestre é uma consequência de um passo importante na reprodução, a «descoberta» do ovo amniótico, uma conquista que permitiu a evolução dos anfíbios para os répteis, que desenvolvem, no final da era (Carbónico e Pérmico, 360 a 250 milhões de anos) um grande número de formas terrestres, entre as quais os chamados «répteis mamalianos», dadas as suas afinidades com os mamíferos, e ainda os precursores dos diversos grupos de répteis que caracterizam a era mesozóica.

A passagem do Paleozóico ao Mesozóico (há 250 milhões de anos) caracteriza-se por uma vasta e profunda crise biológica. Apenas um número muito reduzido de grupos ultrapassou esta fronteira. A extinção em massa então ocorrida é uma, talvez a de maiores proporções, entre as várias detectadas na história da Terra. Os tempos mesozóicos iniciam-se, assim, com uma outra grande explosão da vida. Novos invertebrados

substituem as formas definitivamente desaparecidas; entre eles, as amonites que registaram invulgar expansão e diversificação ao longo da era. Os peixes com características modernas tornam-se, a partir de então, um elemento comum, ao lado de outros sobreviventes paleozóicos, como os tubarões.

Referido como a «Era dos Répteis», o Mesozóico assiste ao desenvolvimento espectacular deste grupo de animais, que ocupam todos os ambientes terrestres, marinhos e aéreos. Os dinossáurios tornam-se senhores do planeta, assumindo, no Jurássico, formas de dimensões gigantescas. Nos mares, crocodilos, ictiossáurios e plesiossáurios são os grandes predadores. Nos ares planam os pterossáurios e batem as asas as primeiras aves. Os mamíferos surgidos ao mesmo tempo dos dinossáurios e na sequência de uma linhagem comum mantêm, durante os cerca de 170 milhões de anos de coabitação, uma posição muitíssimo secundária na biodiversidade de então, nitidamente dominada pelos répteis.

A partir do Cretácico inferior (há 120 milhões de anos), as coníferas, que constituíam o essencial das florestas desde os finais do Paleozóico, vão sofrer a competição que lhes é imposta pelas plantas com flor (angiospérmicas). No final da era, na fronteira com os tempos modernos (Cenozóico), há cerca de 65 milhões de anos, ocorre uma outra importante crise biológica, nova extinção em massa que, entre inúmeros grupos biológicos, vitimou os dinossáurios. O alvorecer dos tempos modernos traz novas formas que se aproximam cada vez mais da vida actual. Os mamíferos e as aves, com o campo deixado vago pelos répteis, adquirem a fabulosa diversidade que lhes conhecemos, ocupando todos os nichos deixados vagos. No topo desta evolução chega finalmente o homem.



80



81



82

Figura 80 - Ictiossáurio.

Lisboa, Museu Nacional de História Natural.

Figura 81 - Crânio de crocodilo.

Lisboa, Museu Nacional de História Natural.

Figura 82 - Mandíbula de

mastodonte. Lisboa, Museu Nacional de História Natural.

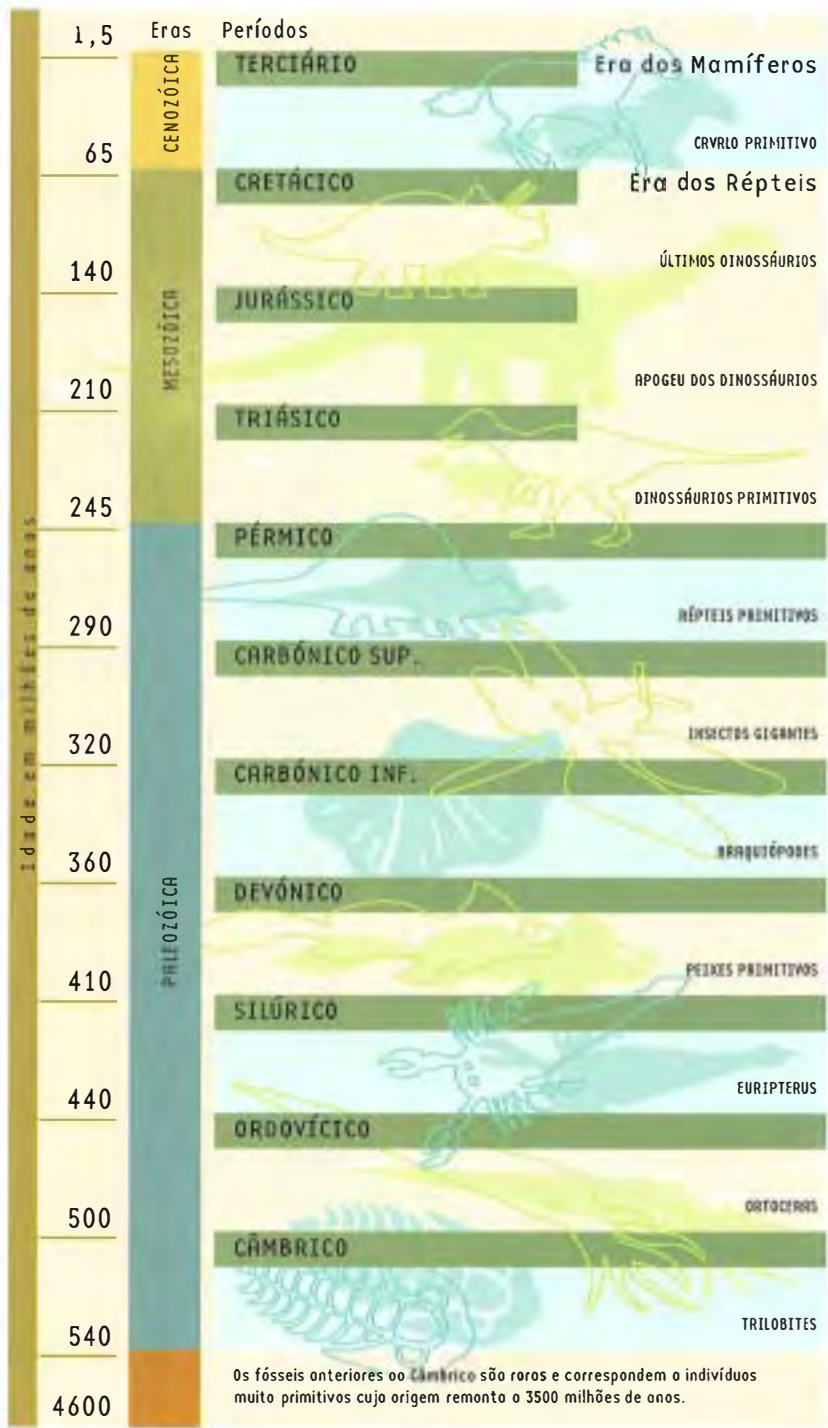


Figura 83 – Coluna estratigráfica simplificada.

Desde as formas mais simples, de que há vestígios fossilizados, directos e indirectos, com mais de 3800 milhões de anos, à extremo complexidade dos animais e das plantas superiores dos nossos dias, os seres vivos, nascidos nas águas quentes dos primeiros mares, depressa ocuparam todos os ambientes exteriores do globo. Desde os mais elevados níveis da troposfera às profundidades oceânicas, em todas as latitudes, a vida tem-se instalado e, nas mais das vezes, proliferado. Em suspensão ou voando nos ares, nas altas montanhas, na escuridão total das grutas e do subsolo, nos rios e lagos, nos mares (incluindo os grandes fundos abissais), nos gelos da Antárctica ou nos desertos tórridos e hiperóridos, a vida sempre encontrou maneira de se adaptar aos diversos ambientes. Para tal inventou e desenvolveu, ao longo do tempo geológico, as estratégias mais variadas, conseguidas num sem-fim de tentativas de ensaio e erro.

A vida assenta em grande parte na existência e na relativa estabilidade de certas moléculas gigantes, constituídas por milhões de átomos agrupados em estruturas muito complexas – sólidas mas engenhosamente flexíveis –, ligados por forças físicas surgidas há uns 15 000 milhões de anos com o começo do Universo. A vida pode, pois, ser encarada como uma entre muitas das expressões da evolução natural, uma mera etapa (para nós, a mais recente) no longo caminho do aumento da complexidade, iniciado na fornalha do Big Bang. À semelhança dos minerais ou das rochas, a vida é uma consequência da própria matéria e das forças que actuam em obediência ao determinismo que julgamos ver nas leis da física conjugado com o imponderável do acaso, durante o imensidão do tempo decorrido.

Na óptica da ciência, o primeiro milagre da vida ficou programado nos primeiros momentos do

tempo universal, com o nascimento das referidas forças físicas, muitíssimo antes de a Terra ter surgido como planeta. O segundo milagre deve-se ao facto de este nosso «ponto azul-claro» se ter formado onde se formou e proporcionar aos materiais que reuniu o ambiente (a luz solar, a temperatura amena, a água no estado líquido, etc.) que permitiu que o fenómeno vida se manifestasse aqui, de preferência a qualquer outro local do espaço exterior de que temos conhecimento.

Esta longa caminhada percorrida pelos seres vivos – e em que foi consumida toda a idade do Universo – culmina a própria evolução da matéria. Passou pela formação da Via Láctea, a galáxia a que pertencemos, e, mais tarde, pela do Sistema Solar. Nos últimos milhares de milhão de anos, tal caminhada tem tido por cenário o «planeta azul», a nossa casa, onde todos temos de viver e onde reside tudo o que temos, do ar e da água que respiramos e bebemos ao chão que pisamos e nos dá o pão.

Presentemente, a atmosfera continua a ser controlada pela biosfera, em especial pela cobertura vegetal. Reciprocamente, na sequência da mesma interacção de sempre, quaisquer perturbações causadas à esfera gasosa, como, por exemplo, o aumento do teor de dióxido de carbono ou o empobrecimento da camada de ozono, não deixarão de reflectir-se sobre a vida.

Somos feitos da mesma matéria de que são feitas as pedras, as plantas, os animais e tudo o mais que existe, desde as estrelas mais distantes ao vírus mais rudimentar. Connosco, a matéria, dita inerte, adquiriu capacidade de pensar, de se interrogar e de intervir no seu curso, até aí não programado ou conduzido pela ciência e pela tecnologia que o homem introduziu no processo. Assim, a Natureza pensa através do cérebro humano, e é o homem que lhe dá a mais expressiva das suas vozes. É pena que nem



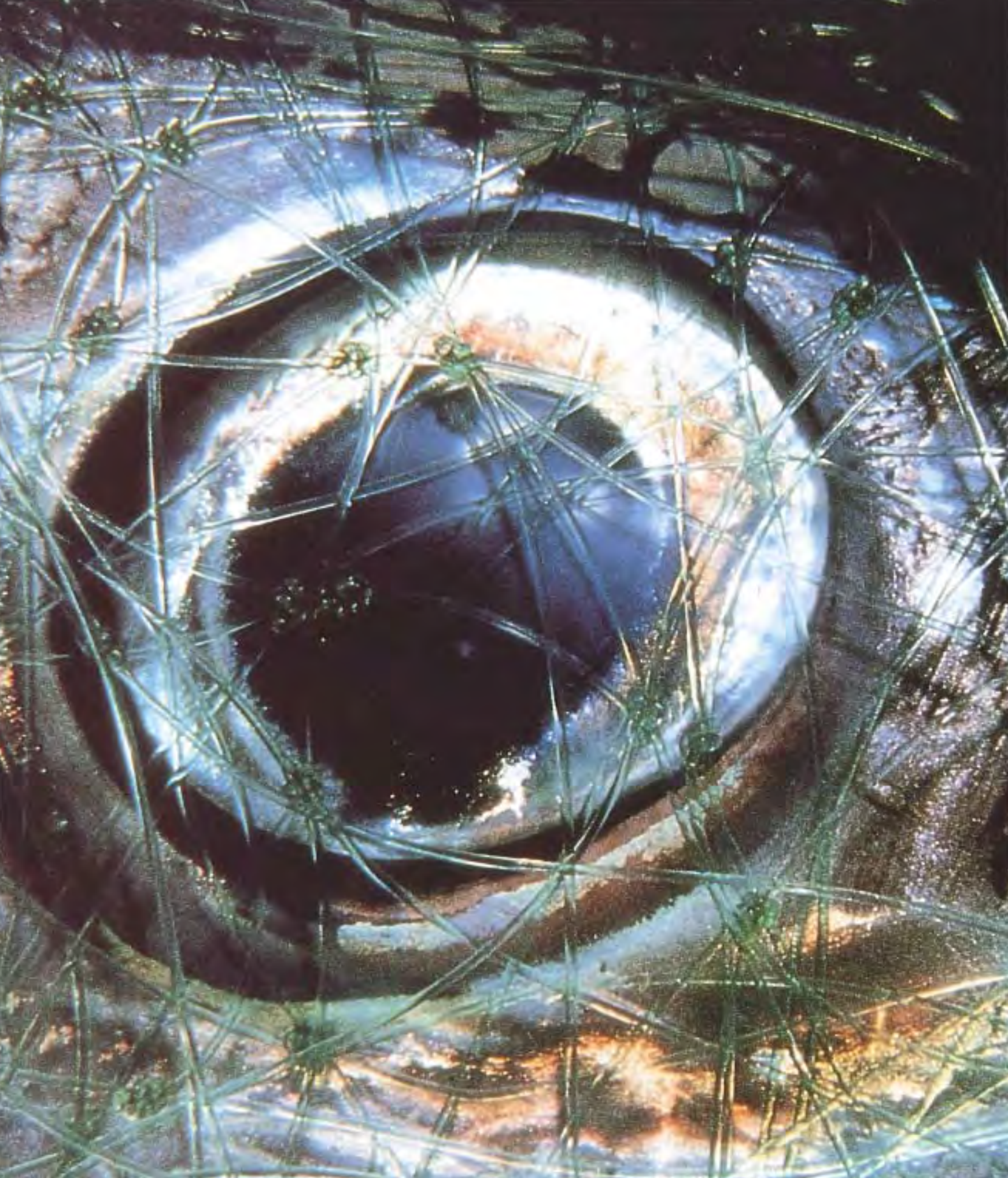
84

sempre o homem pense da melhor maneira e nem sempre a sua voz lhe seja a mais favorável... pelo contrário!

Sabe-se hoje que a evolução biológica não foi contínua. Sofreu percalços, saltos bruscos e até catástrofes imensas à escala do planeta. Na história da biosfera estão referenciadas algumas extinções em massa, que influenciaram drasticamente o curso dessa evolução, tal como a concebemos. Ao violentar a Natureza na procura do lucro ou do benefício imediato, o homem, com os já muitos recursos científicos e tecnológicos de que dispõe, começa a pôr em risco o equilíbrio natural, podendo, mais tarde ou mais cedo, tornar-se uma das suas vítimas, numa outra catástrofe global que ele próprio tem vindo e continua a promover.

Depois... com o tempo, nos muitos milhares de milhão de anos que tem ainda à sua frente, a Terra voltará a adquirir o seu equilíbrio e, talvez, a fabricar um outro Senhor e colocar-se-lhe de novo nas mãos... e esperar... E isto, muitas vezes...

Figura 84 – A vida e os montanhas partilham do mesmo energia que modifica continuamente a superfície do Terra.





BIODIVERSIDADE MARINHA: AMEAÇAS E GESTÃO

RICARDO SERRÃO SANTOS*

INTRODUÇÃO

Se a vida na Terra tem uma propriedade singular relevante, é a de que existe numa enorme variedade de formas.

BOYCE THORNE-MILLER e JOHN CATENA (1991)



o decurso do corrente século o homem transformou as condições de vida no planeta de uma forma sem precedentes. Num crescendo de «desenvolvimento», condenou à doença e à morte vastos ecossistemas e os organismos que lhe estavam associados. Através da poluição e da exploração dos recursos, a Humanidade tem acelerado o esvaziamento da Terra.

O século XX tem sido um século de duplicidades e contrariedades para a história do planeta; um século em que a Humanidade tem vivido uma experiência de desenvolvimento tecnológico sem precedentes, mas também em que mais se descobriu acerca dos limites dessa fantástica odisseia tecnológica. Um século de contrastes, em que, apesar dos enormes avanços nos conhecimentos e nas tecnologias, o homem se interroga sobre um enorme desconhecimento: com que custos para a vida, com que grau de irremediável?

Ao longo deste século, o ar recebeu toneladas de substâncias químicas e radioactivas e de metais pesados, que depois espalhou pelos campos, florestas e oceanos. Paralelamente, outras toneladas foram directamente vertidas nos rios e lagos, na terra e nos oceanos. Milhões de organismos, entre os quais a espécie humana,

são anualmente contaminados por estes resíduos tóxicos.

Complementarmente, em todos os oceanos e mares do planeta, enormes quantidades de organismos são retiradas para uso humano, enquanto vastas áreas das regiões costeiras são ocupadas. Estas actividades já puseram em perigo de extinção diversas espécies de mamíferos marinhos, tartarugas e numerosas espécies de peixes e invertebrados.

Os recifes de coral, ecossistemas que em termos de biodiversidade ocupam um espaço de excelência ao lado das florestas tropicais e das recentemente descobertas fontes hidrotermais dos oceanos profundos, estão em deterioração crescente em consequência de um conjunto de causas de origem antropogénica: sedimentação, pesca destrutiva, envenenamento, fluxo de nutrientes, aquecimento global, etc. (Hallock, Müller-Karger e Halas, 1993).

Os sintomas de uma biodiversidade marinha ameaçada ocorrem nos mais diversos quadrantes:

a) no Florida, as algas e os corais, *habitats* vitais para muitas espécies marinhas, tornam-se castanhos e morrem (Iannata, 1996);

b) milhares de golfinhos morrem no Mediterrâneo, em consequência de uma epidemia viral e poluição química (Simons, 1990);

c) ao longo da costa norueguesa, *blooms* de algas tóxicas matam toneladas de salmões em cativeiro;

d) em consequência da Guerra do Golfo, toneladas de petróleo são vertidos no golfo do Arábia, oceano Índico, destruindo a vida marinha ao longo de quilómetros de costa (Sheppard e Price, 1991);

* Director do Departamento de Oceanografia e Pescos da Universidade das Ações, vice-presidente do Instituto do Mar.

Figura 05 – Atum-almacora preso numa rede, Pacífico Norte, 1990. As redes oceânicas são uma armadilha intolérável contra a vida nos oceanos.

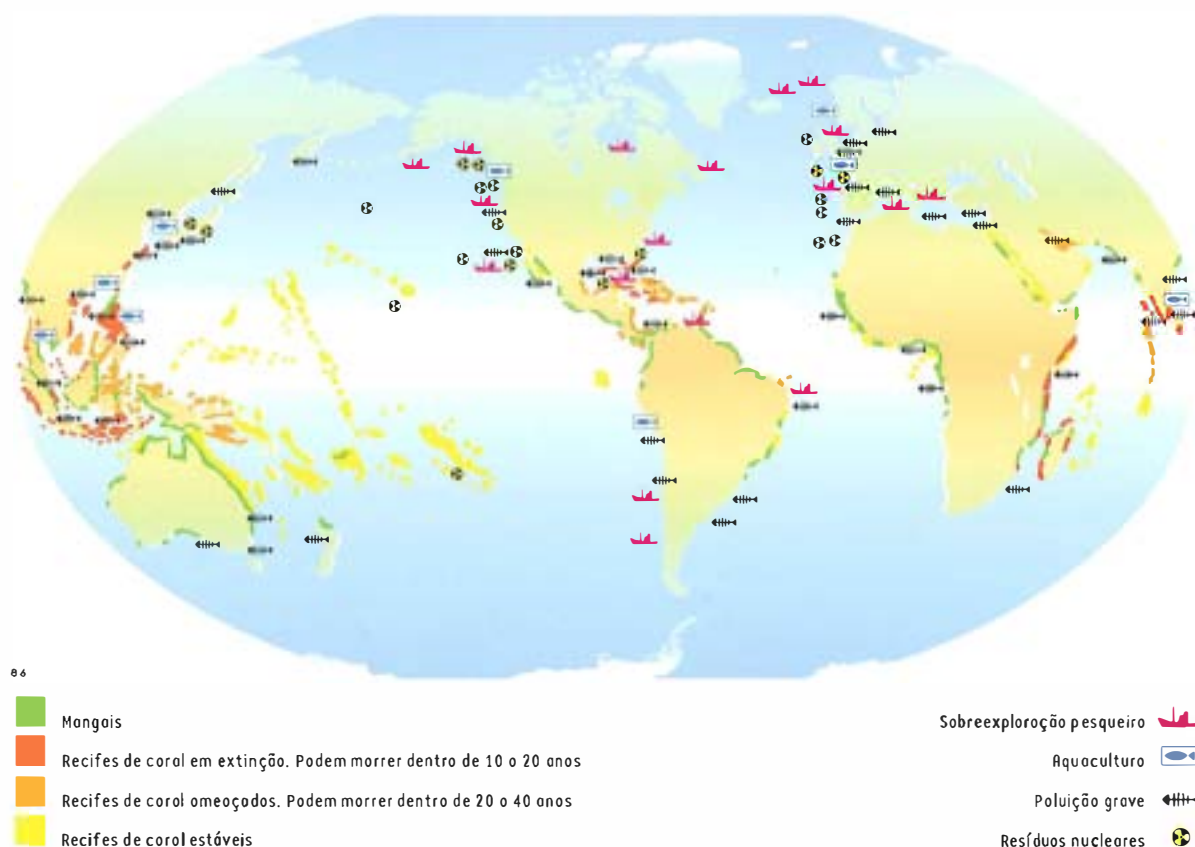


Figura 86 - A vida nos oceanos está ameaçada por um conjunto de factores que em muitos casos actuam de forma associada, mas que também podem causar prejuízos isoladamente. As ameaças mais relevantes para a conservação da biodiversidade marinha advêm de:

- a) sobreexploração de recursos vivos, resultante de actividades de pesca que os retiram ao mar de forma insustentável;
- b) alterações físicas do meio ambiente, resultantes de acções que conduzem à alteração da estrutura física dos habitats das espécies;
- c) poluição, que resulta na contaminação do ambiente por produtos químicos tóxicos ou por resíduos sólidos; os produtos podem ser depositados directamente no mar, escoados através do solo ou de rios, ou transferidos através da atmosfera;
- d) a introdução de espécies alienígenas, que resulta da transferência de espécies de uma região geográfica para outra;
- e) as mudanças globais resultantes de alterações do meio ambiente relacionados com alteração do clima (Norse, 1993).

e) ao longo das costas europeias, milhares de focas morrem devido a uma epidemia viral; suspeita-se que a infecção tenha resultado em epidemia por enfraquecimento do sistema imunitário. Devido à poluição dos habitats, as focas apresentavam elevados índices de contaminação por metais pesados, PCBs e DDT (Thomson e Hall, 1993);

f) derrames de crude e de petróleo ameaçam zonas costeiras em várias regiões do planeta. Um dos mais graves ocorreu na costa do Alasca, oceano Pacífico, e foi originado pelo acidente com o petroleiro *Exxon Valdez*. Mais de 300 000 aves, 1000 lontras-marinhas e um número incontável de outros organismos foram afectados pelo derrame (Michel, 1990);

g) populações de gastrópodes marinhos são globalmente afectadas por *tributyltin*, um pesticida incorporado às tintas utilizadas para pintar os cascos das embarcações e navios. Os efeitos são generalizados e reportam-se aos mais diversos pontos do globo, incluindo as isoladas ilhas oceânicas dos Açores (Spence, Hawkins e Santos, 1990);

h) o uso intensivo do cianeto de sódio nas pescas em recifes coralíferos das Filipinas tem esvaziado de vida estes habitats outrora ricos. O esvaziamento é generalizado. Afecta não só as espécies-alvo, como os meros e os bodiões, em especial o bodião napoleão (*Cheilinus undulatus*), bem como todo um conjunto de espécies sem valor comercial, que são abandonadas nesse circo de morte (Debelius, 1996).



QUE É A BIODIVERSIDADE?

[...] a diversidade da vida é a fonte e a maior herança natural da espécie humana.

EDWARD O. WILSON (1994)

Em termos globais, entende-se por biodiversidade o conjunto de organismos que existem ou existiram no planeta. Os organismos não são entidades isoladas. Fazem parte de ecossistemas, mais ou menos complexos, dominados por relações de hierarquia e interdependência. O número de espécies é apenas um dos componentes que caracterizam a biodiversidade. Além da variedade de espécies, a biodiversidade contempla a variedade dos patrimônios genéticos e as expressões fenotípicas dentro da mesma espécie, bem como a variedade de ecossistemas, nos quais os

indivíduos e as espécies se integram e são os seus garantes. Em termos classificativos, pode também falar-se da biodiversidade de um continente, de uma floresta, de um rio e de um troço de rio; pode falar-se da biodiversidade de um oceano, de um mar e de um recife costeiro.

Em termos funcionais, a biodiversidade condensa os resultados históricos das complexas interações entre os organismos vivos e as forças bióticas e abióticas que, no decurso da evolução do planeta, os foram moldando e ajustando. A vida existe no planeta desde há muitos milhões de anos. Ao longo da sua existência, passou, alternadamente, por episódios de florescimento e por episódios dramáticos de extinção de espécies. Durante o Pérmico, 50 % de todas as espécies presentes na Terra, das quais 96 % das espécies marinhas, desapareceram. Apesar disso, a vida no planeta recuperou sempre o seu esplendor. A vida na Terra demorou milhões de anos a recuperar de cada um dos cinco principais episódios de extinções em massa. Nenhum dos processos de extinção teve como origem qualquer outra forma de vida existente. Quando o homem surgiu no planeta, a vida brilhava de diversidade. É lamentável que a Humanidade, ao atingir um tão elevado grau de civilização, «tenha iniciado o sexto grande espasmo de extinções, deitando a perder, numa só geração, e para toda a eternidade, uma grande fracção de espécies nossas contemporâneas» (Wilson, 1992).

OS OCEANOS E A BIODIVERSIDADE MARINHA

Sou de opinião de que estamos longe de conhecer que espécies existem realmente no ambiente oceânico. [...] Há por aí mais espécies do que pensamos.

ROBERT H. GIBBS JR. (1986)

Setenta e um por cento da superfície deste pequeno planeta, o terceiro do Sistema Solar, a que chamamos Terra, estão ocupados por oceanos.

Figura 87 – Artes de pesca abandonadas no oceano e outros detritos sólidos continuam a ameaçar diversas formas de vida, muitos anos após terem sido abandonados no mar.

Figura 88 – A poluição é uma das grandes ameaças à biodiversidade marinha. Os derrames de petróleo têm destruído extensos ecossistemas marinhos.

Figura 89 – Os oceanos são universos de surpresas. Em 1976, o mundo científico foi surpreendido pelo descoberto, ao largo do Havai, de uma nova espécie de tubarão. Desde então foram já encontrados mais seis espécimes, um dos quais vivo, que pôde ser fotografado ao largo do litoral da Califórnia.



Figura 90 – Não menos surpreendente foi o descoberto, em 1938, ao largo da costa de Madagáscar, de uma espécie de peixe que se julgava extinto e foi baptizado *Latimeria chalumnae*, de nome comum celacanto. Em poucos anos tornou-se uma espécie em vias de extinção, dada a constante perseguição que passou a sofrer pela crescente procura por parte de coleccionadores e, pasme-se, de cientistas.



Figura 91 – As fontes hidrotermais de profundidade, descobertas pela primeira vez no oceano Pacífico em 1977, albergam um dos mais fascinantes ecossistemas do planeta, onde a vida está totalmente dependente de bactérias quimiossintéticas; estes ecossistemas albergam faunas com elevados graus de endemismo.



O seu volume, de cerca 1 370 000 000 km³, contempla 99 % do espaço disponível para a vida no planeta. Os oceanos albergam vida desde a superfície até às mais remotas profundidades, que atingem os 11 000 m.

Apesar de nos oceanos ocorrerem apenas cerca de 15 a 20 % das espécies descritas para todo o planeta, a verdade é que os oceanos contêm mais

ordens e *phyla* do que os ecossistemas terrestres. Dos 34 *phyla* animais considerados, 13 são exclusivamente oceânicos; 32 estão representados no meio marinho, quer na forma independente, quer na forma simbiótica. Estes números, mais do que o número de espécies, traduzem a importância dos oceanos para a biodiversidade do planeta.

As plantas e os animais proliferavam nos oceanos muito antes de a vida ter surgido em terra. Os oceanos contêm «mais informação acerca da evolução da vida na Terra do que os ecossistemas terrestres» (May, 1992).

Alguns grupos zoológicos que chegaram a evoluir no planeta são hoje apenas conhecidos pelos fósseis deixados e por algumas espécies vivas filogeneticamente próximas. As amonites, que se extinguíram no final do Jurássico, há mais de 144 milhões de anos, têm nos *nautilus* o seu parente vivo mais chegado. Infelizmente, dada a ingrata inaptidão do homem para apreciar a beleza sem a sequestrar, os *nautilus* são hoje uma espécie em vias de extinção, devido ao elevado número de indivíduos capturados para fins decorativos (Earle, 1991).

A biodiversidade nos recifes de coral compete com a das florestas tropicais.

O oceano profundo, em tempos julgado inerte e vazio de vida, aparece hoje como um espantoso repositório de variedade, que alguns autores comparam à das florestas virgens. Estudos recentes no oceano profundo revelaram valores espantosos de biodiversidade. Foram recolhidas amostras de cerca de 900 espécies, pertencentes a 100 famílias e a 12 *phyla*, numa área de 125 m². Metade destas espécies eram novas para a ciência (Benchey e Gradwohl, 1995).

O desconhecimento dos oceanos é de tal modo considerável que só em 1976 se soube da existência de um tubarão de profundidade (*Megachasma pelagios*), que se alimenta de plâncton e pode atingir 5 m de comprimento e 750 kg de peso. Até à

data, apenas sete animais desta espécie de largas dimensões foram observados.

Também só em 1938, à volta das ilhas Comores, a profundidades que rondavam os 200 m, foi capturado um representante de um peixe que se julgava extinto. Um autêntico fóssil vivo, que pode atingir 2 m de comprimento e o que foi dado o nome de *Latimeria chalumnae*.

O conhecimento dos oceanos é, em alguns casos, substancialmente inferior ao que hoje temos dos outros planetas do Sistema Solar. Contudo, sem os oceanos, a vida na Terra não existiria.

Os oceanos têm um papel determinante na regulação dos processos biológicos, químicos e atmosféricos do planeta. São eles que, em grande parte, governam o clima e estabilizam a temperatura; que absorvem um terço da produção anual de carbono e geram um volume substancial do oxigénio. Como observa Sylvia Earle, «o mar é o sistema que suporta a vida na Terra» (Earle, 1996).

Os benefícios que as sociedades humanas retiram dos oceanos são tão diversos e complexos que seria impossível à Humanidade sobreviver sem eles.

De facto, só uma Humanidade para quem os oceanos não constituem o elemento primordial não se apercebe de forma directa e imediata dos prejuízos que lhes pode infligir através do uso impróprio que lhes dá.

As zonas dos oceanos mais prejudicadas são as regiões costeiras. Estas representam, em termos de superfície, cerca de 8 % do planeta, o equivalente ao continente africano. Em termos de volume, representam, no entanto, muito mais – sensivelmente o mesmo volume que é ocupado pela vida nos ecossistemas terrestres (Ray, 1988).

As zonas costeiras (ou litorais) são das mais povoadas do planeta. Vivem aí mais de 50 % da população mundial. Do mar limítrofe são retirados mais de 90 % dos recursos marinhos vivos. O impacto é de tal modo elevado que

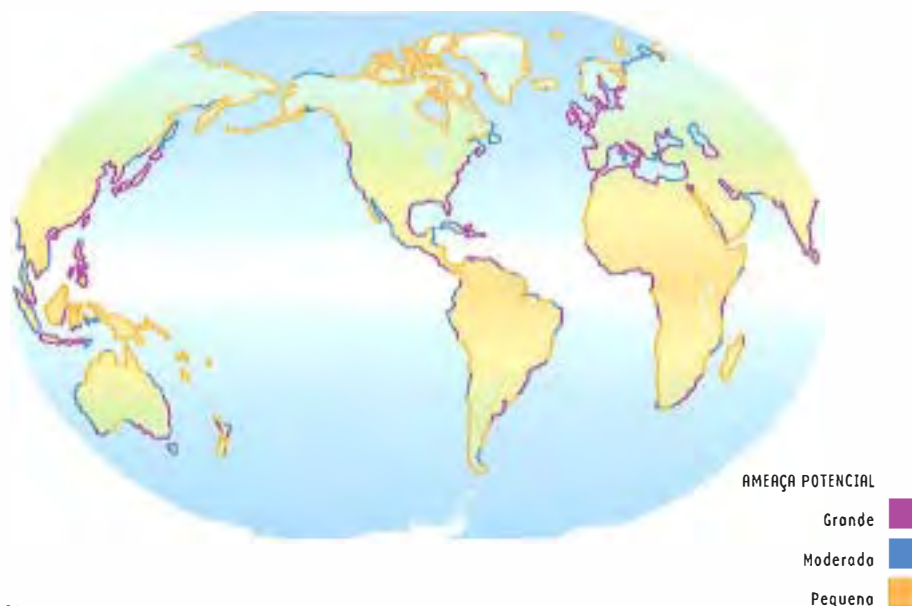


Figura 92 – Os ecossistemas marinhos costeiros são dos mais ricos e produtivos dos oceanos; o impacto do desenvolvimento das sociedades humanas e a convergência das populações para as zonas litorais ameaçam uma elevada percentagem desses ecossistemas.

92

constitui uma ameaça premente à vida marinha – ameaça, quer pelas toneladas de organismos que daí são retirados, quer pelas toneladas de lixo e poluentes que aí são depositadas. Os oceanos têm de deixar de ser vistos como um enorme caixote de lixo, capaz de tudo absorver e reciclar. Até em pinguins da Antárctida, longe de qualquer produção agrícola, foram detectados níveis contaminantes de DDT. A vida nos oceanos necessita de protecção contra o que deles retiram e contra o que neles introduzem.

A biodiversidade é, antes de mais, um indicador da saúde do planeta. Sempre que por uma razão ou outra a Terra entra em crise, adoece, muitas formas de vida são afectadas. Se não fosse por mais nada, a biodiversidade deveria ser respeitada, apreciada e protegida pelo simples facto de constituir uma medida para a saúde e o bem-estar do homem. Mas há outras razões para a protecção da biodiversidade marinha.

Não é só em termos de recursos e vias de comunicação que a Humanidade está ligada aos oceanos. Está-o também em termos de admiração



93



94



95

Figuras 93 a 95 – Os recifes de coral, que representam apenas 0,1% da superfície do planeta, albergam, porém, cerca de 34 % do total das espécies descritas. A par das florestas tropicais, e apesar de representarem apenas 6 % da área ocupada por estas, os recifes de coral são considerados um dos grandes reservatórios da biodiversidade do planeta. As formas de vida são aí das mais exuberantes e coloridas (Reeko-Kudla, 1977).

e expressão estética e espiritual. Há trinta anos, Konrad Lorenz deixou para a posteridade imagens inspiradas na realização «de um antigo sonho de voar»: «Agitando docemente as barbatanas, aqui estou eu a atravessar esta paisagem de conto de fadas que oferecem os inúmeros ilhéus de calcário coralífero, chamados Keys, que prolongam numa longa cadeia na extremidade sul da península da Florida. [...] Em parte alguma se vê uma superfície livre de rocha inanimada. Todos os interstícios [...] se encontram cheios de uma camada espessa de briozoários, de pólipos hidróides e de esponjas. [...] Num estado de imponderabilidade celeste, agradavelmente fresco mas não frio, estranho nesse mundo feérico e por isso isento de toda a preocupação terrestre, deixo-me embalar pelas doces ondas. Esqueço a minha própria identidade, todo eu sou olhos, balão cativo animado e feliz. Por todo o lado me rodeiam peixes» (Lorenz, 1966).

Hoje, os recifes de algas e corais ao largo da Florida sofrem de uma estranha doença, que afecta grande parte da fauna que deles depende.

AMEAÇAS À BIODIVERSIDADE MARINHA

A Terra, com o seu estonteante variedade de formas de vida, é ainda um planeta pouco conhecido.

EDWARD O. WILSON (1994)

Após sucessivos anos de destruição da biodiversidade terrestre, que alteraram mais de metade da superfície dos continentes, as populações humanas e o crescimento e desenvolvimento dos centros urbanos, a modernização dos sistemas de produção agrícola e os desenvolvimentos tecnológicos nas mais diversas áreas criaram pressões terríveis sobre os oceanos. Essas pressões ameaçam a vida ali existente.

Nos últimos setenta anos, os pântanos da Florida (*Everglades*) viram-se reduzidos de um milhão de

hectares para metade, para darem espaço a cerca de um milhão de pessoas e a 200 hectares de plantações de açúcar. Estas modificações arrastaram consigo uma complexa reestruturação da bacia hidrográfica local e dos valores de salinidade e de nutrientes. Parcialmente responsável por este último foi a utilização de fertilizantes nas plantações de açúcar. Os efeitos negativos no ecossistema do pântano não se fizeram esperar. Mas, infelizmente, não «adormeceram» por aí. Há fortes suspeitas de que a morte maciça dos tecidos vivos do único recife de coral vivo da costa da América do Norte, e que deixa apenas intacto o esqueleto de calcário branco do coral, seja um efeito secundário das mudanças das condições surgidas na baía da Florida (Iannota, 1996).

Num outro domínio dos oceanos, o das grandes profundidades, onde a exploração directa dos recursos vivos é ainda pouco significativa, suspeita-se que a biodiversidade possa ter sido afectada pela exploração dos grandes cetáceos. «As vastas reduções nas populações de baleias devida à caça humana podem ter alterado a biodiversidade do oceano profundo, ao redistribuírem e diminuir um importante fonte de matéria orgânica e os pontos de passagem de comunidades vivas quimiossintéticas associadas às fontes hidrotermais e a outras regiões de grande produtividade orgânica» (Buttman, Carlton e Palumbi, 1995).

A BIODIVERSIDADE MARINHA EM RISCO

Qualquer idiota se apercebe de que já não há peixe por aí.

ANTHONY C. VAUGHN (1995)

Os ecossistemas marinhos que mais sofrem são os localizados em zonas costeiras, em especial os que confinam com centros urbanos. Aproximadamente metade das costas dos continentes estão ameaçadas pelo desenvolvimento.

Em alguns continentes, o percentagem de costa degradado é vastamente superior. Na Europa, considera-se que 86 % do perímetro costeiro estão em risco (de moderado a elevado). Em risco estão também os *habitats* e as espécies associados. No Ásia, a percentagem de costa degradada é de 69 % (WRI, 1996).

Todavia, para agravar este panorama, não bastando já a degradação acentuada e acelerada das regiões costeiras, estão também ameaçados cerca de 75 % das áreas marinhas protegidas existentes (WRI, 1996). Na Europa, essa percentagem afecta todas as áreas consideradas, das quais em apenas 13 % o risco é baixo (WRI, 1996).

Está previsto que, «por volta do ano 2000, aproximadamente um quinto da população mundial (cerca de 1000 milhões de pessoas) estará a viver em cidades costeiras; treze das quinze megacidades (com dez ou mais milhões de habitantes) estarão localizados em regiões costeiras marinhas, exigindo mais, consumindo mais. Inevitavelmente, a Terra terá mais bocas para alimentar, e o mar menos com que alimentá-las» (Benchley e Gradwohl, 1995).

A par da ocupação-destruição dos *habitats* e da poluição, uma das outros grandes ameaças à biodiversidade marinha é a sobreexploração dos recursos. As pescas marinhas são um suporte vital da alimentação mundial. Os animais (e plantas) marinhas são dos poucos recursos selvagens explorados em larga escala. Cerca 1000 milhões de pessoas o nível mundial depende do pescado como fonte principal de proteínas. Segundo números recentes, o pescado constitui 16 % do fornecimento mundial de proteínas para consumo humano (WRI, 1996).

«As actividades piscatórias são especialmente ubíquas nos *habitats* marinhas, afectando directamente cada *habitat*. [...] Mesmo com as práticas de gestão actualmente em curso, as pescas têm elevados impactos nos ambientes oceânicos, que vão desde a pesca direccionado aos *by-catch*,

passando pela destruição dos *habitats* e pelos mudanças genéticos nas cadeias alimentares» (CBDMS, 1995).

As pescas reduziram numerosas populações de peixes a níveis muito baixos. As afectadas distribuem-se pelos mais diversos ecossistemas marinhas: peixes das plataformas continentais como os halibutes e os bacalhaus; peixes dos montes submarinos como algumas espécies de peixe vermelho, incluindo o olho-de-vidro; e peixes de vasta distribuição pelágica como o espadarte, a albacora e o rabalo. Os casos do olho-de-vidro (*Hoplostethus atlanticus*) e do rabalo (*Thunnus thynnus*) são paradigmáticos.

O olho-de-vidro é uma espécie de profundidade associada aos montes submarinos. A sua exploração é relativamente recente e possível apenas em virtude dos desenvolvimentos tecnológicos em equipamentos acústicos e técnicas de arrasto. Como se sabia pouco sobre a biologia e o crescimento da espécie, os parâmetros que serviram para definir os níveis de exploração sustentável foram baseados nos dados referentes a outras espécies mais conhecidas. O olho-de-vidro era, contudo, uma espécie com um ciclo vital muito diferente, já que só atinge a maturidade cerca dos 25 anos de idade e o tamanho comercial ideal por volta dos 100 anos. Os cientistas neozelandeses que definiram os valores para uma exploração sustentável da espécie sobrecalcularam-nos em cerca de mais 600 % do que seria razoável, e o *stock* foi dizimado.

Quanto ao rabalo, um misto de má gestão e de compromissos político-económicos levou à beira do desaparecimento uma espécie de vasta distribuição no oceano Atlântico (Safina, 1993). As pescas têm também contribuído largamente para a desestabilização e o empobrecimento de ecossistemas e comunidades marinhas (Safina, 1995).

Entre 1950 e 1989, o volume das pescas marinhas quintuplicou a nível mundial, tendo passado de

18 milhões de toneladas para 86 milhões de toneladas. Adicionalmente, calcula-se que são capturadas mais cerca de 24 milhões de toneladas em pesca local (Jeffreys, 1995). Após 1989, as pescarias estagnaram ou decaíram em quase todos os oceanos. Contrariamente ao que se passa com os outros sistemas de obtenção de proteína animal, a captura de pescado retirado directamente dos oceanos representa ainda 78 % da produção mundial de pescado. A aquacultura contribui com 15,5 % (WRI, 1996). Assim, o mar fornece ainda oito de cada dez «peixes» consumidos.

O pescado rejeitado representa um quarto do pescado aproveitado, não se destinando cerca de 30 % da captura mundial directamente à alimentação. Além disso, muitas das artes de pesca perdidas, como as redes, continuam a matar em silêncio no profundo do oceano invisível.



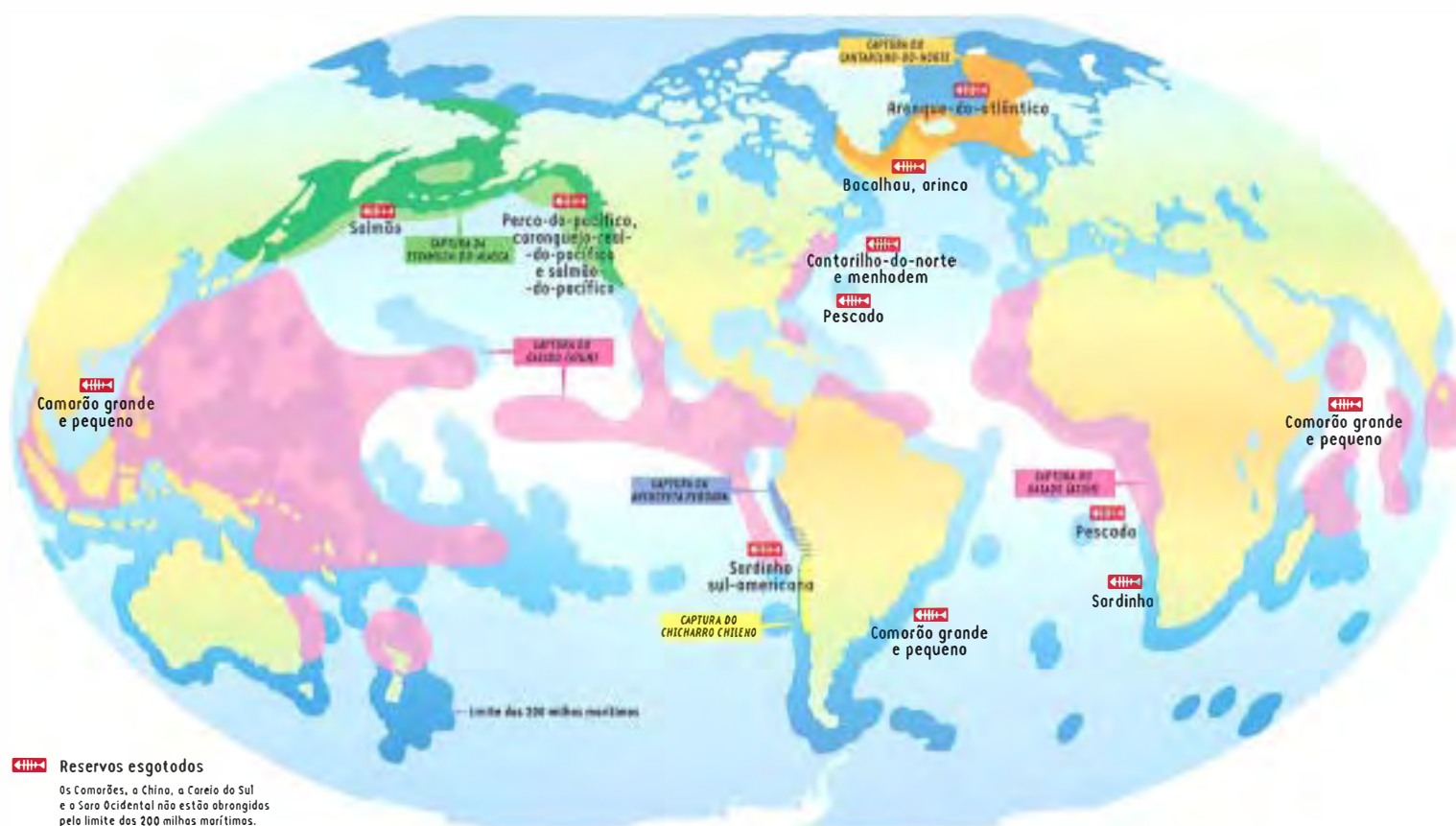
Figuras 96 e 97 –
O desenvolvimento tecnológico utilizado pelos grandes arrastos esvaziou o potencial pesqueiro em muitas regiões do globo. Foi o caso da *Georges Bank* onde, em 1985, os arrastos já quase só traziam poro bordo roios, e não o outrora abundante bacalhau, objectivo principal das pescarias.

Em algumas regiões dos oceanos, as pescas reduziram os *stocks* a 50 % do seu valor máximo. «Mais perturbador ainda, alguns dos grandes pesqueiros mundiais, incluindo os *Great Banks* e o *Georges Bank* da costa leste da América do Norte, encontram-se hoje praticamente encerrados na sequência do seu colapso – a fauna outrora dominante está actualmente reduzida a uma pequena fracção da sua abundância anterior e considera-se comercialmente extinta» (Safina, 1995).

Especialistas mundiais em ciências pesqueiras advertem para o facto de estarmos a condenar alguns dos mais ricos santuários da biodiversidade marinha, reconhecendo que, «contrariamente a alguns ecossistemas terrestres, como as florestas tropicais, das quais ainda existem extensas zonas não afectadas [...], o grosso das plataformas pesqueiras mundiais sofreu forte impacto da actividade pesqueira, restando muito poucos santuários, em que as biomassas e a biodiversidade ainda se mantêm elevadas» (Pauly e Christensen, 1995).

A sobrepesca é também responsável por mudanças genéticas em diversas espécies. A idade da primeira maturação nas fêmeas de algumas espécies de peixes comerciais está antecipada em relação aos valores de há alguns anos. No espadarte (*Xiphias gladius*), o tamanho médio das fêmeas reprodutoras é metade do tamanho médio das fêmeas das mesmas populações de há vinte anos. No dizer de Suzanne Iudicello, obrigámos «os bebés a terem bebés» (Iudicello, 1996).

Como adverte o Comité para a Biodiversidade nos Ecossistemas Marinhos (Committee on Biological Diversity in Marine Systems), o «desafio é implementar um ponto de vista equilibrado que incorpore considerações ecológicas e necessidades sociais e permita uma utilização sustentável a longo prazo dos organismos marinhos para a alimentação e produtos afins» (CBDMS, 1995).



O FUTURO DA BIODIVERSIDADE MARINHA

O processo em curso [...] que levará milhões de anos a corrigir é a perda da diversidade genética e de espécies pela destruição dos *habitats* naturais. Isto é o loucura que os nossos descendentes estarão menos dispostos a perdoar-nos.

EDWARD O. WILSON (1980)

A biodiversidade marinha é um dos grandes legados da Humanidade. Deverão ser feitos todos os esforços ao nosso alcance para transmitirmos às gerações futuras um oceano saudável e sustentável. Cada geração e cada homem terão de assumir que

são apenas um depositário a quem foi delegado o usufruto de passagem pelos oceanos.

A conservação da biodiversidade dos oceanos é de importância vital para a Humanidade. Nela estão depositados recursos inestimáveis que passam pela alimentação, pelo combate às doenças (Scheuer, 1990), pelo bem-estar físico e espiritual resultante do usufruto da natureza.

Muitas das estratégias de conservação implementadas pelas convenções e tratados internacionais aplicam-se a espécies individuais. Isso não basta para proteger a biodiversidade nos oceanos. Os tratados têm de ser mais globalizantes, de modo a protegerem ecossistemas e áreas vitais para as espécies. Têm de ser implementadas as

98

Figura 98 – A ruptura dos stocks pesqueiros é hoje um problema que atinge todos os oceanos. As espécies e áreas afectadas vão muito além das zonas económicas exclusivas dos países, tendo-se transformado num problema global dos oceanos. A maior responsabilidade recai na utilização de frota de navios capazes de operar com alta tecnologia em todos os oceanos com artes extremamente devastadoras. Como resultado, os stocks de pescado sofreram reduções dramáticas, sendo em alguns casos considerados comercialmente extintos. Esta situação deverá conduzir a uma retrocção das frota pesqueiros.

medidos adequados à protecção global dos oceanos. As fontes de poluição e risco para os ecossistemas situam-se, por vezes, longe dos locais afectados. Cada nação e cada pessoa têm de ser educadas e responsabilizadas para além dos limites das suas «redondezas». O conceito de *Mare liberum* tem de ser revisto; as pescas e outras actividades em alto-mar, ou seja, fora das chamadas zonas económicas exclusivas, precisam de ser estritamente regulamentadas, bem como reforçados os meios de monitorização e responsabilização.

A redução do esforço de pesca e a regulamentação estrita dos métodos e dos artes podem ser feitas sem prejuízos de maior para o emprego, se houver um apoio mais activo às pescas tradicionais menos destrutivas.

Transmitir às gerações futuras o legado da biodiversidade é uma responsabilidade que compete a cada um de nós, mas que exige dos governos nacionais e regionais uma responsabilidade adicional, um esforço na educação e formação dos seus cidadãos e a implementação de soluções criativas, inspiradas em artes e métodos mais tradicionais, alternativas à pilhagem e à contaminação dos oceanos.

BIBLIOGRAFIA

BENCHLEY, Peter, e GRADWOHL, Judith (eds.), *Ocean Planet*, Washington D. C., Smithsonian Institution, 1995, 192 pp.

BRYANT, Dirk, et al., *Coastlines at Risk: An Index of Potential Development-Related Threats to Coastal Ecosystems*, Washington D. C., World Resources Institute, 1995, p. 7.

BUTTMAN, Cheryl A., CARLTON, James T., e PALUMBI, Stephen R., «Whaling effects on deep-sea biodiversity», in *Conservation Biology*, 1995, vol. 9, nº 2, pp. 462-464.

CBDMS – Committee on Biological Diversity in Marine Systems, *Understanding Marine Biodiversity: A Research Agenda for the Nation*, Washington D. C., National Academy Press, 1995, XXII + 114 pp.

DEBELIUS, Helmut, «Mourning for napoleon», in *Ocean Realm*, Outono de 1996, pp. 26-31.

EARLE, Sylvia, «Introduction», in Thorne-Miller, Boyce e John Catena (eds.), *The Living Ocean: Understanding and Protecting Marine Biodiversity*, Washington D. C., Island Press, 1991; «Oceans. The Well of Life», *Time*, 28 de Outubro de 1996, p. 56.

GIBBS Jr., Robert H., 1986. «The stomioid fish genus *Eustomias* and the oceanic species concept», in A. C. Pierrot-Bults, S. van der Spoel, B. J. Zahuranec e R. K. Johnson (eds.), *Pelagic Biogeography*, UNESCO Technical Papers in Marine Science, nº 49 (Amesterdão), 1986, pp. 98-103.

HALLOCK, Pamela, MÜLLER-KARGER, Frank E., e HALAS, John C., «Coral reef decline», in *National Geographic Research & Exploration*, 1993, vol. 9, nº 3, pp. 358-378.

IANNOTTA, Ben, «Mystery of the Everglades», in *New Scientist*, 1996, nº 152, pp. 35-37.

IUDICELLO, Suzanne, «Protecting global marine biodiversity», in William J. Snape III (ed.), *Biodiversity and the Law*, Washington D. C., Island Press, 1996, XXVII + 259 pp.

JEFFREYS, Kent, «Rescuing the oceans», in Ronald Bailey (ed.), *The True State of the Planet*, The Free Press, Nova Iorque, 1995.

LORENZ, Konrad, *Das Sogenannte Böse- Zur Naturgeschichte der Aggression*, Shoeler Verlag, Viena,

- 1966 [A Agressão: Uma História Natural do Mal, tradução portuguesa publicada por Moraes Editores, Lisboa, 1973].
- MAY, Robert M., 1992. «Bottoms up for the oceans», in *Nature*, Londres, 1992, n° 357, pp. 278-279.
- MICHEL, J., «The Exxon Valdez oil spill: status of the shoreline», in *Geotimes*, 1990, vol. 35, n° 5, pp. 20-22.
- NORSE, E. A. (ed.), *Global Marine Biological Diversity*, Washington D. C., Island Press, 1993.
- PAULY, D., e CHRISTENSEN, V., «Primary production required to sustain global fisheries», in *Nature*, Londres, 1995, n° 374, pp. 255-257.
- RAY, G. Carlton, «Ecological diversity in coastal zones and oceans», in E. O. Wilson (ed.), *Biodiversity*, Washington D. C., National Academy Press, 1988.
- REAKA-KUDLA, Marjorie L., «The global biodiversity of coral reefs: a comparison with rain forests», in Marjorie L. Reaka-Kudla, Don E. Wilson e Edward O. Wilson (eds.), *Biodiversity II – Understanding and Protecting Our Original Resources*, Washington D. C., Joseph Henry Press, 1977.
- SAFINA, Carl, «Bluefin tuna in the West Atlantic: negligent management and the making of an endangered species», in *Conservation Biology*, 1993, vol. 7, n° 2, pp. 229-233.
- «The World's imperiled fish», in *Scientific American*, 1995, n° 273, cap. 5, pp. 30-37.
- SCHUEER, Paul J., «Some marine ecological phenomena: chemical basis and biomedical potential», in *Science*, 1990, n° 248, pp. 173-177.
- SHEPPARD, C., e PRICE, A., «Will marine life survive the Gulf War?», in *New Scientist*, 1991, pp. 36-40.
- SIMONS, M., «Virus linked pollution is killing hundreds of dolphins in the Mediterranean», in *The New York Times*, 28 de Outubro de 1990.
- SPENCE, S. K., HAWKINS, S. J., e SANTOS, R. S., «The mollusc *Thais haemastoma* – an exhibitor of *imposex* and potential biological indicator of tributyltin pollution», in *Marine Ecology*, 1990, n° 11, pp. 147--156.
- THOMPSON, P. M., e HALL, A. J., «Seals and epizootics, what factors affect the severity of mass mortalities?», in *Mammal Review*, 1993, vol. 23, n° 3-4, pp. 149-154.
- THORNE-MILLER, Boyce, e CATENA, John, *The Living Ocean: Understanding and Protecting Marine Biodiversity*, Washington D. C., Island Press, 1991, XVI pp + 180 pp.
- VAUGHN, Anthony C., citado por Carl Safina em «The World's imperiled fish», in *Scientific American*, 1995, vol. 273, n° 5, pp. 30-37.
- WILSON, Edward O., *Naturalist*, Washington D. C., Island Press, 1994, XXII + 380 pp.
- The Diversity of Life*, Londres, Penguin Books, 1992, 406 pp.
- «Resolutions for the 80's», in *Harvard Magazine*, Janeiro-Fevereiro de 1980, pp. 22-26.
- WRI (World Resources Institute), *A Guide to the Global Environment (1996-1997)*, Washington DC, Oxford University Press, 1996.



INTERACÇÃO OCEANO-ATMOSFERA

ISABEL AMBAR *

1. INTRODUÇÃO



o oceano e a atmosfera são dois grandes sistemas fluidos que fazem parte integrante do nosso planeta, recebendo ambos energia proveniente do Sol e estando ambos sujeitos ao mesmo tipo de forças – a força da gravidade, a força associada ao movimento de rotação da Terra, as forças provenientes dos gradientes de pressão e as forças de atrito. Mas não podemos compreender bem o comportamento de qualquer desses sistemas examinando-o isoladamente, pois a sua interacção através da fronteira comum – a superfície do mar – constitui um factor dinâmico fundamental para o comportamento de cada um deles. A interface ar-mar ocupa cerca de 70 % da superfície do globo e é através dela que se dão as trocas de energia e de quantidade de movimento que geram as ondas do mar ou as correntes na camada superior do oceano. É nessa mesma interface que se dá a evaporação da água do mar e a consequente libertação de calor latente do oceano para a atmosfera, que alimenta grande parte da circulação deste sistema. É ainda através da superfície do mar que se dão as transferências de componentes químicos, nomeadamente de gases da atmosfera para o oceano (por exemplo, oxigénio e anidrido carbónico) ou de sais do oceano para a atmosfera.

Vamos aqui apresentar alguns aspectos fundamentais da interacção oceano-atmosfera

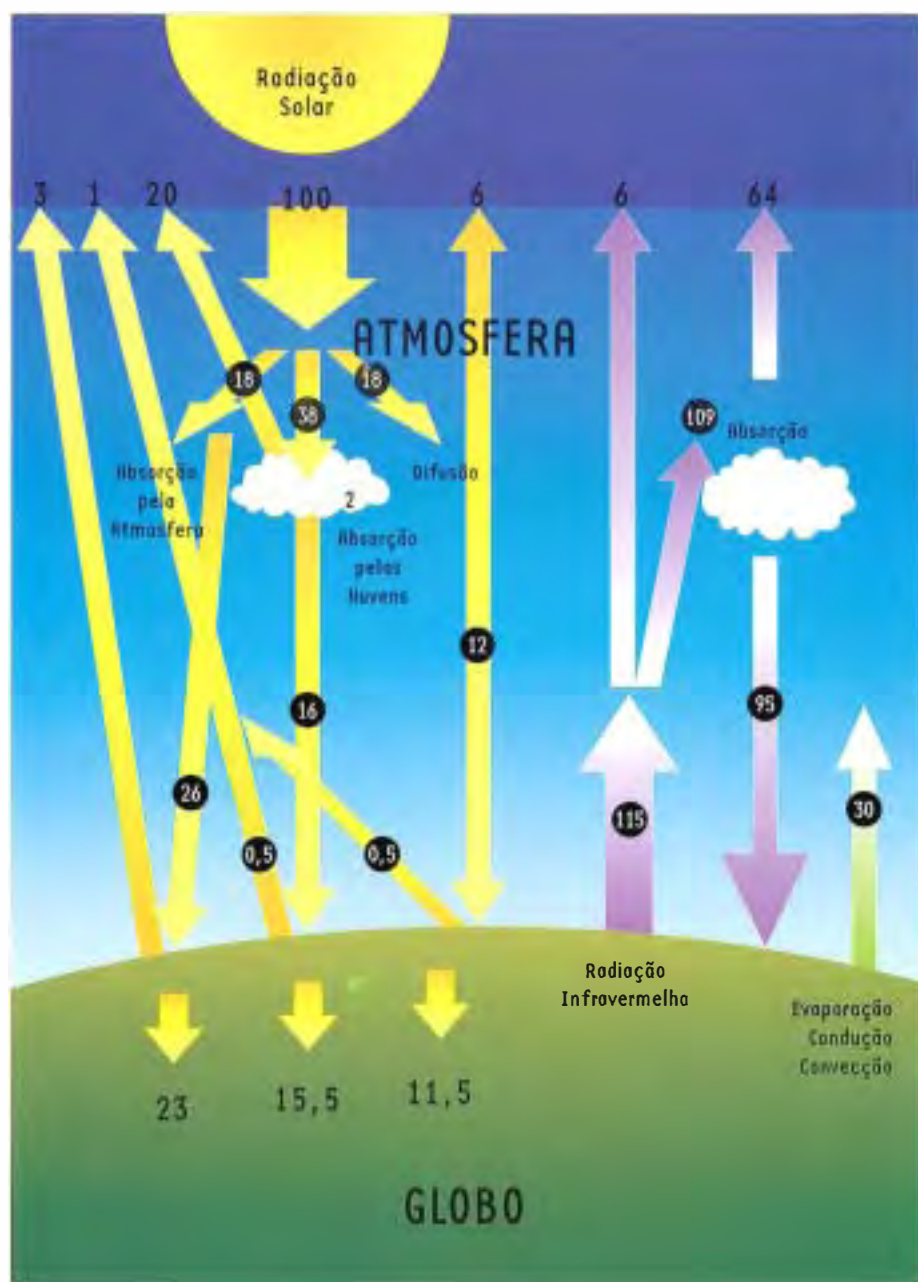
com o objectivo de ajudar a compreender a circulação geral na camada superior dos oceanos, a geração de ondas nessa superfície e fenómenos como os do *El Niño* ou do afloramento costeiro (*upwelling*).

2. TROCAS DE ENERGIA NO SISTEMA OCEANO-ATMOSFERA

TROCAS DE ENERGIA ENTRE O GLOBO E A ATMOSFERA

A Terra é um macrossistema formado pelo globo (parte sólida da Terra, a hidrosfera – isto é, os oceanos, os mares, os lagos e os rios –, a criosfera e a biosfera) e pela atmosfera. Ela está permanentemente a receber energia radiativa proveniente do Sol e, como a temperatura deste sistema global se mantém praticamente constante ao longo de períodos maiores do que um ano, isto indica que, em média, deverá haver um fluxo de energia perdido para o espaço exterior com valor idêntico ao fluxo recebido. A *radiação solar* abrange uma grande gama de comprimentos de onda, mas o máximo da energia corresponde ao *domínio do visível* (isto é, dos «pequenos» comprimentos de onda: 0,4-0,8 mm, sendo 1 mm = 10^{-6} m). O fluxo de energia (isto é, a energia que atravessa perpendicularmente a unidade de área por unidade de tempo) proveniente do Sol que incide no topo da atmosfera denomina-se *constante solar* e corresponde a cerca de 1,38 kW/m². A figura 100 mostra, do lado esquerdo, a distribuição média dessa energia, considerando a quantidade de energia solar que

* Directora do Instituto de Oceanografia



100

Figura 100 – Esquema da repartição dos componentes médios anuais (isto é, por um período de um ano) globais do balanço de energia térmico do sistema globo + atmosfera. No lado esquerdo representa-se a distribuição de energia solar recebida pelo globo e, no lado direito, a distribuição da energia «perdida» pelo globo sob diversos formas. Note-se que os valores numéricos estão dados em termos de percentagens relativos à quantidade de energia solar que incide no topo da atmosfera.

chega ao topo da atmosfera equivalente a um valor de 100 unidades, e todos os outros valores correspondendo a fracções desta quantidade. Essencialmente, vemos que uma parte da

energia solar é absorvida pela atmosfera (18 %) e pelas nuvens (2 %), sendo outra parte reenviada para o espaço exterior por retrodifusão (6 %) e reflexão nas nuvens (20 %), pelo que o que chega ao globo é apenas 54 % do que é recebido no topo da atmosfera (26 % directamente e 28 % por difusão na atmosfera e nas nuvens). Nem toda a energia recebida na superfície do globo vai penetrar nela – 4 % é reflectida (3 % da radiação solar directa e 1 % da radiação solar difusa) –, restando 50 % que são absorvidos; no caso do oceano, há ainda uma pequena fracção desta energia que é «devolvida» por efeito da retrodifusão na água das camadas superiores. Todavia, como já se referiu, em termos médios e à escala global, a energia recebida pelo globo terá de ser compensada pela energia que este perde. E, de facto, o globo perde energia ao emitir constantemente radiação electromagnética, como acontece com qualquer corpo que esteja a uma temperatura superior ao zero absoluto. O comprimento de onda a que se dá o máximo da emissão por parte de qualquer corpo nestas condições é inversamente proporcional à temperatura a que está o corpo; no caso do globo terrestre ou da atmosfera, esse comprimento de onda está na *banda dos infravermelhos* (radiação de «grandes» comprimentos de onda: 4-100 mm). A quantidade de energia perdida deste modo pelo globo corresponde a 115 unidades (ou seja, a 115 % da quantidade de radiação solar recebida no topo da atmosfera), mas ele também recebe radiação infravermelha emitida pela própria atmosfera (devido principalmente à emissão pelo vapor de água e pela água líquida e gelo presentes nas nuvens) em quantidades correspondentes a 95 unidades (ver o lado direito da figura 100), o que resulta num saldo negativo (ou seja, perda), por parte do globo,

de 20 unidades. Ainda temos de considerar as perdas de calor do globo para a atmosfera associadas à *evaporação* (a qual, como é de esperar, é muito mais importante sobre os oceanos do que sobre terra firme) e aos fenómenos de *condução e convecção*, o que perfaz um total de 30 unidades.

Resumindo: em média, o globo recebe energia electromagnética de pequenos comprimentos de onda, correspondente a 50 % da quantidade de radiação solar que chega ao topo da atmosfera (principalmente na banda do visível) e perde 50% dessa mesma quantidade, mas sob a forma de energia electromagnética de grandes comprimentos de onda (infravermelhos) e de outras formas de energia (principalmente sob a forma de calor latente de evaporação).

BALANÇO DE ENERGIA ENTRE O EQUADOR E OS PÓLOS:
TRANSPORTE MERIDIONAL RESULTANTE

Em vez de tomarmos o globo na sua totalidade, consideremos agora o que se passa em cada faixa de latitudes, do equador aos pólos, no que diz respeito à resultante dos valores médios anuais da radiação solar, da radiação emitida pelo globo e das perdas de calor devidas à evaporação e às diferenças de temperatura entre o globo e a atmosfera. Essa resultante mostra haver um *saldo positivo* (ganho) de energia entre o equador e cerca de 40° de latitude (Norte e Sul) e um *saldo negativo* (perda) nas latitudes superiores, conforme se ilustra na figura 101. Como a temperatura média anual daquelas regiões se mantém praticamente constante, é evidente que terá de haver um processo de redistribuição da energia entre as diferentes latitudes, transportando o excesso recebido nas latitudes baixas em direcção às regiões polares:

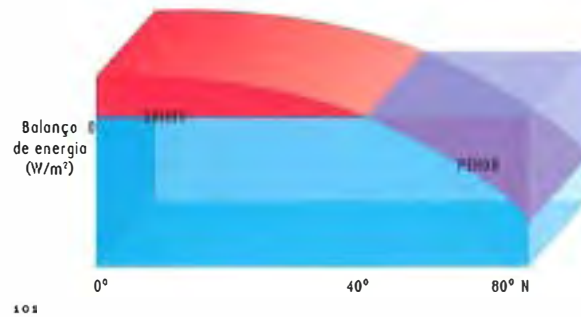


Figura 101 – Balanço de energia poro o sistema globo + atmosfera (o vermelho: ganho de energia; o azul: perda de energia).

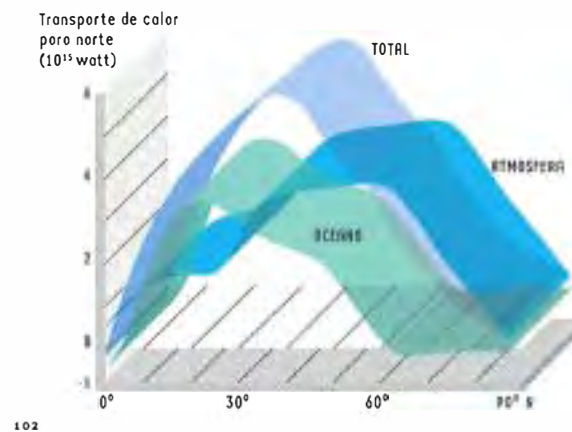


Figura 102 – Estimativos das contribuições para o transporte de calor poro os pólos por porte do oceano (curva o verde) e por porte da atmosfera (curva a azul). A curva o azul claro corresponde à soma destas duas contribuições. (Adoptado de Open University Course Team, 1989.)

esse *transporte* é assegurado pela circulação no atmosfera e nos oceanos (figura 102).

MOVIMENTOS GERADOS PELA DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA NO GLOBO

Como vimos, o balanço de energia do globo é diferente de latitude para latitude. A cada latitude, o aquecimento ou arrefecimento provocado por esse balanço também é diferente, conforme se trate de massas continentais ou oceânicas, pois, para a mesma quantidade de energia recebida por unidade de massa, a temperatura da água varia muito menos do que a dos materiais que constituem os continentes, além de que a porção de água envolvida nesses processos excede largamente a dos materiais sólidos em terra firme. Isto vai, então, resultar em aquecimentos ou arrefecimentos diferenciais (isto é, variáveis de local para

local), tanto no interior da atmosfera como do oceano, provocando diferenças de densidade, que, por sua vez, geram movimentos nesses dois fluidos. Por seu turno, parte do movimento da baixa atmosfera (o vento à superfície) será transferido para o mar, gerando ondas (ponto 3.1) e dando origem à circulação dos oceanos induzida pelo vento (ponto 3.3).

DISTRIBUIÇÃO DA TEMPERATURA NO OCEANO

Atentemos agora melhor no modo como a repartição global da energia afecta a distribuição da temperatura à superfície do oceano. Essa distribuição leva a que haja valores mais elevados nas regiões equatoriais e valores decrescentes à medida que a latitude aumenta. É claro que há desvios relativamente a uma distribuição muito regular de latitude para latitude devido a várias causas, de entre as quais se destacam os efeitos do transporte pela

própria circulação oceânica. Em relação à distribuição da temperatura em profundidade, podemos considerar o oceano subdividido em três camadas (figura 103):

– *camada superior*, sujeita directamente aos resultados da interacção com a atmosfera: no Verão esta camada está estratificada em resultado do acentuado ganho sazonal de energia por parte do oceano, apresentando uma *termoclina* (isto é, uma camada de água em que a temperatura decresce com a profundidade) e no Inverno fica bem misturada pela acção dos ventos fortes;

– *camada intermédia*, em que a temperatura decresce acentuadamente com a profundidade e que se mantém praticamente invariável ao longo do ano, correspondendo, por isso, à chamada *termoclina permanente*;

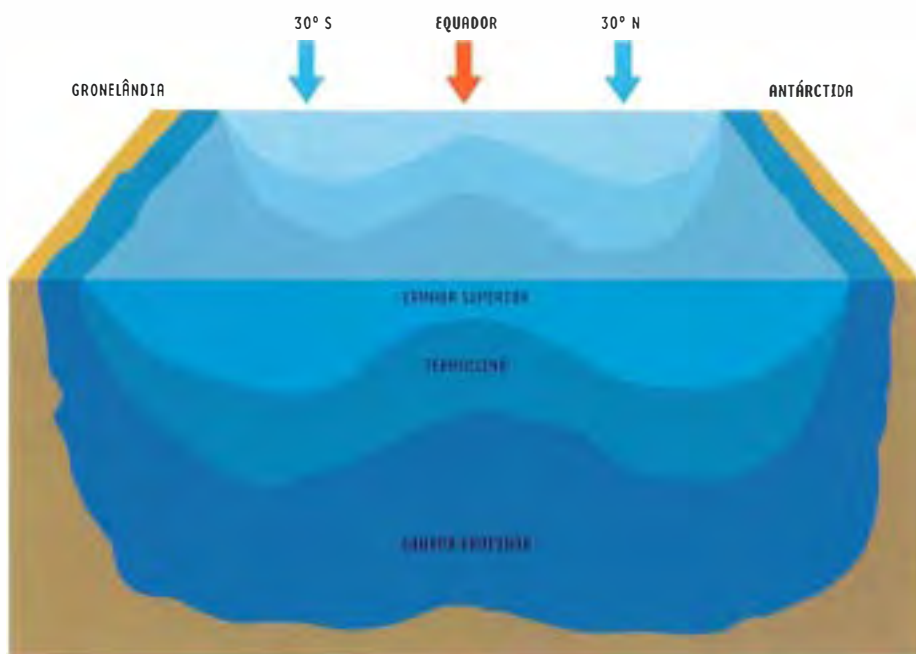
– *camada profunda*, em que a temperatura é muito baixa e tem uma distribuição praticamente homogénea.

3. EXEMPLOS DA ACÇÃO DA ATMOSFERA SOBRE O OCEANO

3.1. ESCALAS DA ORDEM DE METROS – AS ONDAS DE SUPERFÍCIE

GERAÇÃO DAS ONDAS DE SUPERFÍCIE (VAGAS E ONDULAÇÃO)

A acção do vento e das flutuações da pressão atmosférica provoca uma reacção por parte da interface oceano-atmosfera sob a forma de ondas, desde as denominadas *ondas capilares*, que têm comprimentos de onda (isto é, escalas espaciais) menores do que 1,7 cm e períodos (escalas temporais) menores do que 0,1 s, até às *ondas planetárias* (assim designadas por terem escalas comparáveis com as dimensões e o período de rotação do nosso planeta) com comprimentos de onda entre centenas e milhares de quilómetros



103

Figura 103 – Esquema da distribuição em profundidade da temperatura do oceano numa secção meridional (Norte-Sul).

e períodos da ordem das centenas de dias. Aqui vamos apenas referir-nos às *ondas de superfície* que podem ser observadas por qualquer pessoa na praia ao olhar para a superfície do oceano, isto é, as vagas e a ondulação. A importância do estudo destas ondas é imensa no nosso dia-a-dia, tanto do ponto de vista da segurança da navegação e da estabilidade das obras costeiras, como da gestão do litoral e dos seus recursos (pesca, aquacultura, morfologia da costa, transporte de poluentes, etc.), como ainda das actividades de recreio (*bodyboard*, *surf*, etc.), justificando assim que lhe façamos especial referência.

A geração das ondas de superfície é um efeito da deformação da interface oceano-atmosfera provocada por flutuações da pressão atmosférica ou pela acção do vento. A amplitude inicial dessas deformações é geralmente muito pequena, mas, ulteriormente, sob o efeito continuado daquelas acções forçadoras – e se estas actuarem sobre uma área suficientemente grande da superfície do mar –, é amplificada. Uma vez geradas as ondas pelas flutuações caóticas das forças perpendiculares (pressão) ou tangenciais (tensão) exercidas sobre a superfície do mar, aquelas deformações vão, por sua vez, perturbar o próprio movimento do ar junto à superfície do mar, e com flutuações que vão acompanhar a propagação das ondas. Assim, a energia e a quantidade de movimento que as ondas de superfície transportam poderão ir aumentando, por transferência do ar para a água, resultante de processos de ressonância entre as ondas e as próprias flutuações atmosféricas que as originaram. Os períodos das ondas assim geradas dependem da intensidade dos ventos que lhes deram origem: quanto mais forte for o vento, maior será o período das ondas de maior energia que se formam (por exemplo, as ondas mais energéticas



Figura 10.4 – Esquema ilustrativo de algumas das características das ondas de superfície: altura e comprimento do ondo, direcção de propagação de onda, trajectórias descritas pelas partículas de água à passagem da onda.

geradas por um vento de 20 m/s têm períodos dominantes de cerca de 15 s; sob um vento de 10 m/s, esses períodos são de cerca de 7 s).

PROPAGAÇÃO DAS ONDAS

As oscilações da superfície do mar na região onde são geradas têm uma forma irregular e correspondem a *vagas*. Cada conjunto ou grupo (*set*) de vagas geradas tem componentes de períodos distintos que se movem com velocidades diferentes consoante o respectivo comprimento de onda (as maiores propagam-se mais depressa). A energia vai, assim, dispersar-se em todas as direcções a partir da região de geração, e a cada região afastada do local de geração das ondas vão chegar em primeiro lugar as ondas de maior velocidade (e tamanho) resultantes da separação das diferentes componentes que entretanto ocorreu. Isto explica que as ondas que observamos num dado local, mas que foram originadas em regiões longínquas – designadas por *ondulação* (*swell*) –, tenham um aspecto muito mais regular, mais «perfeito», do que as vagas geradas localmente.

A ondulação pode *transportar energia* (que é proporcional ao quadrado da sua amplitude) a grandes distâncias, da ordem dos milhares de quilómetros, mas não matéria. Em águas profundas, à passagem de uma onda, as partículas de água

movem-se em *círculos* quase fechados (figura 104) e, portanto, o mais que pode acontecer é darem origem localmente a uma corrente pouco intensa, mas que pode ter importância do ponto de vista, por exemplo, do transporte de sedimentos ou de poluentes. Quando a ondulação se aproxima de zonas pouco profundas (onde a profundidade seja menor do que um décimo ou vigésimo do comprimento da onda), como acontece quando atinge as imediações de uma praia, o efeito do fundo modifica algumas das suas características, levando, nomeadamente, à diminuição do comprimento da onda e da velocidade de propagação (que passa a depender da própria profundidade da água e deixa de variar com o comprimento da onda), mas ao aumento da altura (figura 104). As órbitas das partículas tornam-se *elípticas* em vez de circulares.

REBENTAÇÃO DAS ONDAS

A rebentação das ondas pode dar-se no mar alto ou na vizinhança do litoral. A rebentação resulta de condições de *instabilidade* das ondas. O aumento da altura da onda, resultante da aproximação a uma praia ou de um aumento de energia recebida do vento, vai criar condições de instabilidade, que se dá quando a declividade da onda (quociente entre a altura e o comprimento de onda) excede cerca de 1/12 ou mesmo um pouco antes de atingir este limite. As espumas que acompanham a rebentação (os «carneirinhos») resultam da mistura da água que é lançada ao ar por esse processo com o próprio ar e constituem um dos meios mais directos de entrada dos gases atmosféricos no oceano. Por outro lado, a rebentação liberta gotas de água salgada para o ar, que, ao serem levadas pelo vento, se evaporam dando origem a partículas de sais em suspensão na atmosfera, que vão constituir os núcleos de condensação essenciais para a formação das nuvens.

3.2. ESCALAS DA ORDEM DAS CENTENAS DE QUILOMETROS – O FENÓMENO DO AFLORAMENTO

MECANISMOS PRINCIPAIS

O fenómeno do afloramento (ou *upwelling*) consiste essencialmente na subida de águas subsuperficiais para a superfície do oceano, induzida pelo afastamento lateral das águas superficiais em resultado da acção combinada do vento e da rotação da Terra. Para percebermos este processo, temos primeiro de compreender que o vento faz deslocar as águas da superfície do oceano através de um mecanismo semelhante ao do atrito (há transferência de movimento do ar para a água através da superfície do mar). Este efeito só chega até uma dada profundidade, e a espessura desta *camada* dita «*de atrito*» (da ordem de 10-100 metros) depende da intensidade do vento e da latitude do local. Uma vez assim estabelecido, o movimento das camadas superiores do oceano vai ser desviado por uma força – *força de Coriolis* – devida ao efeito da rotação da Terra (o movimento de um corpo, se for descrito em relação à superfície da Terra, aparenta um desvio para a direita da sua direcção inicial no hemisfério Norte; no caso do hemisfério Sul, esse desvio será para a esquerda). Este efeito pode comparar-se com o que acontece quando tentamos traçar com uma caneta de feltro uma recta sobre um disco que esteja a rodar: em vez de uma recta, o que traçamos é uma curva, porque o disco está a mover-se por baixo da caneta à medida que esta se desloca.

Utilizando, por exemplo, o caso do hemisfério Norte, o efeito resultante é o seguinte: a corrente devida ao efeito conjugado do vento e do desvio pela rotação da Terra – a *corrente de deriva* – tem à superfície uma direcção a 45° para a direita do vento; com o aumento da profundidade, essa corrente vai-se atenuando e rodando progressivamente mais para a direita (figura 105 A).

TRANSPORTE INDUZIDO PELO VENTO E AFLORAMENTO ASSOCIADO

O efeito resultante da corrente de deriva na totalidade da camada de atrito corresponde a um *transporte de água* nessa camada dirigido 90° para a direita (no hemisfério Norte) da direcção do vento (figura 105 B). Se estivermos junto de uma costa e se a orientação do vento for tal que afaste as camadas superficiais do mar para o largo, só há uma maneira de este transporte lateral ser compensado: é através da subida para a superfície de água das camadas que estavam abaixo das que foram afastadas. Este *movimento ascendente* das águas próximo de uma costa designa-se por *afloramento costeiro* (muito conhecido pela designação anglo-saxónica *upwelling*). Então será de esperar a ocorrência

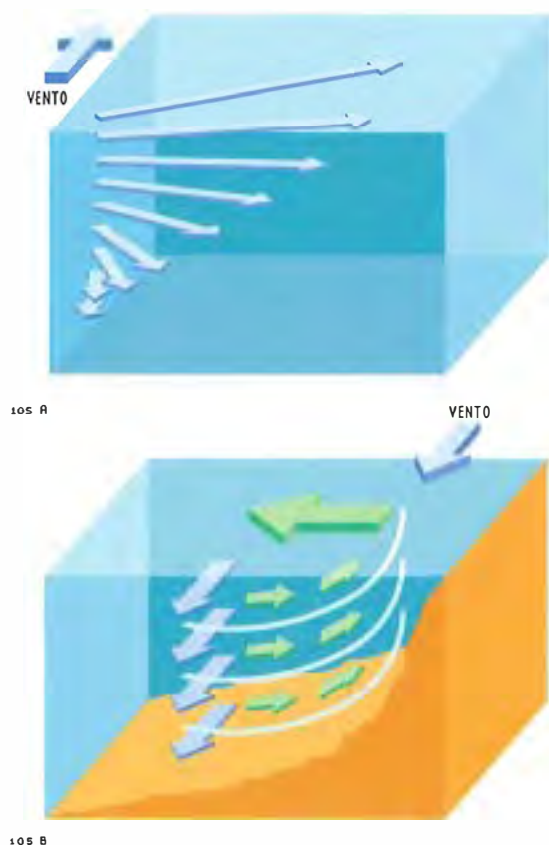
deste fenómeno ao largo das costas ocidentais dos continentes, desde que haja aí um vento dominante dirigido para o equador (vento de norte no hemisfério Norte, ou vento de Sul no hemisfério Sul). É isto, de facto, o que acontece, e um bom exemplo é o correspondente à costa ocidental de Portugal durante os meses de Verão (Julho-Setembro), em que a ocorrência de afloramento costeiro explica o facto de a temperatura do água ser tão baixa para essa época do ano.

ALGUNS DOS EFEITOS MAIS IMPORTANTES DO AFLORAMENTO

A subida das águas subsuperficiais, geralmente mais frias e com maior concentração em nutrientes (que constituem o «alimento» do fitoplâncton, ou seja, o «adubo» das pequenas plantas marinhas), resulta num *abaixamento da temperatura* da superfície do mar e num *aumento da produtividade* das águas (com as consequências que tal implica para toda a cadeia alimentar, desde o fitoplâncton até aos peixes). Do ponto de vista dinâmico, o transporte de água para o largo não é totalmente compensado pela ascensão das camadas subsuperficiais, provocando uma *inclinação da superfície do mar*. Daqui resulta um desequilíbrio entre a pressão ao largo e a pressão junto da costa (pois a pressão é maior na água do fundo em que a superfície livre está mais elevada). Esta diferença de pressão dá lugar ao aparecimento de uma corrente que é desviada pelo efeito da força de Coriolis. O equilíbrio final corresponde a uma *corrente paralela à costa* e orientada como o vento que dá origem ao afloramento. Por exemplo, no caso da costa ocidental de um continente no hemisfério Norte (como é o caso da costa ocidental portuguesa), um vento de norte (como a nortada que se faz sentir durante o Verão

Figuras 105 A e B – Alguns aspectos essenciais do afloramento costeiro no hemisfério Norte:

A – estrutura da corrente de deriva provocada pela acção do vento nas camadas superiores do oceano: a corrente à superfície está orientada a 45° para o direito da direcção do vento; a corrente diminui de intensidade e roda progressivamente para o direito à medida que a profundidade aumenta; B – diagrama representativo do afloramento induzido pelo vento: um vento soprando ao longo de uma costa situado à sua esquerda provoca, no hemisfério Norte, o afastamento da camada superior do oceano para o largo e a ascensão da água subsuperficial para a superfície; a inclinação da superfície livre devido a esse afastamento vai, por sua vez, dar origem a uma corrente ao longo da costa com o mesmo orientação do vento, que se estende desde a superfície até perto do fundo (ver o texto).



nesta costa) provoca o aparecimento de uma corrente para sul desde a superfície até próximo do fundo. Na camada superficial, ainda temos de adicionar a esta corrente, que é provocada indirectamente pela acção do vento causador do afloramento, a corrente de deriva, que é, como vimos, resultado directo do efeito do vento. De qualquer modo, o circulação costeira que prevalece neste caso é, de facto, uma corrente dirigida para o equador.

3.3. ESCALAS DA ORDEM DOS MILHARES DE QUILOMETROS – A CIRCULAÇÃO GERAL DOS OCEANOS GERADA PELO VENTO

Os movimentos horizontais de grande escala no oceano, isto é, as correntes, ocorrem tanto à superfície como em profundidade. Nas *camadas profundas* do oceano, as correntes são principalmente devidas à circulação de água que afundou a partir da superfície do mar nas latitudes polares e subpolares; este afundamento é provocado pelo arrefecimento (e consequente aumento da densidade) da água à superfície durante o Inverno nessas latitudes. Em casos mais raros, o aumento da densidade à superfície (com o consequente afundamento de águas e circulação em profundidade) também pode ser originado por um aumento da salinidade (isto é, por um aumento da concentração de sais na água do mar), devido, por exemplo, a uma forte evaporação localmente não compensado pela precipitação. Em qualquer destes casos, as circulações em profundidade têm como origem principal as perdas de calor ou de água na camada superficial, associadas a intensos processos de interacção oceano-atmosfera.

Na *camada superior* do oceano a circulação é essencialmente gerada pela acção dos ventos, o que se torna claro pela simples comparação

do padrão das principais correntes oceânicas com o padrão do vento na baixa atmosfera. Um dos aspectos da circulação à superfície dos oceanos que mais chama a atenção é a existência de correntes muito fortes do lado oeste, como, por exemplo, a corrente do Golfo, no Atlântico, e a corrente do Kuroshio, no Pacífico. Esta intensificação da circulação está relacionada com o facto de o efeito de Coriolis (associado à rotação da Terra) crescer de intensidade com o aumento da latitude (no exemplo do disco mencionado acima na secção 3.2, isto poderio ser verificado comparando os resultados de traçar uma «recta» na região periférico do disco e na sua região central).

A *corrente do Golfo* é uma das correntes mais fortes à superfície do oceano, pois chega a atingir intensidades de cerca de 100 cm/s, o que, para o oceano em geral, corresponde a dez vezes os valores típicos observados. Ao transportar água quente das regiões tropicais para as latitudes mais elevadas, esta corrente assegura uma grande parte do transporte meridional de calor de que falámos na secção 2. Em termos do transporte de água associado à corrente do Golfo, os valores vão desde 30 x 10⁶ m³/s (30 milhões de m³/s) próximo da Florida até cerca de 150 x 10⁶ m³/s ao largo da Terra Nova.

4. EXEMPLO DE UM PROCESSO DE INTERACÇÃO OCEANO-ATMOSFERA RELEVANTE PARA O CLIMA

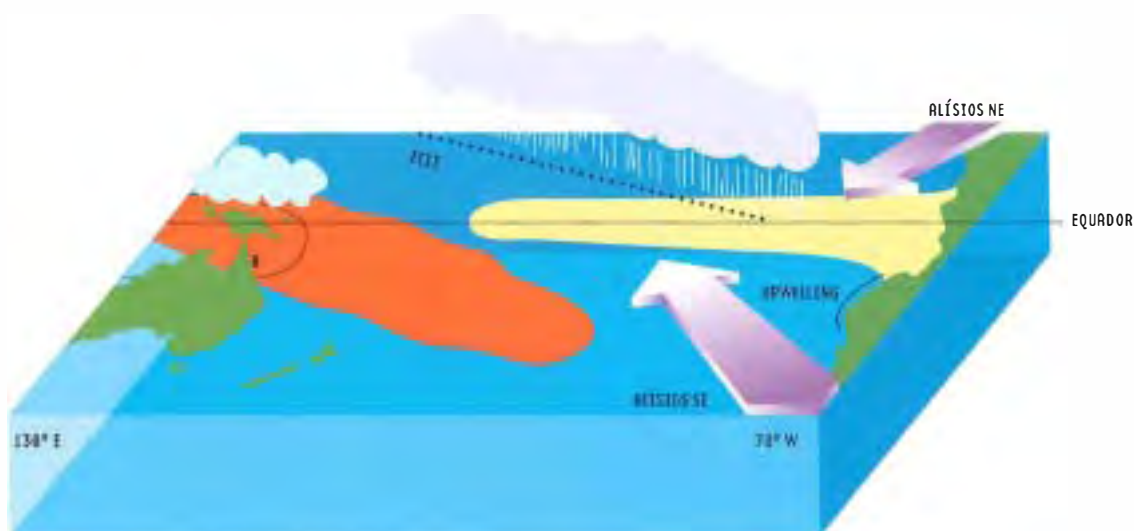
O FENÓMENO DE *El Niño*

A temperatura da superfície do oceano influencia fortemente os movimentos da atmosfera, particularmente nas regiões tropicais. É precisamente nestas regiões que tem lugar de forma mais acentuada o fenómeno denominado

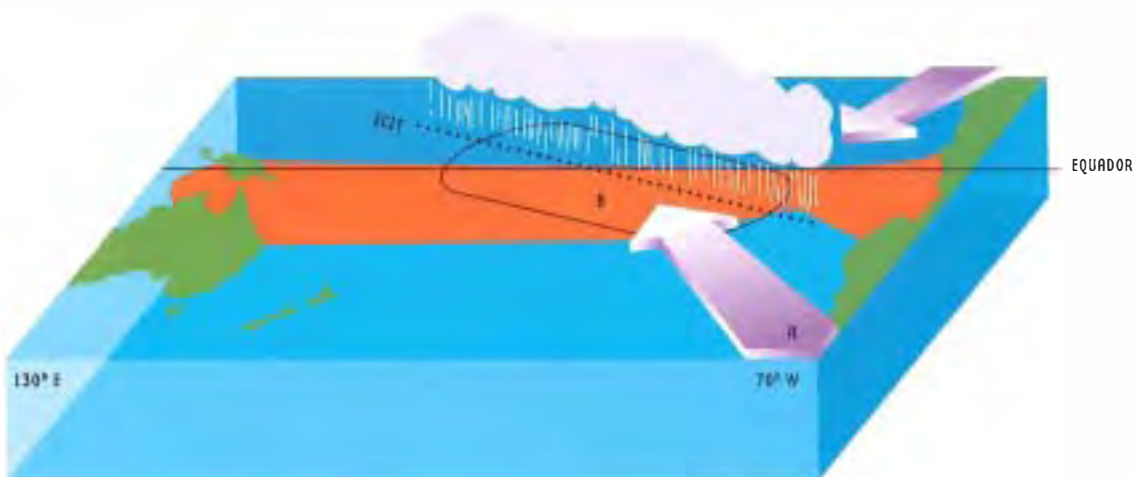
«El Niño-southern oscillation» (ENSO), que ocorre duas a três vezes por década e que constitui um dos exemplos mais claros da interacção entre o oceano e a atmosfera, estando a designação «El Niño» associada mais directamente ao oceano, e a parte «oscilação do sul» à atmosfera.

Este fenómeno é actualmente considerado o maior contribuinte para as perturbações do clima à escala global em escalas de tempo da ordem de alguns anos.

A componente «El Niño» afecta principalmente as camadas superiores do oceano



106 A



106 B

Figuras 106 A e B – Diagramas esquemáticos das condições típicas no Pacífico equatorial correspondentes a uma situação: A - normal; B - durante a ocorrência de El Niño. A letra B corresponde ao centro de baixas pressões, e a letra A ao centro de altas pressões (v. o texto). Também está indicada a zona de convergência intertropical (ZCIT). A mancha vermelha abrange as regiões de alta temperatura (superior a cerca de 28 °C) da superfície do mar, e a mancha amarela em A as regiões que são normalmente secas. (Adaptado de Open University Course Team, 1989).

Pacífico tropical, manifestando-se sob a forma de uma *invasão de água com temperaturas anormalmente elevadas* (vários décimos de grau numa escala de tempo de um ano) na região central e oriental, com um consequente *afundamento da termoclina*. Estas manifestações, directamente induzidas pelo enfraquecimento do sistema de ventos alísios que sopram naquela região, são acompanhadas de grandes anomalias na precipitação no Pacífico tropical (por exemplo, cheias no Chile, secas na Austrália). O nome *El Niño* provém do facto de este fenómeno ter um forte impacto na costa da América do Sul onde ocorre (quando ocorre...) por alturas do Natal (*El Niño* refere-se ao Menino Jesus).

A componente «*oscilação do Sul*» afecta praticamente a globalidade da atmosfera tropical e manifesta-se sob o formo de flutuações na diferença de pressão atmosférica entre dois centros localizados na região tropical, respectivamente no Pacífico Oriental, e no Pacífico Ocidental e Índico oriental (a bem dizer, a designação «*oscilação do Sul*» não está muito correcto, pois elo é mesmo «equatorial»).

O que mostro que o ENSO é realmente um bom exemplo de interacção oceano-atmosfera é o facto de, o componente induzir *El Niño* enfraquecimento dos ventos alísios através de um fenómeno de realimentação, apesar de ser induzida por esse mesmo enfraquecimento. Isto deve-se à circunstância de o aumento da temperatura da superfície do mar numa área tão vasta como é o Pacífico equatorial ir modificar a distribuição dos locais onde a atmosfera vai receber calor latente proveniente da evaporação do oceano ou onde o vai perder por precipitação. Mas esta distribuição está, por sua vez, directamente ligada aos próprios mecanismos de geração dos ventos alísios, pelo que qualquer modificação naquela irá afectar o regime destes.

A COMPONENTE ATMOSFÉRICA DO ENSO

Em condições que designaremos por «normais» (isto é, quando não ocorre o fenómeno de *El Niño*), existe um *centro de baixas pressões* na atmosfera (figura 106 A) no lodo noroeste do Pacífico tropical (depressão da Indonésia) e um *centro de altas pressões* (anticiclone do Pacífico Sul) no lodo sudeste. A circulação atmosférica associada a esta diferença de pressões entre os dois lodos do Pacífico tropical corresponde a uma célula no plano vertical em que o ar se move poro oeste, a partir do centro de altas pressões, sobre a superfície do mar (ventos alísios de sueste), enquanto vai enriquecendo em humidade, até atingir a depressão do lado ocidental; por outro lodo, há movimentos ascendentes, associados à depressão, que transportam o ar (húmido) para níveis superiores da atmosfera onde ele arrefece, provocando a condensação do vapor de água (isto é, dá-se a transição da fase gasosa para a fase líquida) com o consequente formação de nuvens e forte precipitação. O retorno do ar poro leste, já liberto de grande parte da sua humidade, faz-se em altitude até atingir a região do anticiclone do Pacífico Sul onde os movimentos descendentes o ele associados o levam de novo para a camada junto da superfície do mar, completando-se esta célula de circulação zonal (ao longo de um paralelo), designado por *célula de Walker*. Para além desta célula zonal na região do equador, a atmosfera também apresenta uma célula de circulação meridional (ao longo de um meridiano) – *célula de Hadley* – em que há um subido de ar (com os consequentes arrefecimento e ocorrência de precipitação) na zona de convergência dos ventos alísios de sueste com os ventos alísios de noroeste – o *zona de convergência intertropical* (ZCIT, v. figuras 106 A e B).

Durante o *fenómeno de El Niño*, o aquecimento da superfície do mar na região oriental vai *enfraquecer* o circulação da célula de Walker (a depressão da Indonésia enfraquece, e o anticiclone do Pacífico Sul também) e vai deslocar para leste o respectivo ramo ascendente (figura 106 B), assim como a zona de forte precipitação que lhe está associada; além disso, vai enfraquecer a circulação superficial dos ventos alísios de sueste. Simultaneamente, também se dá um deslocamento da ZCIT para sul, o que leva a um forte aumento da precipitação nas regiões da costa ocidental da América do Sul. A denominação de «oscilação do Sul» refere-se à oscilação na diferença de pressões atmosféricas (entre os lados oriental e ocidental do Pacífico tropical) associada à alternância das situações «normais» com as de ocorrência de *El Niño*.

COMPONENTE OCEÂNICA DO ENSO

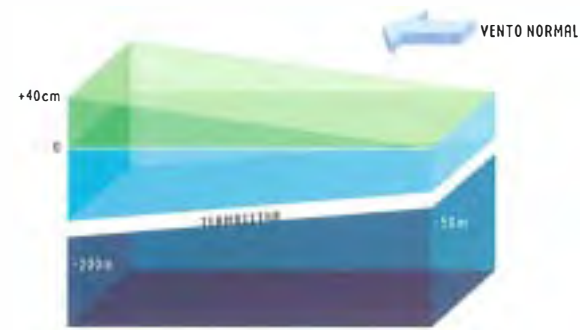
Vejamos agora um pouco melhor o que se passa no oceano em profundidade, na região equatorial do Pacífico. Os ventos alísios, que sopram com uma forte componente para oeste, sustentam uma *inclinação da superfície livre* do oceano – maior elevação do lado oeste do que do lado leste –, que vai gerar uma *inclinação compensatória da termoclina* em sentido contrário – maior elevação do lado leste. Em condições «normais» (figura 107 A), o desnível da superfície livre entre os dois lados do Pacífico atinge cerca de 40 cm, e o da termoclina cerca de 150 m. Outra consequência da acção dos ventos alísios é a ocorrência de *upwelling* ao largo da costa ocidental da América do Sul, provocando simultaneamente o arrefecimento das águas superficiais e o aumento da sua produtividade (ver secção 3.1)

da camada superior do oceano nessa região, com as respectivas implicações em termos de abundância de pescado (tal como da anchova, espécie particularmente abundante nessas águas).

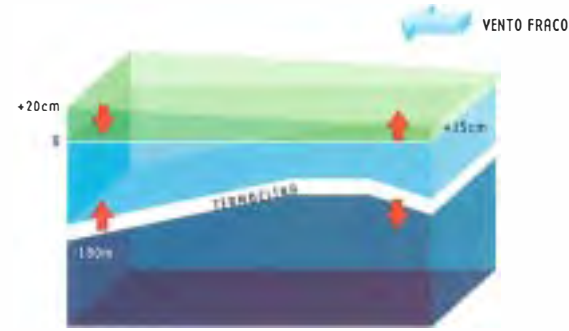
Durante a *ocorrência de El Niño*, o *enfraquecimento dos ventos alísios* à superfície tem duas consequências importantes: uma menor intensidade do referido *upwelling* e menores desníveis zonais (isto é, entre os lados oeste e este do Pacífico equatorial) da superfície livre. Parte da camada de água quente acumulada do lado ocidental por acção dos ventos alísios, quando estes enfraquecem, vai invadir o lado oriental do Pacífico equatorial e provocar aí *uma subida da superfície do mar* e *uma descida da termoclina* (107 B).

Ao largo da costa ocidental da América do Sul, o *upwelling* não só é mais fraco do que em condições «normais», mas também vai trazer para a superfície águas subsuperficiais que são então quentes e pouco produtivas biologicamente. Essa baixa produtividade primária das águas afecta toda a cadeia alimentar a ela associada, trazendo consequências desastrosas para o normal equilíbrio ecológico da região, as quais se reflectem, nomeadamente, na diminuição drástica das capturas de peixe e consequente prejuízo da economia dos países ribeirinhos locais (Peru, Chile).

Se agora considerarmos a situação extrema *oposta à de El Niño*, isto é, um aumento da intensidade dos ventos alísios relativamente à que prevalece em condições «normais», o oceano vai reagir com um maior desnível zonal da superfície do mar e da profundidade da termoclina no Pacífico equatorial (107 C). Por contraposição, tem-se vindo a generalizar a designação desta situação (de anti-ENSO) como *La Niña* (termo talvez pouco apropriado...).



107 A



107 B



107 C

Figuras 107 A, B, C – Inclinação zonal (este-oeste) da superfície livre e do termocline permanente na região do Pacífico equatorial, em situações de:
A) ventos alísios normais;
B) ventos alísios fracos – ocorrência de ENSO (*El Niño*);
C) ventos alísios fortes – ocorrência de anti-ENSO (*La Niña*).
(Adaptado de Wyrki, 1982.)

O ENSO É UM FENÓMENO À ESCALA GLOBAL

Poder-se-ia julgar que o fenómeno do ENSO se limitaria ao oceano Pacífico. Todavia, há evidência de que os respectivos efeitos se fazem sentir, se bem que de um modo menos acentuado, *em todo o globo*, devido ao facto de o atmosfera não estar limitada por fronteiras laterais, pelo menos tão eficientes como sucede com os oceanos. Nos outros oceanos, em especial no Atlântico, dão-se fenómenos de tipo semelhante que mostram o papel importante que os flutuações da temperatura da superfície do mar desempenham na variabilidade do sistema climático. São disto exemplos as secas do Nordeste do Brasil associados à ocorrência de anomalias na temperatura do Atlântico (negativas a sul e positivas o norte do equador) e as precipitações excepcionalmente fortes no Sudoeste de África aliadas a fenómenos do tipo do *El Niño*.

Na última década, a observação do fenómeno do ENSO em escalas globais foi possibilitada pelo desenvolvimento de sistemas de observação automática ancorados no mar e dos métodos de detecção remoto utilizando sensores colocados em satélites. Estas observações têm vindo a fornecer os dados necessários para que a simulação do comportamento do sistema oceano-atmosfera no região equatorial utilizando modelos numéricos seja cada vez mais realista e permita, eventualmente, a próprio previsão do fenómeno.

BIBLIOGRAFIA

AMBAR, I., «Alguns Aspectos da Física do Oceano», in *Colóquio/Ciências*, nº 14, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1994, pp. 21-34.

FIÚZA, A., «Oceanos e clima», in *De Planeta nas Mãos – no Pós ECO 92*, Lisboa, Edições Colibri, 1993, pp. 107-147.

GRANT-GROSS, M., e GROSS, E., *Oceanography. A View of Earth*, Prentice-Hall Inc., 1996, 472 pp.

NESHYBA, S., *Oceanography. Perspectives on a Fluid Earth*, Nova Iorque, John Wiley & Sons, 1987, 506 pp.

OPEN UNIVERSITY COURSE TEAM, *Ocean Circulation*, Oxford, Pergamon Press, 1989, 238 pp.

PICKARD, G. L., e EMERY, W. J., *Descriptive Physical Oceanography*, Oxford, Pergamon Press, 1990, 256 pp.

POND, S., e PICKARD, G., *Introductory Dynamical Oceanography*, Oxford, Pergamon Press, 1983, 329 pp.

SUMMERHAYES, C. P., e THORPE, S. A., *Oceanography. An Illustrated Guide*, Londres, Manson Publ., 1996, 352 pp.

WELLS, N., *The Atmosphere and Ocean: A Physical Introduction*, Londres, Taylor & Francis, 1986, 347 pp.

WYRTKI, K., «The southern oscillation, ocean atmosphere interaction, and El Niño», in *Marine Technology Society*, nº 16, 1982, pp. 3-10.



DIVERSIDADE DE AMBIENTES COSTEIROS

MARIA JOSÉ ROSADO COSTA*

A ZONA COSTEIRA

Desde tempos remotos, a orla costeira começou a ser colonizada, estimando-se actualmente que dois terços da população mundial viva a menos de 160 km do mar e que 76 % da população portuguesa ocupem a zona costeira. A maioria das cidades mundiais, cuja população excede o meio milhão, localiza-se ao longo da costa.

Há, assim, um conflito de interesses entre a costa como zona de alimento, de segurança, de indústria, de desenvolvimento, de turismo e de lazer e a sua enorme importância ecológica, que deve ser preservada.

Os sistemas costeiros têm de ser compreendidos, e os gestores, ao tomarem decisões sobre eles, devem tentar conhecê-los cientificamente.

Se olharmos para as rochas da Boca do Inferno e para os sapais do estuário do Tejo, podemos interrogar-nos se pertencem ambos ao ambiente costeiro. Pertencem, porque embora sejam fisicamente diferentes, do ponto de vista ambiental, são idênticos. Os gradientes fundamentais que os tornam diferentes são:

- humectação
- exposição às ondas
- luminosidade
- tipo de substrato
- localização geográfica.

Mas, então, como pode definir-se a costa? Embora definir a costa seja problemático, pode dizer-se que é a zona onde o ar, o mar e a terra se encontram. Ou, se quisermos uma definição mais formal, onde o ambiente terrestre influencia o ambiente marinho e vice-versa.

A delimitação das fronteiras é normalmente feita pelos gradientes referidos anteriormente. Estas zonas de fronteira terra-mar podem abranger ecossistemas tão diversos como praias arenosas ou rochosas, estuários, lagoas litorais, recifes de coral, etc.

A natureza básica da costa é determinada pela geologia e pela topologia da linha de costa e terra adjacente e pelos processos físicos a operar nestes locais. O tipo de praia depende do material trazido pelos rios, da geomorfologia das terras adjacentes e da natureza, tamanho e quantidade do material arrastado.

PRINCIPAIS ECOSSISTEMAS COSTEIROS

PRAIAS

As praias rochosas e arenosas são áreas costeiras litorais, expostas à acção das ondas e correntes, que suportam comunidades características de plantas e animais (figura 109).

Os organismos litorais encontram-se periodicamente em contacto com o ar e estão sujeitos a flutuações muito grandes de temperatura e salinidade. Podem, inclusive, encontrar-se expostos ao gelo.



109
Figura 109 – Praia rochosa com um porte arenosa.

Figura 108 – Estrelas-do-mar numa pradaria marinha.

* Biólogo, professor do Instituto de Oceanografia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

PRAIAS ROCHOSAS

As praias rochosas são muito variáveis e possuem geralmente grande diversidade de animais e plantas, por apresentarem grande número de nichos ecológicos.

Nas praias rochosas pode observar-se uma zonação dependente de um conjunto de factores, como os limites de maré e diversos parâmetros físicos e biológicos. O limite de cada área depende dos factores físicos e da particularidade de as plantas e os animais se relacionarem com a exposição ao ar e com as variáveis de salinidade e temperatura. Podem, assim, considerar-se três zonas – supralitoral, mediolitoral e infralitoral. No primeiro localizam-se os organismos que suportam ou exigem uma emergência contínua. Esta zona é habitada por líquenes negros incrustantes e algas azuis ou verdes. Existe também nesta zona um pequeno gastrópode preto, *Melaraphe neritoides*, que se alimenta de algas, e um isópode, *Ligia oceanica*.

Na zona mediolitoral ou intertidal, alternadamente imerso e emerso, encontram-se, entre outros, lapas, cracas, algas vermelhas e uma esponja cor de laranja, *Hymenocidon sanguinea*. Na parte inferior, formando placas rosadas com circunvalações análogas às de um cérebro, existe uma alga coralinácea, *Lithophyllum tortuosum* (figura 110). É nesta zona e um pouco mais abaixo que os percebes podem observar-se em fendas de aspiração muito batidos.

A zona infralitoral ou sublitoral encontra-se sempre imerso e possui comunidades de algas fotófilas. Entre estas, a alga vermelha, *Gelidium sesquipedale*, é objecto de apanha para fabricar ágar-ágar. Possui também comunidades animais diversificadas, constituídas, por exemplo, por mexilhões, ouriços e certas espécies de cracas, como *Balanus perforatus* (figura 111).



Figura 110 – *Lithophyllum tortuosum*. Alga coralinácea, existente na zona intertidal.

Figura 111 – Crocos fixos sobre um mexilhão.

Figura 112 – Pulga-do-mar.

PRAIAS ARENOSAS

As praias arenosas são formações de maior ou menor extensão, resultantes da acumulação de areia, limitadas inferiormente pela linha da baixa-mar das águas vivas equinociais e superiormente pela linha da preia-mar das águas vivas equinociais. A presença de areia indica exposição à acção das ondas, que vai de simples a severa.

Em Portugal, como, aliás, acontece no resto da Europa Ocidental, o material das praias é predominantemente de quartzo. A maior parte das praias de Portugal é arenosa, com extensões que variam de alguns metros a quilómetros ao longo da costa, e com distâncias intertidais que atingem por vezes largos dezenas de metros.

E que organismos se encontram nas praias arenosas? Estas praias apresentam condições bastante difíceis para os organismos que aí habitam e, à primeira impressão, parecem suportar pouca vida. Se pensarmos nas plantas, devido à falta de superfícies sólidas estáveis e à acção abrasiva das partículas móveis, uma praia de areia não suportará nem a grande quantidade de algas que se encontram nas áreas rochosas, nem a vegetação das áreas vasosas. A maior parte da fauna opta por viver enterrada, de modo a não ser arrastada pelas correntes.

Quer a fauna, quer a flora das praias variam das zonas batidas para os obrigados. A mudança mais óbvia traduz-se na diminuição do número de espécies em praias muito expostas, onde a fauna chega a desaparecer completamente. Nas praias mais protegidas, existem cadelinhas, grandes vieiras, pulgas-do-mar, entre outros (figura 112).

Existem também organismos muito pequenos que vivem entre os grãos de areia e que os cientistas designam por meio-fauna. Entre os mais abundantes encontram-se os nemátodes e certos copépodes.

ESTUÁRIOS

Os estuários são corpos de água semifechados, situados na foz dos rios com ligação ao mar e onde a água doce se dilui de um modo mensurável com a água do mar.

São zonas altamente produtivas, suportadas por complexos teias tróficas, de um modo geral de base detritívora, que têm início nos plantas do sapal ou do mongol.

Sobe-se que elevada percentagem de juvenis de espécies de peixes e crustáceos com interesse comercial está durante o seu ciclo de vida dependente dos estuários. Em Portugal possuímos vários estuários, um dos quais, o do Tejo, é o maior



113

da Europa, com os seus cerca de 320 km². No Inverno o estuário do Tejo torna-se um importantíssimo local de repouso e alimentação de aves aquáticas, como garças, gaivotas, patos, alfaiates, tarambolas e moçaricos (figura 113). Existe também uma importante população de flamingos, que se mantém durante todo o ano. Na Primavera, os pernas-longas e as andorinhas-do-mar utilizam as salinas como locais de reprodução. Este estuário funciona também como viveiro (*nursery*), isto é, constitui uma zona onde os juvenis de espécies de interesse comercial, como o robalo, o linguado e o camarão-mouro, procuram alimento, boas condições de temperatura e refúgio dos predadores.

LAGOAS

As lagoas são áreas de água salobra ou salgado, separados do mar adjacente por uma língua de areia ou uma barreira de cascalho. De um modo geral são locais de baixa profundidade, sujeitos a grandes oscilações térmicas e salinas que as tornam, assim, muito vulneráveis em termos ambientais.

A fraca profundidade deixa-as particularmente sensíveis à entrada de sedimento proveniente dos ambientes terrestre e marinho, pelo que o controlo da abertura ao mar se reveste de particular importância para a manutenção destes sistemas.



114

Em Portugal, as lagoas mais importantes são a de Albufeira e de Óbidos. Esta é a maior lagoa portuguesa, com uma área de 7 km² (figura 114), suportando uma comunidade piscatória importante que se dedica quer à apanha de bivalves (amêijoas, berbigão e lingueirão), quer à pesca de enguias, robalos e linguados.

ZONAS HÚMIDAS

Embora hoje se fale muito de zonas húmidas, a sua definição formal é difícil, sendo diferente para cientistas e gestores. As zonas húmidas salgadas são áreas que se encontram inundadas

Figura 113 – Aves marinhas alimentam-se no Tejo.

Figura 114 – Lagoa de Óbidos.

e saturadas por água da superfície ou do solo com duração e frequência suficientes para suportarem uma vegetação hidrófila tolerante ao sal.

Nestas áreas, que são por vezes muito belas, encontra-se uma das maiores produtividades do planeta. Nas zonas húmidas costeiras integram-se os bancos de vasa, sapais, mangais e pradarias de fanerogâmicas.

Portugal possui várias zonas húmidas, algumas protegidas por convenções internacionais. Entre estas destaca-se a Reserva Natural do Estuário do Tejo, protegida pela convenção de Ramsar de protecção à vida selvagem.

Apesar de serem das mais produtivas do mundo, as zonas húmidas estão sujeitas a enormes impactos ambientais. No entanto, desempenham funções muito importantes para o homem que, por vezes, as desconhece.

Ao acumularem as águas de escorrência, protegem as localidades, controlando as inundações e fazendo a carga e a descarga das águas do subsolo.

Especialmente os mangais, ao acumularem sedimento, podem também proteger as comunidades das tempestades marinhas e reduzir a severidade dos desastres costeiros, bem como da erosão.

A importância destas funções é enorme, pois, em vez de se construírem diques para impedirem as inundações e a erosão, basta por vezes preservar ou recuperar as zonas húmidas.

Há quem chame às zonas húmidas «rins de passagem» da terra. E porquê? Ao interceptarem a água das zonas superiores, retendo-a, filtram poluentes e melhoram a sua qualidade. Podem também filtrar certas substâncias como o azoto e o fósforo dos fertilizantes, que entram cada vez em maior quantidade nos estuários. Mas, atenção, esta eficiência de filtragem é limitada.



Figura 115 – Sapal do Miro.

Figura 116 – Bancos de Vaso com sapal adjacente.

SAPAIS

Os sapais são lugares ao longo da costa onde a vegetação existente pode tolerar solos saturados de sal. Possuem uma estrutura complexa de plantas, animais e bactérias que suportam alternância bidária de imersão e emersão, bem como variações extremas de temperatura e salinidade.

Um labirinto de esteiros tidais, com nutrientes, plâncton e peixe, atravessa estas zonas húmidas, formando canais que trocam energia e matéria com o estuário adjacente, que, por sua vez, efectuará trocas com o mar.



116

Os sapais (figura 115) encontram-se ao longo das costas intertidais nas zonas temperadas. São substituídos nas zonas tropicais e subtropicais (entre 25° N e 25° S latitude) pelos mangais.

Por vezes, as zonas húmidas não possuem vegetação, mas apenas microalgas. São os bancos de vasa (figura 116) onde se encontram comunidades de poliquetas (a vulgar minhoca da pesca) e bivalves, como os berbigões, as amêijoas e as lambujinhas.

Estas zonas são importantes, pois, além de armazenarem a energia dos ecossistemas estuarinos, servem como zona de alimento a aves (na maré baixa) e a peixes e crustáceos (na maré alta).

MANGAIS

Os mangais (figura 117) são comuns nas zonas tropicais e subtropicais, cobrindo uma vasta área da linha de costa. Formam florestas de árvores e arbustos em substratos de vasa e ocorrem na zona superior do intertidal.



Os mangais abrigam animais aquáticos e terrestres e suportam, tal como os sapais, grandes flutuações de salinidade e temperatura. Possuem raízes aéreas e adaptações que impedem o sal de entrar nos seus tecidos. Certas espécies possuem sementes vivíparas que germinam quando ainda se encontram na árvore (figura 118).

Ecologicamente, podemos considerar três zonas nos mangais. A *parte superior* é formada por um *habitat* arbóreo, onde se encontram insectos, caranguejos-dos-mangais, cobras-das-árvores e aves; a *parte intertidal* tem uma variedade de *micro-habitats* onde proliferam cracas, ostras, gastrópodes e alguns poliquetas. Nos bancos de vasa encontro-se o caranguejo-violoncelista, *Uca* spp., que se alimenta de detritos. É interessante verificar que o espécie *Uca tangerii* atinge o seu limite de distribuição norte no estuário do Miro, existindo em grande quantidade no rio Formoso, embora em zonas de sapal.

Também se encontra no porte superior intertidal dos mangais um peixe, o saltão (*Periophtalmus* sp.), que pode fazer buracos no vaso, mas vive igualmente nas raízes aéreas do mangal, dando soltos para a água.

Por último, a *parte subtidal*, onde as raízes suportam uma epifauna muito rica (figura 119), é constituída por algas, esponjas, ascídeas, anêmonas, hidrários e briozoários. Existe também aí grande quantidade de peixes, camarões e caranguejos.

PRADARIAS MARINHAS

Nas zonas intertidais e subtidais dos estuários e sistemas lagunares em que as águas não são muito turvas e nas zonas costeiras adjacentes encontram-se as pradarias de fanerogâmicas, plantas superiores que dão flor. Nas zonas temperadas existe *Zostera* sp., e nas regiões tropicais ocorrem outras plantas como *Halodule* sp. (figura 120), conhecida por «erva das tartarugas», pois serve-lhes de alimento. Nas folhas encontram-se ascídeas, hidrários e briozoários. Moluscos bivalves e gastrópodes, poliquetas e vários tipos de crustáceos dominam a fauna móvel de invertebrados. Nas zonas tropicais estas plantas servem de alimento aos manatins, dugongos e tartarugas, assim como a alguns herbívoros terrestres, como gansos. As pradarias de fanerogâmicas são zonas húmidas que têm também vindo a declinar e são muito importantes pelo seu alta produtividade. São zonas de elevada biodiversidade, que servem como *nursery* para espécies de crustáceos e peixes, alguns com interesse comercial.

FLORESTAS DE KELP

São algas castanhas da família das Laminárias, que apresentam uma forma semelhante à dos



Figura 117 – Mangal com ostras incrustadas nas raízes.

Figura 118 – Mangal com fruto germinado.

Figura 119 – Raízes do mangal com ascídeas e esponjas.

Figura 120 – Pradarias de «erva das tartarugas» (*Halodule* sp.).



Figura 121 – Floresta de kelp.



122

Figura 122 – Recife de coral com um cardume de anchovas.

palmeiras, chegando a atingir cerca de 12 m e formando autênticas florestas (figura 121).

A produção primária destas algas é enorme, servindo de *habitat* a inúmeras espécies de flora e fauna, algumas com interesse comercial, como é o caso de peixes e crustáceos, dentro dos quais se destacam certas espécies de lagosta.

A maior parte dos animais que ocupam este *habitat* é constituída por filtradores e detritívoros. Aí se encontram mexilhões, pepinos-do-mar, esponjas, poliquetas e moluscos, alguns dos quais se alimentam de pequenos fragmentos de *kelp*.

Os predadores mais importantes são peixes, lagostas e camarões.

Verifica-se também que os patas-roxas e certos tubarões-do-areia os utilizam poro efectuarem as posturas, que ficam presas às frondes.

RECIFES DE CORAL

Há muitos organismos que constroem recifes. Destes, os mais conhecidos são os corais (figura 122), que são constituídos por animais coloniais, aparentados com as anémonas, e que ocorrem em águas tropicais, não tolerando temperaturas inferiores a 18 °C. Necessitam de águas límpidas e grande quantidade de luz, o que explica o facto de estes corais se encontrarem geralmente em águas pouco profundas. A luz é necessária para as algas simbióticas efectuarem a fotossíntese. A biodiversidade nos corais é extremamente elevada, estimando-se que um recife posso possuir cerca de 3000 espécies animais.

O próprio recife, cuja estrutura é constituído por carbonato de cálcio, providencia abrigo poro muitas algas, invertebrados e peixes. As irregularidades da superfície, bem como os túneis, fazem com que exista aí uma grande variedade de *micro-habitats*. Estima-se que 25 % dos espécies marinhas de peixes vivam nestas áreas. Estas espécies, de um modo geral com cores vivas, possuem elevado grau de especialização trófico, algumas alimentando-se de algas, outras de invertebrados e outras ainda de peixe.

DUNAS

As dunas são elevações formadas pela acumulação de areias marinhas transportadas pelos ventos (figura 123). Podem ser estreitas, ou muito grandes, como as que ainda existem na praia da Costa de Caparica. As dunas activas, isto é, as móveis que se encontram no processo de ganhar ou perder areia, possuem essencialmente vegetação herbácea. As dunas estabilizadas possuem arbustos e vegetação.



Figura 123 – Duna primária, Reserva Natural das Dunas de S. Jacinto.

As dunas constituem um sistema de alto valor ecológico, com fauna e flora próprias. Muitas aves utilizam-nas para fazerem ninhos ou como áreas de repouso e alimentação. Certas tartarugas usam-nas nas zonas tropicais e subtropicais para nidificarem, como acontece em certas praias de Angola.

As dunas são zonas a preservar a todo o custo, não só pelo seu valor como *habitat*, mas também porque, ao criarem uma barreira às ondas alterosas, protegem a praia e as estruturas construídas atrás das dunas.

Oferecem também outro tipo de protecção, pois alguma areia retirada das dunas pelas ondas é depositada imediatamente na porção de areia submersa da praia. Este depósito de areia adicional ajuda a quebrar as ondas de

tempestade, dissipando a sua energia e acalmando o ataque à frente-praia.

Verifica-se, assim, como é importante proteger este recurso frágil. A construção, o tráfego sobre elas ou a remoção da areia provocam erosão, bem como grandes alterações ecológicas.

Nas dunas não devem ser permitidos actividades de construção ou escavação, o tráfego de veículos deve ser completamente abolido e a circulação pedestre deve estar sujeita a restrições, limitada a passeios de areia.

É igualmente importante reconstruir as dunas nos locais onde foram destruídas. Em Portugal esta tentativa foi efectuada em algumas áreas, embora com resultados pouco eficazes.

PRINCIPAIS AMEAÇAS ÀS ZONAS COSTEIRAS

As principais ameaças às zonas costeiras passam sobretudo pela sua destruição e recessão. A perda das praias e a erosão costeira contínua são problemas muito preocupantes, que se fazem sentir a nível mundial. Muito grave também é a destruição das zonas húmidas, que continua a um ritmo acelerado, nomeadamente devido à urbanização, à industrialização e à construção de portos.

No passado, as zonas húmidas eram consideradas lugares subaproveitados, que os gestores de planeamento recuperavam para a agricultura, para o urbanismo ou para o turismo. E, embora esta visão já esteja hoje ultrapassada,

ainda há quem considere que estas zonas no seu estado natural ficam subaproveitadas.

Sapais, mangais, estuários e sistemas lagunares são dos ecossistemas mais produtivos do mundo, em paralelo com as florestas tropicais e os campos de trigo, e servem de *habitat* especialmente a invertebrados, peixes e aves, mas também a certos mamíferos, répteis e anfíbios. Estas zonas são afectadas pela erosão, a poluição (sobretudo de origem industrial) e a extracção de inertes ou de hidrocarbonetos.

E que aconteceria se deixasse de haver aí condições para os juvenis de peixes e crustáceos crescerem ou se, em condições adversas, morressem? Deixariam de aumentar os mananciais costeiros, e a pesca nas zonas costeiras adjacentes poderia ser bastante afectada.



Figura 124 – Mongol cortado.

Também a pesca artesanal, que é habitualmente muito intensa nos estuários e lagoas e, por vezes, a única fonte de proteínas nos países em vias de desenvolvimento, seria afectada.

Em certos países, o corte excessivo e indiscriminado das árvores do mangal, utilizadas para combustível e como material de construção, tem vindo a destruir este *habitat* (figura 124).

As consequências de todas estas alterações são muito graves. A poluição pode fazer desaparecer os peixes. Os mais antigos ainda se lembram das grandes corvinas ou dos xarrocas que eram capturados no estuário do Tejo. Nos próprios concheiros de Muge, restos do homem do Paleolítico, há vestígios de corvinas de grandes dimensões.

E que dizer dos golfinhos que entravam no Tejo atrás dos chocos, que eram abundantes na altura e que ainda hoje existem no Sado?

Como se pode, então, tentar resolver o problema? Tentando convencer os políticos e os gestores de que as zonas costeiras (e, nestas, as zonas húmidas) são áreas importantes a preservar, o que se consegue tentando sensibilizá-los para o efeito positivo que podem ter nas economias nacionais e locais, pelo que atrás foi exposto e, por exemplo, no desenvolvimento de actividades como o ecoturismo; explicar-lhes que sai mais caro destruir as zonas costeiras do que preservá-las.

É preciso fazer junto dos cidadãos, e não só nas escolas, campanhas de educação ambiental que os sensibilize para a importância destas zonas e fazê-los compreender que a costa deve ser encarada como um recurso comum ao dispor de todos. Goldberg (1994) afirma que a chave para minimizar os impactos na zona costeira passa pela gestão demográfica. Isto representa a criação de condições nas regiões do interior, pois as populações preferem fixar-se nas zonas costeiras que oferecem uma melhor qualidade de vida.

BIBLIOGRAFIA

GOLDBERG, E. D., *Coastal Zone Space. Prelude to Conflict?*, Paris, UNESCO, 1994, 138 pp.



ZONAS COSTEIRAS

F. VELOSO GOMES*

As zonas costeiras são territórios de interacção geográfica, física, ecológica, humana e económica entre o mar e a terra. Não são susceptíveis de uma delimitação geográfica rígida, já que, consoante a natureza dessas interacções, podem abranger maiores ou menores extensões terrestres ou aquáticas. A amenização climática proporcionada pela proximidade de grandes massas de água marítimas ou oceânicas faz-se sentir por vezes a centenas de quilómetros da linha de costa. Certos ecossistemas só existem em faixas muito estreitas como, por exemplo, aquelas que estão sob a acção dos espraiados das marés. Os territórios costeiros planos, a pequena altitude, podem ter poucos metros ou muitos quilómetros de largura, tendo diferentes implicações em termos paisagísticos, acessibilidade e vulnerabilidade a inundações e erosões.

Como resultado da atracção demográfica pelas zonas costeiras, mais de dois terços da população mundial vivem nestes territórios, embora eles representem menos de 15 % da superfície terrestre.

Essa atracção demográfica está historicamente associada às condições de fácil acesso proporcionados pelos mares, rios, estuários e franjas terrestres adjacentes, à polarização com reflexos multiplicadores de actividades comerciais, industriais, piscatórias e de exploração de outros recursos, à fertilidade dos solos, à amenização climático e à diversidade paisagística e biológica. O povoamento dos continentes americano, africano e austral evoluiu a partir de pólos localizados nas zonas costeiras onde estavam os portos

de abrigo e os principais entrepostos comerciais. No Mediterrâneo, ao longo de milénios, civilizações muito antigas aperfeiçoaram-se e expandiram-se ao longo da sua envolvente costeira.

Na actualidade, o turismo, as guerras e a insegurança, bem como a procura de mercados de emprego, continuam a gerar significativos fluxos de populações, sazonais ou permanentes, em direcção à costa, agravando, na grande maioria das situações, as já existentes assimetrias entre as zonas costeiras e o território interior.

As paisagens e as morfologias naturais que se encontram nas zonas costeiras resultam da interacção e da importância relativa dos principais agentes fisiográficos presentes – agitação, marés, correntes fluviais, correntes marítimas, ventos –, actuando sobre fundos e contornos de natureza rochosa ou sedimentar muito diversificados. As costas rochosas, as costas arenosas, os campos dunares, os estuários, os deltas, as lagoas, as ilhas-barreiras, os pântanos salgados, os mangais, os recifes de coral, os arcos insulares constituem um património natural riquíssimo, complexo e frágil no qual frequentemente a vida ferve e o homem interage.

A acção humana pode alterar a relação entre os agentes fisiográficos. Há interacções muito dinâmicas de natureza periódica e sazonal e há acontecimentos menos frequentes que podem atingir grandes amplitudes com reflexos nas zonas onde as comunidades se fixaram ou exercem as suas actividades relacionadas com os mares e oceanos (grandes temporais, furacões, ciclones, ondas com origem sísmica – os *tsunamis* –, inundações, erosões).

* Professor catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Figura 125 – Dunas costeiras, Corrapateira, Aljezur.



Figura 126 – Avanço das dunas,
Corrapateiro.

PROBLEMAS E CONFLITOS POTENCIAIS

As zonas costeiras apresentam problemas específicos que suscitam crescentes preocupações na comunidade internacional. Salientem-se alguns desses problemas:

- a) uma crescente pressão em termos de alteração de usos e ocupação urbana e industrial;
- b) um aumento acentuado das acessibilidades (portos, auto-estradas, arruamentos marginais) e dos fluxos de tráfego;
- c) uma intensificação dos usos recreativos (utilização balnear das praias, desportos náuticos);
- d) uma sobreexploração dos recursos vivos (pescas);
- e) um agravamento da qualidade da água e sedimentos, do solo e do ar;
- f) uma alteração dos *habitats* e ecossistemas naturais;
- g) alterações dinâmicas significativas, com ocorrência de situações generalizadas de erosão;
- h) degradação e descaracterização paisagísticas;
- i) alterações rápidas de usos e costumes das comunidades autóctones;
- j) uma crescente exposição das populações e bens a riscos naturais e induzidos (tempestades, tufões, *tsunamis*, instabilidade de restingas e de falésias, inundações, derrames de produtos químicos, explosões, stress urbano).

Nas zonas costeiras verifica-se uma conflitualidade potencial de usos e interesses de diversa natureza, típicos de um sistema heterogéneo, aberto, dinâmico, fortemente polarizador. Esta conflitualidade envolve aspectos de natureza económica, social, técnica e política.

Os usos e a ocupação das zonas costeiras pelo homem são frequentemente equacionados com perspectivas de curto prazo. No entanto, as escalas temporais de evolução dos fenómenos naturais (escalas geológicas) são muito variáveis e exigem uma abordagem de médio e longo prazo: milhões de anos, milhares de anos, decénios, estações, dias (tempestades), horas (marés), segundos (agitação).

POLUIÇÃO

À escala mundial, verifica-se uma progressiva aceleração da degradação dos ecossistemas costeiros devida à poluição. Felizmente, é crescente a sensibilização para a necessidade da inversão desta situação e para a reabilitação e preservação dos ecossistemas. Em particular, os estuários, as lagunas e sistemas lagunares e os mares mais confinados são muito vulneráveis a acções e intervenções já realizadas ou em curso a nível das bacias hidrográficas onde estão inseridos.

Nas zonas costeiras são geradas enormes quantidades de resíduos e efluentes com origem nas actividades industriais, comerciais, agrícolas e portuárias, bem como nos núcleos residenciais.

Para agravar a situação, há que ter em conta que as zonas costeiras são, hidrograficamente, zonas de jusante que recebem todos os fluxos e cargas gerados ou introduzidos nas bacias, pelo que os objectivos de preservação e reabilitação do meio hídrico ultrapassam largamente o âmbito do planeamento e da gestão das zonas costeiras. A infiltração de contaminantes nas águas subterrâneas, as descargas de efluentes residuais urbanos e industriais não tratados, a deposição de lixo, a extracção descontrolada de sedimentos, os consumos excessivos de água para abastecimento e fins agrícolas, a alteração dos regimes hidrológicos, a canalização e a regularização dos cursos de água, as actividades agrícolas e a ocupação urbana são problemas que têm de ser

geridos a nível de bacia hidrográfica e se reflectem directa ou indirectamente no meio hídrico das zonas costeiras.

Por outro lado, há actividades que afectam as zonas costeiras e que não se enquadram em unidades geográficas de gestão associadas a bacias hidrográficas. É o caso dos efluentes e resíduos sólidos com origem em frentes urbanas ribeirinhas, nos portos, no tráfego marítimo internacional (resíduos dos tripulantes, óleos, lavagem de tanques) e em acidentes com navios. É também o caso das cargas poluentes emitidas para a atmosfera que afectam áreas afastadas do local da emissão.

A redução na fonte dos problemas de poluição e o tratamento dos efluentes deverão passar a constituir uma prioridade das sociedades. Os custos do tratamento são frequentemente superiores aos custos de prevenção da poluição. E, quando as actividades produtivas causam danos ambientais, os custos de remediação devem ser suportados pelo promotor ou pelo poluidor, e não pela sociedade em geral. São princípios de protecção do ambiente que deverão ser levados à prática também nas zonas costeiras.

INFRA-ESTRUTURAS E RESPECTIVOS IMPACTOS

O aproveitamento energético dos rios através da construção de barragens constitui actualmente uma componente do fornecimento de energia renovável indispensável à sociedade. Contudo, os aproveitamentos hidráulicos para produção de energia, abastecimento de água a populações e indústria e para usos agrícolas podem reduzir drasticamente o caudal sólido transportado para o mar, agravando as erosões na costa.

As intervenções realizadas ou previstas nas bacias hidrográficas relacionadas com a construção de barragens e desvio de caudais têm

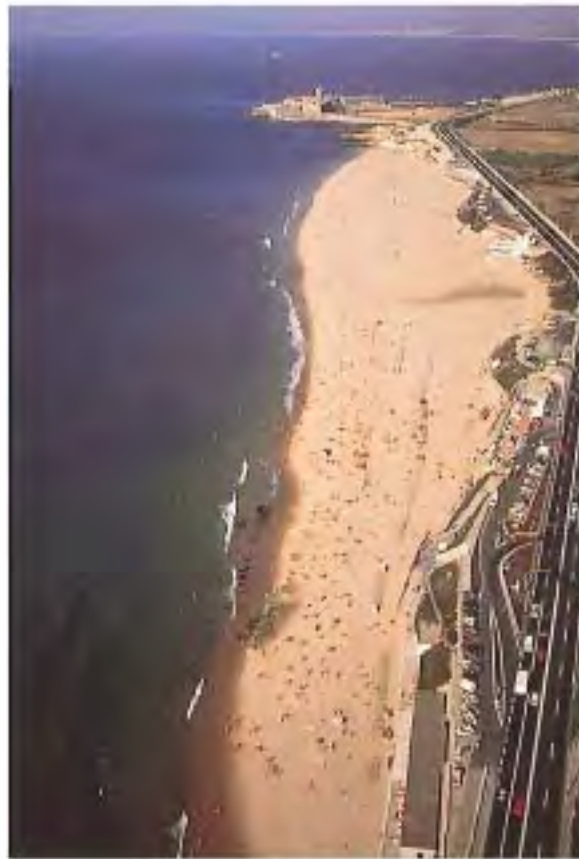


Figura 127 – Ocupação da zona costeira, praia de Corcovelos.

influência nas águas costeiras e, em especial, nos estuários e sistemas lagunares. A redução dos caudais sólidos e de nutrientes, a progressão da intrusão salina para montante e zonas adjacentes e a redução da capacidade de auto-renovação dos meios hídricos constituem impactos que não poderão continuar a ser ignorados nos estudos e no processo decisório. A redução da probabilidade de ocorrência de cheias terá também efeitos nefastos a nível de morfologia costeira, pelo que a problemática da alteração dos regimes hidrológicos, em particular em relação aos rios internacionais, não pode ser discutida apenas a nível dos caudais menores e médios.

Os transportes marítimos são um dos vectores mais importantes nas trocas comerciais



Figura 128 – Erosão da costa rochosa, Vila do Bispo.

internacionais. Em muitos países possibilitam mais de 80 % dessas trocas comerciais. Os quebra-mares e os canais de acesso aos portos comerciais, de pesca e de recreio são essenciais à segurança e à operacionalidade da navegação marítima e fluviomarítima. No entanto, introduzem efeitos de «barreira» ao transporte sólido litoral, efeitos que subsistirão e que poderão intensificar-se pelo aumento do número e da extensão dessas estruturas. Há necessidade de mitigar estas consequências através de concepções mais favoráveis para essas obras.

A construção civil necessita de grandes volumes de areias, essenciais para a construção de habitações e infra-estruturas. Torna-se, porém, premente reduzir a extracção dessas areias dos estuários e das zonas costeiras para não desequilibrar os sistemas naturais nem agravar os problemas de erosão. Sempre que haja necessidade de efectuar dragagens, deverá haver a preocupação de repor as areias nos sistemas naturais.

A construção de edifícios «sobre» as praias, dunas, falésias e restingas é uma realidade e

continua a intensificar-se à escala mundial. No entanto, sabe-se que esta situação é errada e necessita de ser controlada e mesmo invertida no sentido de proteger ecossistemas e evitar «fortificar» a costa para reduzir os riscos de exposição dessas populações às acções dos temporais e do avanço do mar.

RISCOS DE EXPOSIÇÃO ÀS ACÇÕES DO MAR

Muitos dos aspectos físicos relacionados com as zonas costeiras estão significativamente e (com elevada probabilidade) irreversivelmente alterados em relação ao passado, o que conduz a uma recente situação quase generalizada de fenómenos de erosão. Por conseguinte, uma política preventiva no sentido de impedir novas ocupações de solo em zonas de risco deverá ser assumida com todas as consequências.

As causas estão associadas ao enfraquecimento de fontes aluvionares (aproveitamentos hidroeléctricos, construção de quebra-mares, extracção de areias, dragagens e canais de navegação), urbanização (intervenções de emergência, esporões e obras aderentes, aterros sobre praias, destruição de dunas) e subida generalizada do nível médio das águas do mar, havendo ainda hipóteses de ocorrência de movimentos de neotectónica e de alterações meteorológicas. A subida generalizada do nível médio das águas do mar constitui uma preocupação à escala internacional, com efeitos preocupantes previsíveis num horizonte de algumas dezenas de anos, exigindo, desde já, a sua consideração em termos de ordenamento.

Uma zona costeira será tanto mais vulnerável às acções energéticas do mar quanto mais elevadas forem essas acções, menores as «defesas» naturais (por exemplo, orlas sedimentares *versus* orlas rochosas), menores as

suas altitudes e mais elevado o déficit entre a capacidade potencial de transporte sólido e a alimentação de sedimentos (de uma forma geral, actualmente ocorrem reduções acentuadas nesta alimentação).

Os níveis de risco em relação às acções do mar que uma comunidade aceita ou tolera dependem da consciencialização para a sua existência, da natureza e intensidade das consequências (perdas de vidas, perdas de bens, inactividade), da maior ou menor dificuldade de controlo da situação geradora de risco (tufão, *tsunamis* versus tempestade), da possibilidade de pré-alertas, dos antecedentes históricos, das alternativas à localização (espaços disponíveis, proximidade do local de actividade – caso dos pescadores, refugiados de convulsões políticas e éticas) e do nível de desenvolvimento socioeconómico das populações.

Estão documentadas situações de segurança gravíssimas em zonas costeiras de diversos países em vias de desenvolvimento, onde dezenas de milhares de cidadãos estão muito expostos às consequências de calamidades naturais.

A opção por uma das respostas adaptativas – «retirado», «acomodação» ou «protecção» – ou a respectiva aplicação de forma híbrida envolvem decisões políticas de grande responsabilidade pelas profundas implicações de natureza social, cultural, económica e técnica, nas actuais e futuras gerações.

«Retirada» significa o não desenvolvimento de acções para proteger zonas actualmente emersas, que já são – ou previsivelmente virão a ficar – afectadas pelos temporais, podendo mesmo ficar imersas ou em faixas de espraiados. Esta opção pode converter-se numa situação forçada ou constituir uma opção assumida. No primeiro caso, como resultado de uma atitude de passividade ou de incapacidade técnica e económica; no segundo, após ponderação das

diversas componentes de impacto ambiental e dos custos das possíveis medidas de protecção.

«Acomodação» implica a aceitação de um progressivo agravamento dos riscos no uso do solo associados a tempestades e cheios. Tal como na opção anterior, terá de haver a aceitação de que bens e propriedades possam vir a ser seriamente afectados ou totalmente perdidos. Todavia, poderá haver alguma compensação económica através de novos usos e actividades, a qual poderá também implicar implicações sociais e culturais.

A opção «protecção», num sentido global, para que seja ambientalmente correcta e economicamente comportável, deverá, na perspectiva que se defende, incluir o «conservação», o «reabilitação» e o «valorização», bem como acções de retirada ou de acomodação em zonas muito específicas. Trata-se de um processo dinâmico que envolve uma estratégia de gestão com três níveis igualmente importantes: novas políticas de gestão do uso do solo; intervenções no sentido de reduzir acções antrópicas específicas (extração de sedimentos, alterações fisiográficas associadas a artificializações); e manutenção nas zonas urbanas consolidadas, em termos médios, da «linha de costa» actual.

Sob a acção da agitação e das marés, as praias estão submetidas a movimentos aluvionares transversais sazonais, oscilando o seu perfil em torno de posições médias. Durante as tempestades mais violentas ou persistentes – e/ou quando as praias estão emagrecidas – a agitação «retira» areia, quer das bermas (emersas) da praia, quer das dunas. Porém, em períodos calmos, a agitação pode lentamente repor as bermas se existir areia suficiente nas faixas imersas da praia, porque a capacidade de transporte do espraiamento (em direcção à praia) pode ser superior à do refluxo (em direcção ao mar). Por sua vez, as areias superficiais conduzidas pelo vento podem restaurar

lentamente os dunas que serviram de «volante de reserva» durante a tempestade. A vegetação espontânea ou plantado propositadamente, bem como a implantação de meios passivos, podem acelerar e consolidar essa recuperação das dunas.

Face à dimensão do desequilíbrio hidromorfológico que se verifica em muitas zonas costeiras, as acções de conservação, reconstrução e estabilização das dunas, porventura ainda existentes não introduzirão, por si só, uma estabilização ou mesmo uma inversão da situação de erosão; mas constituirão um contributo importante, não só em termos de retardar o avanço do mar, mas também em termos de outros valores naturais a proteger e recuperar.

Quando se argumenta que a costa está a «tentar atingir» uma nova posição de equilíbrio dinâmico em relação às acções do mar, pelo que não deverá realizar-se qualquer intervenção humana contrariando essa tendência, não se dá destaque: à responsabilidade antrópica (humana) nas alterações recentes e em curso; à relativa incapacidade de prever, no tempo e no espaço, esse novo equilíbrio dinâmico; à possibilidade de ocorrência de recuos de grande dimensão em costas baixas e arenosas extensas sem benefícios do ponto de vista ambiental; e à existência de capacidade técnica, ainda que limitada, para «controlar», mitigar ou atrasar alguns dos fenómenos.

Em muitos países, até ao final da década de oitenta, associava-se a «protecção costeira» exclusivamente à construção de obras de defesa (esporões e obras aderentes) para reduzir os riscos de exposição das frentes edificadas à acção das ondas e marés. Não existiu uma aposta no ordenamento, que tem objectivos muito mais vastos do que a redução desses riscos (embora tenha também de os equacionar e reduzir).

Conhecem-se diversas soluções técnicas de defesa costeira (esporões, obras longitudinais aderentes, quebro-mares destacados, alimentação

artificial de praias) que apresentam vantagens e inconvenientes e terão de ser equacionadas face às especificidades dos problemas a superar, da urgência da intervenção, dos efeitos negativos que originam e dos recursos disponíveis. Não há soluções técnicas «perfeitas». Como em muitos outros domínios, todas as soluções apresentam aspectos positivos e negativos, que terão de ser equacionados e ponderados num esforço de maximizar os primeiros e mitigar os segundos. Será necessário considerar avaliações de custo/benefício, pese embora a dificuldade em quantificar muitos dos aspectos envolvidos.

Ao contrário do que se tem verificado, em zonas muito expostas à acção do mar a existência ou a eventual construção de estruturas de «defesa», como esporões e obras longitudinais aderentes, não deverão legitimar de ânimo leve a implantação de novas frentes edificadas em zonas de risco. Essas obras poderão possibilitar uma redução dos riscos de exposição às acções, mas poderão não os eliminar ou reduzir para níveis previsíveis aceitáveis quando se consideram horizontes de projecto idênticos aos adoptados nos projectos dos próprios edificações. Há possibilidade de surgirem situações críticas por ruptura destas obras e/ou por inexistência ou desaparecimento de uma praia suficientemente desenvolvida para evitar a aproximação da rebentação e dos fenómenos de espraçamento e de galgamento.

A progressiva extensão e o reforço estrutural dessas obras podem transformar essas zonas costeiras em fortalezas (expugnáveis), descaracterizando a paisagem e exigindo um enorme esforço financeiro de manutenção.

A alimentação artificial dos praias com areias por meios artificiais constitui uma técnica de defesa costeira frequentemente utilizada em diversos países, por vezes em associação com outras técnicas, no sentido de mitigar mutuamente alguns dos seus aspectos negativos.

Nas extensões das zonas costeiras menos povoadas e intervencionadas deverão ser adoptadas estratégias de não-intervenção com obras de defesa que incluam uma contenção ou uma adequada planificação do edificabilidade para minimizar riscos e preservar os ecossistemas existentes. As zonas florestais, as matas e os campos dunares têm desempenhado e deverão continuar a desempenhar um importantíssimo papel no defeso de valores naturais da faixa costeira, constituindo zonas-tampão em relação à ocupação indiscriminada do solo. A sua preservação e valorização deverão constituir uma prioridade.

TURISMO

As populações aspiram e têm direito ao usufruto das condições climáticas e paisagísticas das zonas costeiras. As actividades de recreia, lazer e turismo estão numa fase de crescimento acentuado. O turismo representa uma componente muito importante, ou mesmo vital, para muitas economias a nível nacional, regional ou local. Há inúmeras comunidades nas zonas costeiras muito dependentes, a nível de mercado de emprego e do comércio, do turismo.

No entanto, torna-se necessário reduzir os fluxos sazonais e a fixação dessas populações na costa para proteger valores naturais e evitar o agravamento de desequilíbrios regionais. Esse usufruto não poderá estar associado à degradação da qualidade de vida. Esta tem-se manifestado sob formas múltiplas como caos no trânsito, poluição, destruição de biótopos, aculturação das comunidades locais, perda de valores paisagísticos, especulação imobiliária, sobreocupação do solo, sobrecarga dos infra-estruturas urbanas...

Se a massificação do turismo conduz o que uma grande percentagem de cidadãos venham o usufruir o sua época banear num clima de intenso movimento e numa paisagem transformada, muitos outros cidadãos



129

aspiram e têm direito a usufruir essa época em ambientes calmos e de paisagem não transformada. As zonas costeiras classificados como de interesse natural, paisagístico ou histórico não deverão sofrer pressões incompatíveis com o seu estatuto.

O turismo assume actualmente uma importância relevante a escolas locais, regionais e nacionais, mas tem tido impactos muito negativos e de natureza cumulativa nos ambientes costeiros. Os promotores de empreendimentos turísticos vão-se apercebendo de que utentes que exigem qualidade não retornam a empreendimentos localizados em áreas degradadas. A existência de paisagens costeiras, estuarinas e insulares extremamente belas e únicas poderá constituir uma forte atracção turística que, por sua vez, poderá degenerar em recessão se aquelas não forem conservadas.

Não é possível apenas restringir, proibir. É necessário melhorar, de forma selectiva, as acessibilidades a praias. Melhorar acessibilidades não deverá implicar pisoteio descontrolado de dunas, nem que se permitam construções de habitações em zonas vulneráveis do ponto de vista

Figura 129 – Recuo dos falésias, Foro.

ecológico ou em zonas de risco relativamente à acção das águas do mar. A requalificação do turismo não implica que este passe a ser um turismo de luxo. Os espaços de lazer, as edificações, os parques de estacionamento não deverão continuar a ser extensivamente localizados nas praias, dunas, falésias, sapais, restingas, ilhas-barreiras ou outras áreas sensíveis.

As actividades náuticas de recreio, particularmente a náutica da vela, possibilitam o contacto do homem com os sistemas aquáticos e podem contribuir para o bem-estar físico e psíquico e o fortalecimento de atitudes de civismo e de defesa de valores ambientais. O seu desenvolvimento terá de ser controlado, em termos de localização e dimensão de infra-estruturas, emissões poluentes, ruídos e segurança. A utilização de inúmeras instalações portuárias, nomeadamente as desactivadas, para implantação de núcleos de recreio constitui, em muitos locais, uma alternativa à proliferação de novos portos de recreio e dos seus impactos.

A preservação e valorização de áreas de interesse natural, a recuperação de valores paisagísticos e culturais, a implementação de infra-estruturas de saneamento básico eficientes e a melhoria das condições de vida das populações autóctones deverão constituir prioridades quando se lançam programas de desenvolvimento turístico. Então o turismo pode constituir um incentivo à protecção das condições ambientais, e não um factor de degradação dessas condições.

DESENVOLVIMENTO DAS ZONAS COSTEIRAS E SUSTENTABILIDADE

As comunidades aspiram a aumentar os seus rendimentos económicos com crescentes actividades na indústria, na pesca, no comércio, no turismo e na propriedade imobiliária, com especial apetência para uma localização na

faixa costeira. Contudo, o desenvolvimento terá de ser sustentado segundo o princípio internacionalmente aceite de que deverá corresponder a essas aspirações sem comprometer as aspirações e necessidades das futuras gerações.

Devem ser proporcionadas infra-estruturas rodoviárias e sanitárias adequadas a núcleos populacionais ribeirinhos, que podem, porém, vir a suscitar um agravamento exagerado da carga sobre esses núcleos pela atracção de novos habitantes e visitantes.

A crescente tendência de massificação e uniformização na sociedade contemporânea tende a acabar com a diversidade biológica, cultural e paisagística das zonas costeiras, pelo que a redescoberta e a defesa destes valores constituem um importante desafio.

Nos domínios do ordenamento e da gestão regional e urbana, é essencial actuar de uma forma integrada e dinâmica. A existência de estruturas administrativas complexas, descoordenadas e com responsabilidades diluídas, só favorece interesses imediatistas.

A gestão integrada das zonas costeiras visa promover modelos de desenvolvimento que privilegiem a protecção e valorização dos seus recursos socioculturais, dos ecossistemas e recursos naturais, dos ambientes litorais (naturais, urbanos, rurais, florestais, balneares) e da qualidade de vida das populações. É um processo dinâmico em que se desenvolve e implementa uma ou mais estratégias coordenadas, multisectoriais e de longo prazo, apoiadas em adequadas caracterizações fisiográficas e na compreensão dos processos naturais, na inventariação e na monitorização dos ecossistemas e dos recursos, na inventariação e zonamento de usos, nas análises de sensibilidades e de riscos, na avaliação dos efeitos cumulativos, nas análises de capacidade de cargas dos

ecossistemas, em enquadramentos legais e institucionais apropriados, na avaliação dos impactos ambientais, económicos e sociais induzidos pelas intervenções e nas análises custo-benefício das potenciais intervenções.

Uma gestão integrada exige o enquadramento das acções humanas em objectivos e horizontes espaciais e temporais mais alargados, a avaliação das necessidades, o reconhecimento das especificidades locais e da conflitualidade dos interesses, a redução de algumas das acções antrópicas, o apoio da melhor informação científica e técnica disponível, a integração e a harmonização de políticas sectoriais, a assunção de estratégias de ordenamento e políticas coerentes e a institucionalização de sistemas de gestão eficazes que permitam agir localmente pensando globalmente.

A informação, a sensibilização e a educação das populações, dos seus representantes e dos técnicos sobre a problemática das zonas costeiras deverão constituir uma prioridade à escala local, regional, nacional e internacional. Reconhece-se, porém, a dificuldade em progredir com programas em zonas e países em guerra ou com graves carências em necessidades básicas dos seus cidadãos (alimentação, alojamento, educação). O envolvimento das populações nos processos decisórios deve desenrolar-se a partir das fases iniciais das decisões políticas, dos programas e dos projectos.

A preocupação formativa das populações, dos quadros técnicos e dos gestores em relação às zonas costeiras deverá orientar-se para a interdisciplinaridade dos problemas, a demonstração da sensibilidade dos ecossistemas, a importância do conhecimento dos aspectos físicos e biofísicos, das interfaces e das interacções, dos escalas temporais e das escalas espaciais. Deverá equacionar o binómio condições naturais-intervenções humanas, os conflitos dos

usos, as aproximações simplistas a fenómenos que são, na sua essência, complexos e dinâmicos, a necessidade de quantificar, as limitações financeiras, técnicas, científicas e temporais, as preocupações de qualidade nos objectivos, no projecto, na intervenção e na função e o aproveitamento sustentado de recursos.

A conservação, reconstrução e estabilização das dunas litorais e de outros ecossistemas frágeis, a sua protecção em relação às construções e ao pisoteio, bem como o seu repovoamento vegetal, são acções que podem e devem ser incentivadas e concretizadas pelas comunidades locais e pelos grupos ambientais. Devem ser cuidadosamente programadas e acompanhadas por peritos, podendo ser enquadradas por outras iniciativas de sensibilização e educação ambiental.

Em alguns Estados as administrações centrais, regionais e locais e organizações de cidadãos apostam na aquisição de solos privados nas zonas costeiras, que possam servir de suporte a iniciativas de defesa e valorização ambiental, envolvendo as populações locais. É desejável a promoção de iniciativas com base no voluntariado e na adesão dos cidadãos e comunidades locais.

UMA MENSAGEM

Se existem situações muito graves de degradação resultantes de uma incorrecta ocupação das zonas costeiras, também existem muitos exemplos de usos compatíveis com a capacidade de suporte dos ecossistemas envolventes, paisagens humanizados, recuperações de situações anteriormente degradadas, etc. A divulgação destes exemplos incentivará uma maior consciencialização do valor natural, patrimonial e cultural a preservar e a reabilitar.



ASPECTOS FISIográficos E GEOLóGICOS DA PLATAFORMA E VERTENTE CONTINENTAIS

JOÃO M. ALVEIRINHO DIAS*

O QUE SÃO AS PLATAFORMAS CONTINENTAIS?

As plataformas continentais são as partes menos profundas das bacias oceânicas, imediatamente adjacentes às partes emersas dos continentes (figura 131).

São áreas relativamente aplanadas que inclinam suavemente em direcção ao oceano. Na realidade, mais não são do que o prolongamento submarino dos continentes, estando essa continuidade expressa tanto na constituição e na estrutura geológica como nos recursos minerais.

Considera-se geralmente limite superior da plataforma continental a zona entremarés, não

havendo consenso quanto à linha que define este limite: consoante os autores, este limite pode ser a linha de maré-cheia de águas vivas, a linha de maré-vazia de águas vivas ou o nível médio das águas do mar. O limite inferior da plataforma continental é bem definido por uma brusca ruptura de pendor. Com efeito, a inclinação suave da plataforma, com valores típicos menores do que $0^{\circ} 10'$ (indetectável a olho nu), passa bruscamente a uma zona de muito maior inclinação, em geral da ordem dos 4° (figura 131). Esta ruptura de pendor que delimita inferiormente a plataforma continental designa-se por «bordo da plataforma». A unidade fisiográfica mais inclinada que se sucede à plataforma tem a designação de «vertente continental».

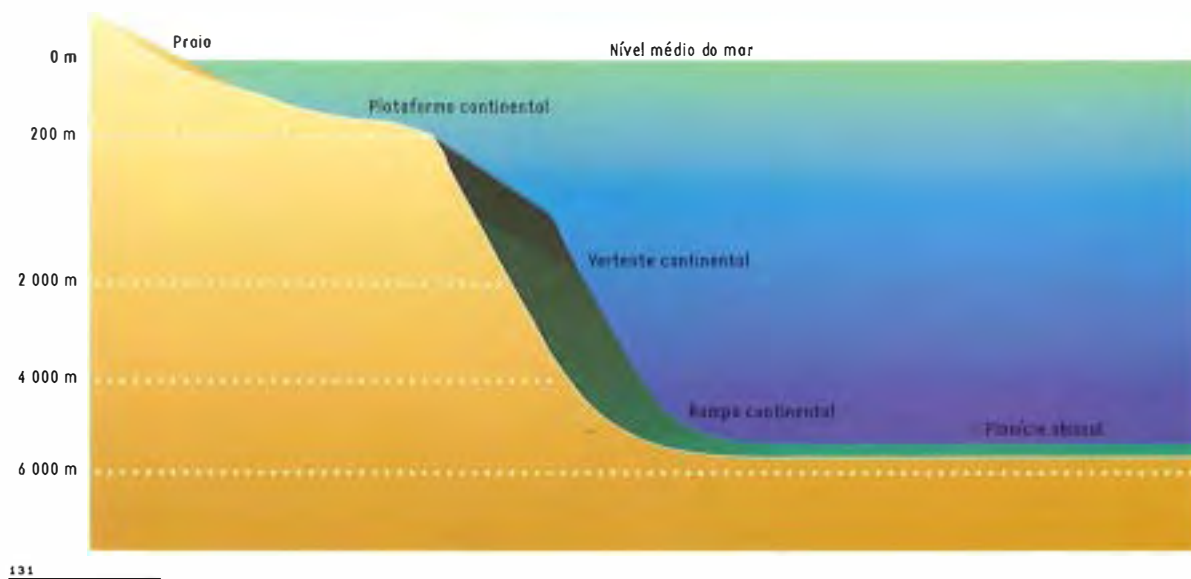


Figura 131 – Zonas submersas do continente e planície abissal.

As plataformas continentais correspondem a áreas muito vastas: quase um sexto da superfície do globo terrestre. Tendo em consideração a globalidade das plataformas, conclui-se que a sua largura média é de 75 km, que a inclinação média é de apenas 0° 07', e que o bordo da plataforma se localiza, em média, a 130 m de profundidade. Todavia, verifica-se grande variabilidade nas plataformas mundiais. Assim, por exemplo, a largura da plataforma ao longo da Sibéria, no oceano Ártico, é da ordem dos 800 km, enquanto na costa ocidental da América do Sul, no oceano Pacífico, a plataforma continental é quase inexistente. Neste contexto, pode afirmar-se que a plataforma continental portuguesa é estreita (pouco mais de 50 km em média, atingindo menos de 5 km frente ao cabo Espichel).

Por vezes, as plataformas continentais são cortadas por vales profundos que desaguam nas planícies abissais, a mais de 4500 m de profundidade, os quais se designam por «canhões submarinos». A maior parte destes acidentes geomorfológicos define-se apenas próximo do bordo da plataforma. No entanto, outros cortam completamente a plataforma continental. São os canhões submarinos do tipo «gouf», designação esta que advém de um canhão deste tipo existente em França, denominado «gouf de Cap Breton». Um dos maiores canhões submarinos deste tipo, a nível mundial, é o *canhão submarino da Nazaré*, imponente garganta submarina que se define apenas a cerca de 300 m do litoral, que apresenta um comprimento de mais de 170 km e que desagua na planície abissal ibérica, a cerca de 5000 m de profundidade.

EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DAS PLATAFORMAS CONTINENTAIS

A actual morfologia das plataformas continentais é o resultado de uma longa evolução iniciada há

muitos milhões de anos. No decurso desse longo período, o relevo das plataformas foi sendo progressivamente erodido, de tal forma que estas ficaram transformadas em extensas superfícies aplanadas. Em muitas plataformas, os sedimentos provenientes do continente e da própria plataforma foram-se acumulando ao longo de milhões de anos, na vertente continental superior, de tal forma que a largura dessas plataformas aumentou bastante. Designam-se por «plataformas com bordo progradante». Noutras plataformas, em que as correntes se revelaram fortemente erosivas e/ou existiram deslizamentos importantes de terras, a largura foi progressivamente diminuindo. Diz-se, então, que são «plataformas com bordo retrogradante».

Durante os tempos geológicos, isto é, ao longo de milhões de anos, as plataformas continentais foram sujeitas a esforços tectónicos variados, associados quer a processos relacionados com a deriva continental, quer a fenómenos de subida ou descida dos continentes. Foi essa evolução que determinou as características básicas que as plataformas apresentam actualmente.

No entanto, foi nas últimas centenas de milhar de anos que as plataformas continentais progressivamente foram adquirindo a configuração que hoje apresentam. Com efeito, as sucessivas glaciações, durante as quais enormes quantidades de gelos se acumularam nas altas latitudes, determinaram descidas do nível médio do mar. Nestes períodos, as plataformas ficaram sujeitas à actuação de processos de erosão subaérea, designadamente do vento, tendo-se desenvolvido, nalguns locais, grandes corpos dunares. Nos períodos interglaciários, a fusão dos gelos induziu subidas do nível médio do mar, ficando as plataformas sujeitas à actuação dos processos marinhos. Esta alternância de ambientes deixou vestígios evidentes em muitos pontos das plataformas.

As plataformas localizadas a latitudes mais elevadas foram, nos períodos glaciários, cobertas por gelos, e, frequentemente, os glaciares imprimiram nestas zonas os traços da sua actuação (vales profundos, topografia irregular, presença de grandes blocos erráticos, etc.).

Como as zonas litorais são das mais energéticas do mundo, possuindo um potencial erosivo muito elevado, e como os sucessivos períodos glaciários e interglaciários impuseram um repetido percurso destas zonas litorais através das plataformas continentais, verifica-se que, em geral, as plataformas correspondem a extensas superfícies de arrasamento.

RECURSOS MINERAIS DA PLATAFORMA CONTINENTAL

Como a plataforma continental é o prolongamento, sob o oceano, do continente emerso, tem potencialmente todos os recursos deste, acrescidos de muitos dos que

são inerentes ao meio marinho. Todavia, de momento, os recursos da plataforma que têm vindo a ser explorados são relativamente limitados, quer devido às dificuldades associadas aos trabalhos no mar, quer porque normalmente ainda não são competitivos com as explorações existentes em terra.

No entanto, os recursos minerais que, nas últimas décadas, têm vindo a ser explorados nas plataformas continentais são já bastante significativos. Entre vários outros podem referir-se: petróleo e gás natural (por exemplo, no mar do Norte e no golfo Pérsico), areias e cascalhos (por exemplo, no Reino Unido, em França, na Holanda, no Japão, nos Estados Unidos da América), barita (por exemplo, no Alasca), aragonite (nas Baamas), ferro (por exemplo, na Terra Nova), estanho e volfrâmio (por exemplo, no Mianmar [Birmânia]), carvão (por exemplo, no Japão), diamantes (por exemplo, na África do Sul) e carbonato de cálcio (nos Estados Unidos da América).

É previsível que, no futuro, os recursos da plataforma venham progressivamente a revelar-se



Figura 132 – Recursos minerais explorados nas plataformas continentais.

mais competitivos, já que os recursos em terra tendem a esgotar-se e a tecnologia das explorações marinhas vai-se desenvolvendo cada vez mais.

A VERTENTE E A RAMPAS CONTINENTAIS

A zona fisiográfica, mais inclinada, que se sucede à plataforma designa-se por «vertente continental» (figura 131). A sua inclinação média é superior a 4 °. Tal significa que a vertente é mais de trinta vezes mais inclinada do que a plataforma continental. O seu limite superior é constituído pelo bordo da plataforma, localizado, em média, a 130 m de profundidade. O seu limite inferior é constituído por uma ruptura de pendor, em geral mal definida, em que a inclinação geral começa a diminuir. Trata-se da transição para a *rampa continental*, cuja inclinação média é bastante inferior a 1 ° (figura 131). Esta zona de transição situa-se a profundidades que variam entre os 1500 m e os 3500 m.

Ao contrário da plataforma, que se encontra na dependência directa do continente emerso, tendo as águas que a cobrem características específicas, designadamente devido ao débito de águas doces provenientes dos rios, a vertente continental apresenta uma grande influência oceânica. Com efeito, é uma zona exposta aos processos do oceano aberto, sendo sujeita, nomeadamente, à influência das correntes oceânicas. Trata-se, consequentemente, de uma zona com características mistas (continentais e oceânicas).

Como se trata de uma zona bastante inclinada, a deposição de sedimentos que se vai processando ao longo do tempo conduz, frequentemente, à constituição de acumulações em equilíbrio pouco estável. Por vezes, quando existem um sismo, uma grande cheia num rio que desagua próximo desta zona, um grande temporal ou uma movimentação submarina de terras, estas acumulações sedimentares começam a movimentar-se, actuadas pela força da gravidade, descendo para as profundidades abissais.

Os sedimentos são postos em suspensão, num fluxo altamente turbulento, de tal forma que esta mistura de água e sedimento se comporta na globalidade como se fosse um fluido bastante mais denso do que a água do mar. Estas correntes, designadas «correntes turbidíticas», vão acelerando à medida que descem a vertente continental, podendo atingir velocidades da ordem de 100 km/hora. Têm um potencial erosivo muito grande, contribuindo de forma muito significativa para a modelação dos canhões submarinos e das ravinas frequentes na vertente. Na realidade, grande parte das vertentes continentais foi modelada por correntes deste tipo.

Quando chegam à rampa continental, muito menos inclinada do que a vertente, as correntes turbidíticas começam a diminuir de velocidade e, consequentemente, a perder poder transportador. Inicia-se, então, a deposição de grande parte da carga sedimentar que a corrente turbidítica mantinha em suspensão. As partículas mais finas continuam em suspensão, sendo transportadas por estas correntes para as planícies abissais, acabando por se depositar muito mais longe, por vezes a muitas centenas de quilómetros da vertente continental onde se iniciou o seu transporte.

Grande parte das rampas continentais é constituída por depósitos compostos a partir de correntes turbidíticas e que, por isso, se denominam «turbiditos». Todavia, vários outros processos sedimentares (como a sedimentação lenta a partir da superfície ou da coluna de água, os sedimentos transportados junto do fundo pelos canhões submarinos e ravinas e a deposição de restos de microrganismos) contribuem para essa grande zona de acumulação que é a rampa continental. Na realidade, estima-se que mais de 75 % dos sedimentos produzidos nos continentes, após serem sujeitos a processos de transporte variados, e depois de períodos mais ou menos prolongados de deposição noutras zonas, acabam por acumular-se nas rampas continentais. São as principais zonas de acumulação sedimentar do globo terrestre.

AFLORAMENTO COSTEIRO – COASTAL UPWELLING

FÁTIMA ABRANTES*

OCORRÊNCIA



afloramento costeiro (*coastal upwelling*) é o processo pelo qual as águas oceânicas costeiras são afastadas para o largo devido às acções do vento e do movimento de rotação da Terra e substituídos por águas subsuperficiais frias e ricos em nutrientes. Poder-se-á esperar ocorrência de afloramento costeiro onde quer que o vento sopra paralelamente à costa, estando esta posicionada à esquerda do sentido do vento, no hemisfério Norte, e à direita, no hemisfério Sul. É, no entanto, ao longo das margens leste dos oceanos (oeste dos continentes) que a intensidade dos ventos e a sua

direcção equatorial persistente, pelo menos durante parte do ano e ao longo de uma costa suficientemente grande, levo o que o ecossistema de afloramento se desenvolva verdadeiramente. A figura 133 representa os quatro sistemas de alta pressão, responsáveis pelos ventos de grande escala que geram as quatro regiões de *upwelling* mais importantes dos oceanos Pacífico e Atlântico, localizadas ao longo da margem da Península Ibérica, margens noroeste e sudoeste africanas e margens ocidental, norte e sul americanos. O oceano Índico é uma excepção; neste oceano, a zona de afloramento mais importante encontra-se numa margem oeste (costa leste), ao largo da Somália e da Arábia, onde o afloramento costeiro é causado pelos ventos da monção de sudoeste.

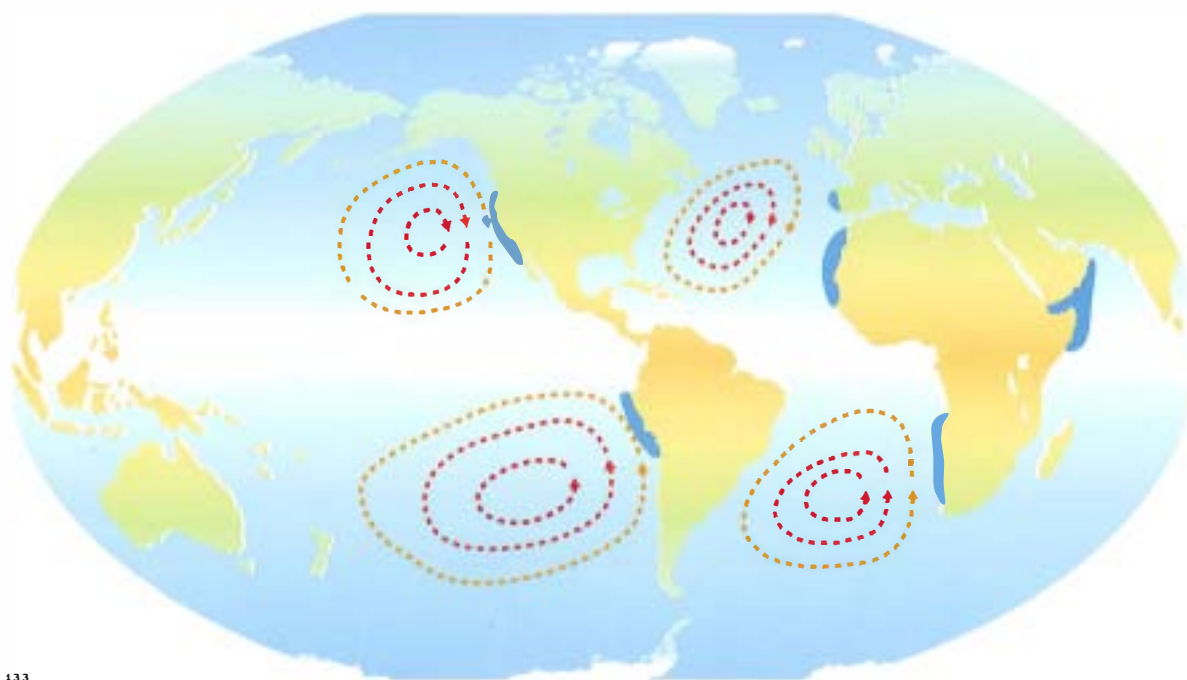


Figura 133 – As mais importantes regiões de afloramento costeiro do mundo e os sistemas de pressão atmosférica (anticiclones) que as geram. Os círculos o tracejado representam a posição média (idealizado) para o estação de afloramento máximo em cada região. As áreas de afloramento estão identificadas pelos monchos azuis. (Adaptado de Thompson, 1977.)

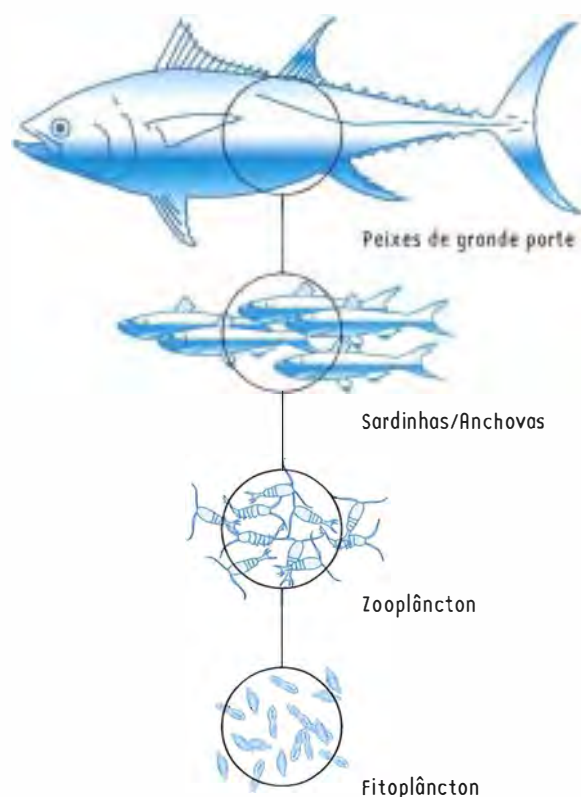


Figura 134 – A curta cadeia alimentar de uma região de afloramento costeiro.

ASPECTOS BIOLÓGICOS

Grande parte da matéria orgânica produzida no oceano é fabricada pelo fitoplâncton (microrganismos vegetais), que através do processo de fotossíntese utiliza a energia da luz para sintetizar moléculas orgânicas a partir de dióxido de carbono (CO_2) e de sais minerais, tais como nitratos, fosfatos e silicatos – os nutrientes que se encontram dissolvidos na água. Na maior parte do oceano, a zona eufótica (zona iluminada) e a zona rica em nutrientes estão separadas verticalmente. O processo de afloramento traz águas frias e ricas em nutrientes para a camada iluminada, permitindo um incrível aumento da população

fitoplanctónica (*bloom*), especialmente das diatomáceas (algas que possuem um invólucro de sílica opalina), normalmente designados por «pasto dos oceanos», e que constituem a base da cadeia alimentar. A esse *bloom* de fitoplâncton segue-se o desenvolvimento abundante de zooplâncton (microrganismos animais), que se alimenta de diatomáceas e que, por sua vez, sustenta grandes populações/cardumes de sardinhas e anchovas, peixes predadores de grande porte, aves e mamíferos. Como resultado desta curta, mas eficiente, cadeia alimentar (figura 134), as zonas de afloramento costeiro, que ocupam menos de 1 % da área dos oceanos, contribuem com 80-90 % da produtividade primária global e cerca de 50 % das reservas de peixe do mundo.

ASPECTOS QUÍMICOS E GEOLÓGICOS

A produção primária devido a estes *blooms* de fitoplâncton pode ser tão grande que o seu consumo (pastagem) pelo zooplâncton não é suficiente para a controlar. Consequentemente, uma grande porção da matéria orgânica produzida pelo fitoplâncton e não consumida na coluna de água cai para o fundo, dando origem a sedimentos muito ricos em matéria orgânica e sílica opalina. Dado que a elevada produtividade biológica sequestra CO_2 da atmosfera e nutrientes da coluna de água e leva à acumulação desses componentes nos fundos oceânicos, os sistemas de afloramento costeiro têm um papel importante no controlo da distribuição e ciclos globais do CO_2 e nutrientes ao longo dos tempos. Por esse motivo, qualquer aumento ou diminuição do processo de afloramento costeiro ao nível global vai afectar todos os outros ecossistemas oceânicos, afectando também, a longo prazo, ainda que de uma forma indirecta, os sistemas terrestres

(continentais). Por exemplo, durante os períodos glaciares, as zonas climáticas sofreram deslocamentos latitudinais da ordem dos 20°-30° em direcção ao equador, originando um aumento dos gradientes térmicos que se pensa tenha resultado não só na intensificação dos ventos, mas também das correntes das margens leste dos oceanos. Nesta perspectiva, os períodos glaciares teriam sido, comparativamente à situação actual, períodos de circulação, afloramento costeiro e produtividade mais intensos. Observações realizadas em sedimentos depositados durante o último glacial máximo (18 000 a 21 500 anos antes do presente) confirmam um aumento de intensidade do afloramento costeiro. Alguns autores consideram mesmo que, se essa intensificação do afloramento costeiro tiver acontecido o nível global, o consequente aumento da produtividade primária terá levado a uma maior utilização do CO₂ da atmosfera e à sua transferência para o oceano, o que teria resultado no acentuar do arrefecimento global. Os sedimentos acumulados em regiões de afloramento costeiro contêm, portanto, a história de um processo que tem um papel primordial no sistema global.

IMPORTÂNCIA

A importância dos regimes de *upwelling* pode ser de dois tipos: económico-social e científica. Económica e socialmente, o afloramento costeiro é importante não só por manter/sustentar muitos dos maiores centros de pesca que alimentam a população mundial, mas também porque as áreas de *upwelling* fóssil correspondem a zonas de acumulação de rochas-mãe do petróleo, de diatomitos e de fosforites que constituem importantes recursos minerais. Cientificamente, são importantes, porque para o desenvolvimento de modelos de

previsão é essencial compreender como funcionam estes sistemas e como se comportaram relativamente às oscilações climáticas do passado. Tais modelos de previsão poderão ajudar as comunidades a antecipar qualquer alteração significativa nos stocks de peixe e nas chuvas associados a perturbações dos sistemas de afloramento (como, por exemplo, *El Niño*), bem como a prever a resposta/influência destes sistemas às/nas alterações a nível global (*global change*).

BIBLIOGRAFIA

BARBER, R., e SMITH, R., «Coastal upwelling ecosystems», in A. R. Longhurst (ed.), *Analysis of Marine Ecosystems*, Academic Press, 1981, pp. 31-68.

BAS, C., MARGALEF, R., e RUBIES, P., *Simposio Internacional sobre las Areas de Afloramiento más Importantes del Oeste Africano (Cabo Blanco Y Benguela)*, Barcelona, Instituto de Investigaciones Pesqueras, 1985, 1114 pp.

BERGER, W. H., «Global maps of ocean productivity», in W. H. Berger, V. S. Smetacek e G. Wefer (eds.), *Productivity of the Ocean: Present and Past*, Nova Iorque, John Wiley & Sons, 1989, pp. 429-455.

BERGER, W. H., SMETACEK, V. S., e WEFER, G., *Productivity of the Ocean: Present and Past*, Berlim, John Wiley & Sons, 1989, 470 pp.

DE MASTER, D., «The supply and accumulation of silica in the marine environment», in *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1981, nº 45, pp. 1715-1732.

PREMUZIC, E. T., BENKOVITZ, C., GAFFNEY, J., e WALSH J., «The nature and distribution of organic matter in the surface sediments of world oceans and seas», in *Org. Geochemistry*, 1982, nº 4, cap. 2, pp. 63-78.

RICHARDS, F. A., *Coastal Upwelling*, Washington, American Geophysical Union, 1981, 529 pp.

SARNTHEIN, M., WINN, K., DUPLESSY, J. C., e FONTUGUE, M. R., «Global variations of surface ocean productivity», in *Paleoceanography*, 1988, nº 3, cap. 3, pp. 361-399.

Suess, E., e THIEDE, J., *Coastal Upwelling – Its Sediment Record, Part A: Responses of the Sedimentary Regime to Present Coastal Upwelling*, Proceedings of the NATO Conference Series IV: Marine Sciences, Algarve-Portugal, 1983, 604 pp.

SUMMERHAYES, C., EMEIS, K., ANGEL, M., SMITH, R., e ZEITZSCHEL, B., *Upwelling in the Ocean. Modern Processes and Ancient Records*, Berlim, John Wiley & Sons, 1995, 422 pp.

SUMMERHAYES, C., PRELL, W., e EMEIS, K., *Upwelling Systems: Evolution Since the Early Miocene*, Londres, The Geological Society, 1992, 519 pp.

THIEDE, J., e SUSS, E., *Coastal Upwelling – Its Sediment Record, Part B: Sedimentary Records of Ancient Coastal Upwelling*, Proceedings of the NATO Conference Series IV: Marine Sciences, Algarve-Portugal, 1983, 610 pp.

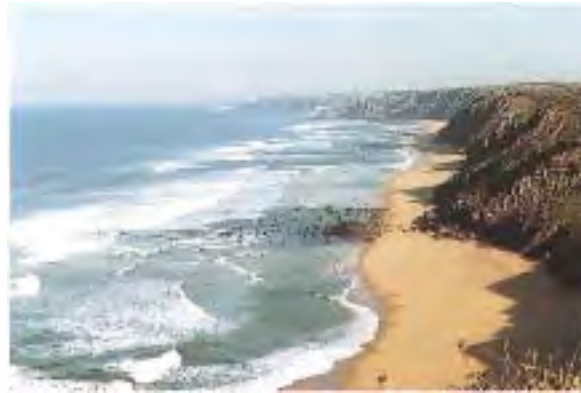
THOMPSON, J., «Ocean deserts and ocean oasis», in M. Glantz (ed.), *Desertification*, Westview Press, 1977.

RECURSOS VIVOS DA PLATAFORMA E VERTENTE CONTINENTAIS

ANTÓNIO M. DE FRIAS MARTINS*

Lentamente, à medida que se desce no mar, o bulício e as cores da complexidade do litoral cedem lugar a uma aparente monotonia de cenário e de vida. O bruxulear caprichoso da luz solar dilui-se numa luminosidade fria cada vez mais cinzenta como um dia que estagnou no crepúsculo. Esta mais ou menos extensa vastidão que desce, em declive suave, até cerca de 200 metros, é a «plataforma continental». Franja submersa do continente, pode apresentar-se rugosa se talhada pelas sucessivas subidas e descidas do nível do mar nas glaciações do último milhão de anos, irregular se resultante de antigos recifes coralinos, ou plana e monótona se formada pelos depósitos de grandes rios (Seibold e Berger, 1982). No entanto, apesar da sua aparente monotonia, a plataforma continental comporta os mais importantes recursos biológicos marinhos. Estreita nas margens activas do continente, com uma extensão de mais de 200 milhas nas margens passivas, a plataforma continental representa apenas 9 % dos fundos marinhos, mas produz cerca de 87 % das capturas totais de pescado (Pérès, 1987).

Para quem acabou de deixar a estonteante explosão de vida do recife coralino, a grande produtividade da plataforma pode assumir foros de paradoxo. Porém, os dois sistemas assentam em estratégias biológicas diferentes: enquanto nos recifes, banhados por mar azul e estéril, a variedade é mantida por força de soluções para uma «reciclagem» exaustiva dos nutrientes escassos, a plataforma vive da introdução



135

contínua e generosa desses nutrientes, sobretudo a partir de terra (Parsons, Takahashi e Hargrave, 1977). A penetração da luz praticamente até ao fundo permite o desenvolvimento de fitoplâncton em toda a espessura da coluna de água; a consequente proliferação de zooplâncton estabelece um patamar alargado para uma pirâmide trófica curta em degraus, que sustenta, por exemplo, a abundância das sardinhas e dos arenques. Por outro lado, as partículas e materiais dissolvidos transportados pelos rios aglutinam-se em agregados maiores e caem para o fundo, como os produtos fecais da abundante vida da coluna de água (Nittrouer, 1993), sendo os detritos finos resultantes da desagregação de plantas costeiras prontamente colonizados por bactérias (Pomeroy, 1992). Tais recursos incentivam o aparecimento de uma fauna bêntica rica de filtradores e detritívoros, convidativa para os grandes carnívoros do fundo. É essa fauna bêntica que constitui o recurso mais rico e variado da plataforma continental.

Figura 135 – A plataforma continental – franja submersa do continente que desce em declive suave até cerca de 200 m. Porto Novo, Vimeiro.

* Professor catedrático de Biologia da Universidade dos Açores



136

Figura 136 – A plataforma continental produz cerca de 87 % das capturas totais de pescado.

As capturas anuais de peixes como o bacalhau e outros gadiformes (12,3 milhões de toneladas), solhas, linguados e aparentados (1,3 milhões de toneladas) e de douradas, sargos, gorazes e outros esparídeos (meio milhão de toneladas), ou de invertebrados como lagostas, lagostins, camarões e outros crustáceos (2 milhões de toneladas), ou moluscos, especialmente bivalves (800 000 toneladas) ilustram copiosamente a abundância da vida na plataforma continental, bem como a nossa dependência da sua exploração (Pérès, 1987).

A plataforma continental é ainda residência temporária para muitos visitantes. O espadarte desloca-se ao amanhecer para junto do fundo da plataforma, a 100 ou 200 metros, alimentando-se ali de peixe do fundo; antes do pôr do Sol parte em direcção à superfície do mar alto, onde se alimenta de lulas (Carey, 1992). De igual modo procedem atuns e tubarões.

A plataforma continental despenha-se nas profundidades oceânicas até atingir a raiz do continente, alguns milhares de metros abaixo. A parede assim formada, o «talude continental», marca o caminho para a escuridão total e permanente do abismo oceânico. Por vezes são os rios que continuam, mar dentro, a sua acção erosiva e criam um talude precoce. Formam-se, assim, gargantas espectaculares denominadas «canhões». O canhão da Nazaré, na continuação da foz do rio Alcoa, é um dos maiores do mundo. O talude provoca mudanças de direcção nas correntes submarinas, forçando a sua subida, um fenómeno chamado «upwelling». Os nutrientes trazidos à superfície por tais correntes alimentam uma incontável profusão de fitoplâncton, a base da cadeia alimentar no oceano. Constituindo 16 % da superfície dos fundos marinhos, o talude continental é

responsável por 4 % da produção mundial de pescado. A vida bêntica no talude continental, embora constantemente ameaçada por deslocações gigantescas, eminentemente destrutivas, de vasa acumulada nos bordos – as «correntes de turbidez» – exhibe todavia variabilidade considerável (Rex, 1983).

A riqueza biológica da plataforma continental encontra-se ameaçada por três razões ligadas à sua exploração. A sobreexploração de certas espécies-chave altera o equilíbrio daquelas comunidades marinhas e cria outro tipo de comunidades, quicá de menor interesse para a utilização humana. A utilização de redes de arrasto, por exemplo, para captura de crustáceos e moluscos, revolve o fundo marinho,

Figura 137 – A utilização de redes de arrasto revolve o fundo marinho, perturbando profundamente as comunidades nele estabelecidas.



137

Figura 138 – Cerca de 12,3 milhões de toneladas de bacalhau e outros gadiformes são retirados anualmente da plataforma continental.



138

perturbando profundamente as comunidades nele estabelecidas. O resultado mais evidente desta alteração do *habitat* será o inevitável empobrecimento biológico e a interrupção catastrófica de elos da cadeia alimentar (Norse, 1993). Outro problema resultante das pescas de arrasto é a captura e desperdício de elevada quantidade de espécies não-alvo. Na pesca de 2 milhões de toneladas de camarão com redes de arrasto recolhem-se de 4,5 a 19 milhões de toneladas de peixe que é rejeitado (Brickleneyer, Iudicello e Hartman, 1989).

O respeito pelas restrições a que a vida, por natureza, está sujeita permitirá que se consiga uma exploração sustentada dos recursos vivos daquela faixa de continente submerso que abraça metade da Humanidade e de que todos tão profundamente dependemos.

PARSONS, T. R., TAKAHASHI, M., e HARGRAVE, B., *Biological Oceanographic Processes*, 2.ª ed., Oxford, Pergamon Press, 1977, 332 pp.

PÉRÈS, J.-M., *La mer*, Paris, Éditions Seghers, 1987, 236 pp.

POMEROY, L. R., «The microbial food web», in *Oceanus*, vol. 35, nº 3, Syracuse, Nova Iorque, 1992, pp. 28-35.

Rex, M. A., «Geographic patterns of species diversity in the deep-sea benthos», in G. T. Rowe (ed.), *Deep Sea Biology*, Nova Iorque, John Wiley, 1983, pp. 453-472.

SEIBOLD, E., e BERGER, W. H., *The Sea Floor*, Berlim, Springer Verlag, 1982, 288 pp.

BIBLIOGRAFIA

BRICKLENEYER, E. C. Jr., IUDICELLO, S., e HARTMANN, H. J., «Discarded catch in U.S. comercial marine fisheries», in W. J. Chandler e L. Labate (eds.), *Audubon Wildlife Report 1989/1990*, Nova Iorque, Academic Press, 1989, pp. 259-295.

CAREY, F.G., «Through the thermocline and back again», in *Oceanus*, vol. 35, nº 3, Syracuse, Novo Iorque., 1992, pp. 79-85.

NITTROUER, C. A., «Controlling the ingredients that flow to the sea», in *Oceanus*, vol. 36, nº 2, Syracuse, Novo Iorque, 1993, pp. 12-18.

NORSE, E. A., *Global Marine Biological Diversity*, Washington D.C., Island Press 1993, 383 pp.



FONTES TERMAIS SUBMARINAS: A PONTA DO ICEBERGUE

FERNANDO J. A. S. BARRIGA*

INTRODUÇÃO

Voltemos, por instantes, o meados dos anos 60. No seu gabinete, o professor Seiya Uyeda, da Universidade de Tóquio, debruça-se, perplexo, sobre o diagrama da figura 140. A dispersão de valores do fluxo de calor medido nos fundos oceânicos é totalmente inesperada. Previra-se uma diminuição suave dos valores com o afastamento dos *rifts* relacionado com o produção de magmas e um arrefecimento progressivo à medida que o nova crosta se afastava para os lados.

Nessa mesma tarde, o professor Bill Fyfe, então do Universidade de Manchester, estava em Itália, acompanhado por um grupo de estudantes, sobre um afloramento de serpentinito no Ligúria Oriental, não muito longe de Sestri Levante, mostrando o gigantesco rede de fracturas preenchidas por calcite que atravessa aquelas rochas (figura 141) e argumentando que estas nunca poderiam ter chegado a tal estado sem reacção com enormes quantidades de água. Outro grande enigma, visto que os serpentinitos derivam de rochas plutónicas e não se vislumbra como poderiam ter estado expostos o tanto água. Foi necessário compreender que os rochas do Ligúria fazem porte de um ofiolito, isto é, que já pertenceram ao fundo do mar, sendo depois transportados para terra por acção de esforços tectónicos relacionados com o fecho de um oceano.

Da conjugação do estudo geofísico dos oceanos com o estudo geológico dos ofiolitos resultou o interpretação – o dispersão do fluxo de calor e as

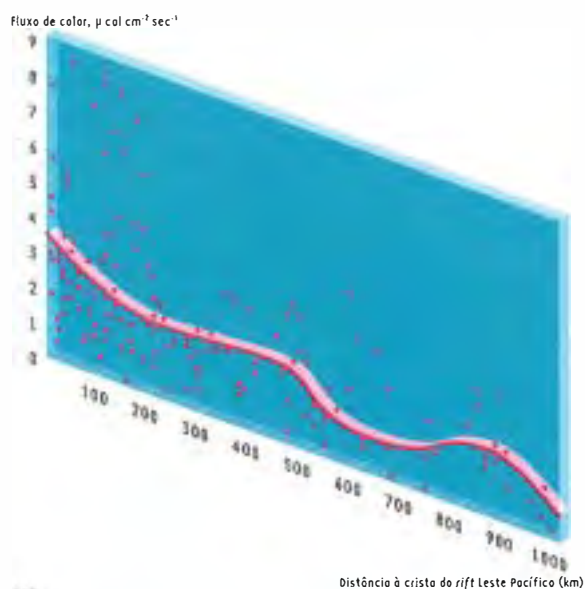


Figura 140 – Variação do fluxo de calor em função da distância ao rift Leste Pacífico (adoptado de Lee e Uyeda, 1965).
Figura 141 – Serpentinito com fracturas preenchidas por carbonatos (oficolcrite). Ligúria, Itália.

transformações das rochas (o chamado *metamorfismo oceânico*) têm a mesma causa: circulação de água do mar através das rochas, movido pelo gradiente térmico entre o base e o topo da crosta e possibilitado pela permeabilidade das rochas. Este tipo de fenómeno é bem conhecido em terra nos campos geotérmicos. É justo lembrar também Clive Lister (recentemente falecido), da Universidade de Seattle, um dos primeiros geofísicos a compreenderem a natureza dos fenómenos subjacentes aos resultados do fluxo de calor, que modelou com rigor em termos de convecção celular e, posteriormente, confirmou através de novas observações, na zona do *rift* Juan de Fuca. No fim da década de setenta, existiam já os estudos-chave que permitiram começar-se o ter

* Professor catedrático, presidente do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa



Figura 142 – Chaminé hidrotermal no rift Leste Pacífico (21°N). O fluido emana o uma temperatura superior a 300 °C.



Figura 143 – Reconstrução de duas plumas provenientes de chaminés hidrotermais, a 3,5 m um do outro, no sítio 21°N do rift Leste Pacífico (Rono et al., 1991).

uma noção da extensão dos fenómenos hidrotermais submarinos: em crosta oceânica com 55 milhões de anos de idade, bem sedimentada, observa-se ainda a distribuição do fluxo de calor típica do regime de convecção celular através da crosta, com altos e baixos alternados, segundo distribuições aproximadamente sinusoidais. Daqui resulta que, pelo menos, cerca de um terço das rochas dos fundos marinhos está neste momento a ser percorrido por água do mar.

O mais interessante é que os investigadores acima citados previram, com anos de antecedência, que as fontes termais submarinas deveriam não só existir, mas também ser comuns nos fundos oceânicos. A capacidade de previsão é uma das principais características da ciência e encontra na descoberta do hidrotermalismo submarino um dos seus melhores exemplos. De facto, as primeiras visitas tripuladas ao *rift* das Galápagos, em princípios de 1977, e ao *rift* Leste Pacífico, nos dois anos seguintes, detectaram fluidos e edifícios hidrotermais diferentes de tudo o que até então se conhecia (figura 142).

As fontes termais e os minérios metálicos que lhes estão associados foram previstos com antecedência, mas já a descoberta de ricas comunidades de animais, vivendo na dependência das fontes termais, foi totalmente inesperada. Estas não incluem organismos fotossintéticos, mas apenas quimiossintéticos, e extraem a sua energia do fluido hidrotermal, e não do Sol.

A actividade hidrotermal submarina é, sem dúvida alguma, um dos fenómenos naturais mais espectaculares e de maior importância na dinâmica e na evolução da crosta terrestre, com numerosas implicações científicas, económicas e ambientais. O seu conhecimento revolucionou as ciências da Terra, ao evidenciar o papel essencial da água na evolução da crosta e a íntima relação entre processos físicos, químicos e biológicos, considerados até há poucas décadas largamente independentes.

PROSPECÇÃO HIDROTHERMAL

Interessa mencionar como se procede para descobrir campos hidrotermais. Começa-se por obter, ou produzir, cartografia do fundo na região em estudo, geralmente através de sonar a partir de um navio ou rebocado por este próximo do fundo (*Gloria*, *SAR*). Nas zonas favoráveis mergulham-se sondas (para temperatura, salinidade, turbidez) e amostradores capazes de recolher água, ou filtrar partículas, a várias profundidades na coluna de água. Existem processos sofisticadíssimos para aumentar o número de medições realizadas e de amostras colhidas em cada passagem do navio, assim como para localizar com precisão o ponto de colheita de cada uma. Tudo isto se destina a cartografar as plumas de dispersão provenientes das chaminés hidrotermais (figura 143) que são detectáveis a milhares de metros de distância. A concentração de determinados indicadores – incluindo metano, ácido sulfídrico, manganês – e a própria densidade de partículas na água aumentam com a proximidade dos campos



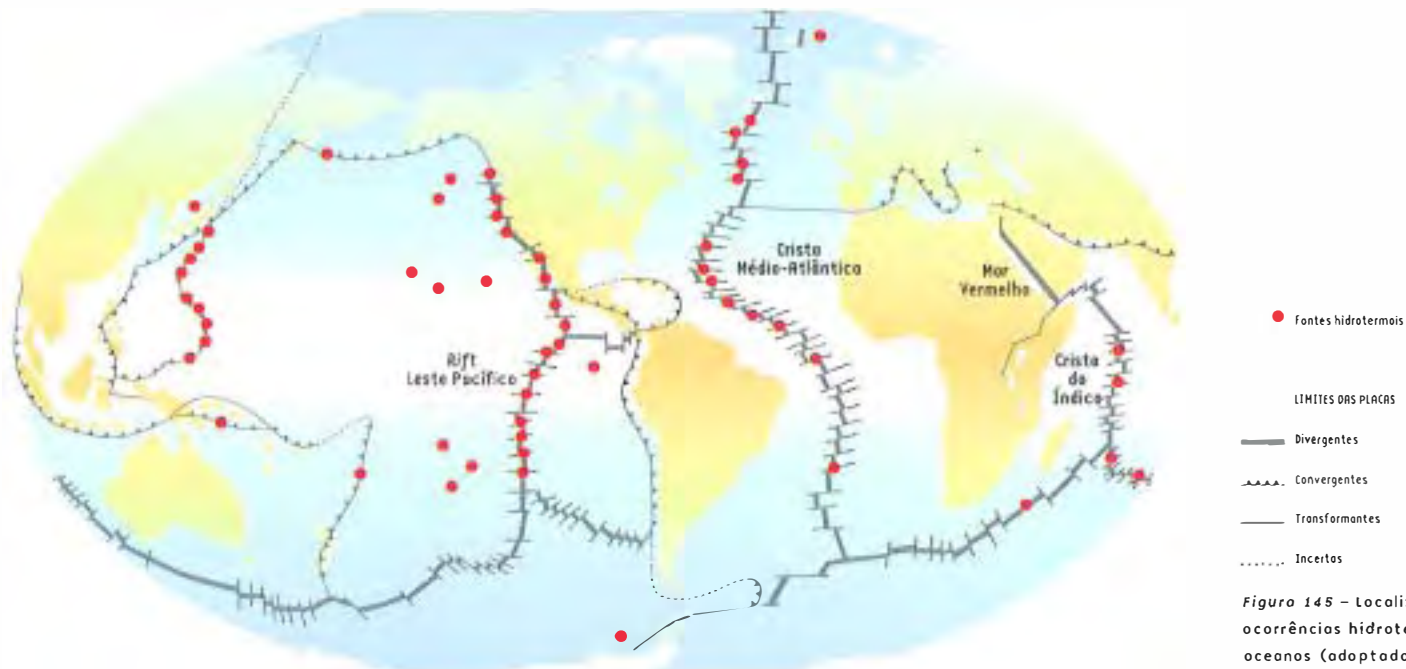
144

hidrotermais. Definem-se, assim, alvos para posterior inspecção directa, com submarino ou ROV¹. Chris German, da Universidade de Southampton, e Jean-Luc Charlou e Joel Knoery, do IFREMER (França), alguns dos mais destacados especialistas em prospecção hidrotermal, têm liderado estudos notáveis na crista Médio-Atlântica, a qual tem sido palco de várias descobertas espectaculares, incluindo o sítio Lucky Strike, no mar dos Açores (v. adiante).

A mais recente destas descobertas, a do campo Rainbow no segmento AMAR, foi em Julho de 1997, após anos de estudos e várias missões oceanográficas que permitiram definir grandes anomalias na água do mar (nomeadamente metano e densidade de partículas – nefelometria). O campo Rainbow é diferente da maioria dos restantes, pois o *rift*, na região, é composto por serpentinitos, e não por basaltos, pelo que não podem aqui invocar-se calor ou outras influências magmáticas. Este campo contém chaminés extremamente activas, que produzem grandes quantidades de «fumo» negro a temperaturas que podem atingir 362 °C (figura 144).

Hoje, após duas décadas de prospecção hidrotermal, conhecem-se numerosas fontes termais: em todos os oceanos, nos *rifts*, associadas a ilhas oceânicas e algumas em fossas abissais (figura 145). Mas a dimensão da área de estudo excede largamente as possibilidades actuais da prospecção, e o trabalho realizado até agora, apesar de notável, em qualidade e em quantidade, não

Figura 144 – Chaminés activas e inactivas no campo hidrotermal Rainbow, segmento AMAR do rift médio Atlântico.



145

¹ Remotely Operated Vehicle.

Figura 145 – Localização das ocorrências hidrotermais nos oceanos (adoptado de Rona e Scott, 1993).

permite ainda conhecer com precisão a natureza e a extensão do hidrotermalismo submarino. Estão explorados apenas cerca de 10 % da extensão dos rifts e está praticamente tudo por fazer nos restantes fundos marinhos (planícies abissais, arcos insulares, fossas). Isto no que diz respeito à superfície, claro. Na terceira dimensão, em profundidade, ainda se conhece muito menos: é necessário perfurar a crosta, sob milhares de metros de água, com dificuldades e custos difíceis de imaginar. Na quarta dimensão, a temporal, apenas temos um fugaz instante (duas décadas), ainda por cima constituído por observações de apenas algumas dezenas de horas em cada local.

O ESTUDO DOS OFIOLITOS

Todas estas dificuldades são suavizadas pela possibilidade de estudar, em terra, os já aludidos ofiolitos, fragmentos de crosta oceânica antiga, hoje emersos, ao longo de margens continentais, actuais ou passadas. Nos ofiolitos não encontramos chaminés hidrotermais activas, claro, mas alguns dos minerais que se formaram por acção destas. Os ofiolitos encontram-se sempre mais ou menos

desmembrados, ou tombados, permitindo percorrer, no terreno, sucessões de rochas que originalmente estavam sobrepostas, com as inferiores totalmente inacessíveis à observação quando se encontravam na sua posição original, no fundo do mar. Por outro lado, os ofiolitos documentam também rochas e fenómenos que representam intervalos de tempo incomparavelmente mais longos (dezenas de milhão de anos) do que os envolvidos nas observações actuais nos fundos marinhos. O estudo dos ofiolitos representa para o hidrotermalismo submarino mais do que a história e a arqueologia para o estudo de uma cidade antiga como Lisboa.

MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO DE UM CAMPO HIDROTHERMAL

Os campos hidrotermais submarinos são os lugares de descarga de fluidos que, no essencial, começaram por ser água do mar normal, mas que, após um longo trajecto através das rochas que constituem o fundo do mar, a ele voltaram, carregados de sais extraídos das rochas, incluindo metais como ferro, cobre, zinco (tabela) e até ouro. Este assunto será abordado mais adiante. Por

COMPOSIÇÃO DA ÁGUA DO MAR E DE ALGUNS FLUIDOS HIDROTHERMAIS SUBMARINOS (RLP, RIFT LESTE PACÍFICO)

		Água do mar	Lucky Strike		TAG Trans Atlantic Geotraverse		10°N RLP Rift Leste Pacífico		Middle Valley		Bacia de Iau	
			Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Temp.	°C	2	170	320	360	366	—	<403	264	276	—	334
pH		7.8	3.8	4.5	3.3	—	>2.5	—	5.13	5.5	2	—
H ₂ S	mmol/kg	0	—	<2.5	2.5	3.5	—	<110	3	—	—	—
Si	mmol/kg	0.04	12	18	22	—	2.7	20	9.7	10.6	14	—
Cl	mmol/kg	541	420	550	659	—	32	330	412	578	650	800
Ba	µmol/kg	0.14	15	80	—	—	—	—	15	—	20	60
Fe	µmol/kg	<0.001	100	700	1640	—	723	5900	10	20	12	29
Mn	µmol/kg	<0.001	50	450	1000	—	109	283	63	78	58	71
Cu	µmol/kg	0.007	5	60	150	—	—	—	0.3	1.3	15	35
Zn	µmol/kg	0.01	5	30	46	—	—	—	0.7	1.7	1200	3100

agora interessa caracterizar estes locais de descarga hidrotermal. Observam-se duas situações extremas: a descarga hidrotermal pode ser focalizada, com saída de grandes quantidades de fluido por condutas muito pequenas (com secções da ordem dos centímetros quadrados), ou difusa, através de áreas extensas do fundo do mar, de dezenas ou centenas de metros quadrados ou, possivelmente, mais ainda. No primeiro caso geram-se edifícios hidrotermais protuberantes: não só as conhecidas chaminés² (figura 142), mas também «flanges» e «cortiços», descritos adiante. Se a descarga é mais lenta, quer devido a menor quantidade de fluido, quer a maior permeabilidade do fundo, o fluido poderá escapar-se de forma difusa a uma temperatura mais baixa. Por este processo, os minerais hidrotermais formam-se no interior da crosta, um pouco abaixo do fundo do mar, sob a forma de precipitados que, tal como o calcário nos canos ou o colesterol nas artérias, tendem a entupir as condutas. Simultaneamente, a rocha do fundo, inicialmente fragmentada (daí a sua permeabilidade), vai sendo cimentada e endurecida pelo processo. Formam-se, assim, crostas endurecidas denominadas *slabs*. Estes dois modos de descarga podem coexistir no mesmo campo hidrotermal. Entre as chaminés existe frequentemente descarga difusa, e provavelmente *slabs*³. Noutros casos apenas ocorre descarga difusa, indiciando talvez campos hidrotermais em fase precoce de desenvolvimento.

CHAMINÉS, FLANGES, CORTIÇOS

A figura 147 representa um edifício hidrotermal complexo, de grandes dimensões, descoberto no segmento Endeavour do *rift* Juan de Fuca. Consiste numa gigantesca chaminé de cerca de 45 m de altura, ornamentada com numerosas flanges (campânulas) geradas por precipitação mineral lateral, cobrindo fugas laterais de fluido.



146

Estas flanges contêm fluido quente, menos denso do que a água do mar, que por isso tende a subir, o que acontece nos bordos e fissuras das flanges. Verifica-se aí então mistura com água do mar e precipitação de minerais, fazendo crescer a flange. Algumas das mais belas flanges conhecidas ocorrem no campo hidrotermal Lucky Strike (figura 146).

Outro tipo de estrutura interessante são os cortiços, descobertos em 1991 no sítio Snake Pit, na crista Médio-Atlântica (v. figura 145). Nestes, o fluido escapa-se de forma semidifusa, através de cavidades planares horizontais (figura 148). No núcleo destas estruturas, as temperaturas atingem cerca de 350 °C e, na periferia, apenas 70 °C, sugerindo que a mistura com a água do mar se dá no interior do cortiço.

MINERALOGIA

A descarga difusa precipita em grande parte óxidos e hidróxidos de ferro e de manganês, argilas e sílica. As chaminés a temperaturas mais baixas (até 150 °C) produzem principalmente partículas brancas de sílica (opala), anidrite e barite, pelo que são conhecidas por «chaminés brancas» (*white smokers*). As chaminés a temperaturas mais elevadas (chaminés negras, 150-400 °C) produzem grandes quantidades de sulfuretos, de ferro (marcassite, pirite, pirrotite), de zinco (esfalerite, wurtzite) e de cobre (calcopirite, isocubanite).



147

Figura 146 – Fotografia, de baixo para cima, de uma flange no campo hidrotermal Lucky Strike (sítio Bairro Alto). Nota-se o fluido hidrotermal retido no interior da cavidade da flange, a 160 °C, e o interior revestido a cristais de sulfuretos (pontos brilhantes).

Figura 147 – Edifício hidrotermal (chaminé complexa) do tipo Endeavour. O submarino Alvin tem 3 m de altura e o edifício mais de 45 m (segundo Robigou et al., 1993).

² Não deve traduzir-se [black] smoker por «fumador» (como, aliás, se vê, erroneamente, em textos franceses e russos, pelo menos). Smoker, em inglês corrente, utiliza-se também como abreviatura de *smokestack*, chaminé.

³ Ainda que se suspeite que os *slabs* sejam comuns, só muito recentemente foram descobertos e descritos. São particularmente notórios no mar das Açores, nos sítios Lucky Strike e Menez Gwen.

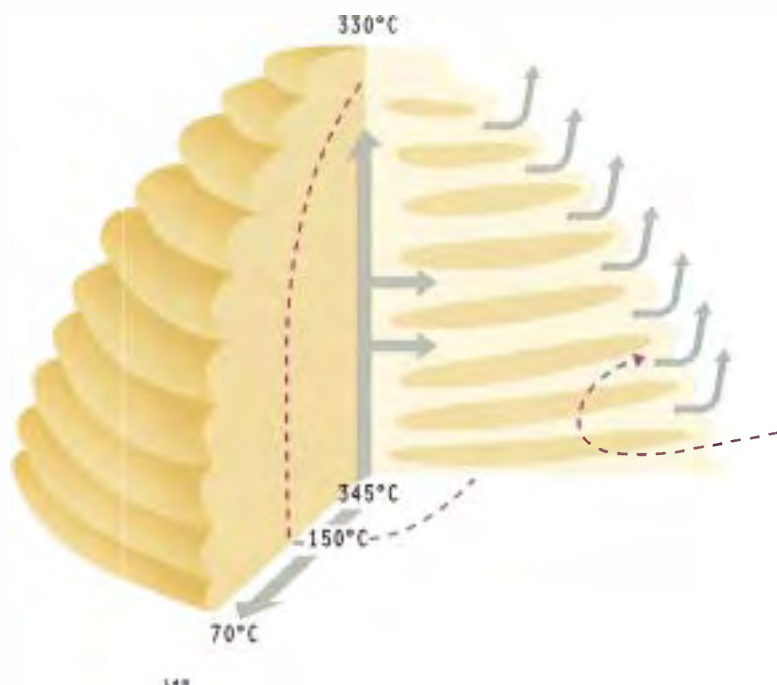


Figura 148 – Representação esquemática de um corte transversal de uma crosta oceânica (adaptado de Fouquet et al., 1993).

COMPOSIÇÃO DOS FLUIDOS

Os fluidos que emanam dos sítios hidrotermais submarinos apresentam composições variáveis. A maior parte das análises existentes corresponde aos fluidos mais quentes de cada sítio hidrotermal, que são aqueles de que mais frequentemente se recolhem amostras. A maioria dos que produzem «chaminés brancas», a temperaturas relativamente baixas, apresentam evidência de consistirem em misturas de água do mar normal com um fluido semelhante aos mais quentes. A tabela (pág. 148) exhibe algumas características de fluidos hidrotermais e da água do mar para comparação. Pode ver-se que os fluidos hidrotermais são ácidos e enriquecidos em sílica e em numerosos metais, o que se explica facilmente: o aquecimento do fluido no interior da crosta provoca reacções químicas cujo resultado é exactamente o abaixamento do pH e a aquisição, por parte do fluido, da capacidade de dissolução de metais.

As abundâncias em H_2S (ácido sulfídrico) e em cloro resultam de fenómenos menos evidentes. O primeiro poderá resultar de dissolução de sulfuretos das rochas, ou de reacções de oxidação-redução do sulfato da água do mar, especialmente da que foi incorporada tardiamente no fluido hidrotermal. Quanto ao cloro, valores superiores aos da água do mar explicam-se bem através de hidratação das rochas (com o consequente aumento do teor de cloretos do fluido remanescente); os valores baixos são mais bizarros e exigem separação de fases por um processo como que de ebulição de um fluido complexo (exsolução de um fluido quente e salino de outro menos quente e menos salino).

OXIDAÇÃO/DISSOLUÇÃO

Sabe-se que a água do mar é um fluido corrosivo (pergunte-se aos proprietários de automóveis que vivem no litoral). O que nem todos sabem é que tal se deve, em primeiro lugar, ao seu carácter extremamente oxidante, devido ao oxigénio e ao sulfato (SO_4) abundantes que contém. Os sulfuretos são instáveis na presença de água do mar, sendo rapidamente oxidados por esta, produzindo-se óxidos e hidróxidos de ferro (limonite) e solubilizando-se os metais menos oxidáveis, tais como cobre e zinco (sob a forma de sulfatos solúveis). O resultado é que os sulfuretos hidrotermais submarinos se formam enquanto estão em contacto com o fluido hidrotermal (reduzidor) e começam a ser destruídos assim que este desaparece. Em redor das chaminés activas (negras) o fundo do mar encontra-se geralmente coberto de partículas de óxidos de ferro, provenientes da imediata oxidação dos sulfuretos existentes no «fumo negro» (figura 142). As chaminés, mesmo as activas, apresentam invariavelmente uma película externa de oxidação, por vezes espessa.

Após a cessação da actividade, as chaminés são ainda mais rapidamente oxidadas, visto que deixam

de formar-se novos sulfuretos. O produto final, visível no fundo do mar, poderá ser principalmente constituído por óxidos de ferro, sulfatos (de cálcio e de bário), sílica (opala, quartzo), a menos que o processo de oxidação seja interrompido através da cobertura rápida do campo hidrotermal por sedimentos. Este último fenómeno observa-se em locais próximos de terra (como no *rift* Juan de Fuca, a oeste de Seattle e Vancouver).

A TERCEIRA DIMENSÃO DOS CAMPOS HIDROTERMAIS

Podem fazer-se observações directas somente na fina película que constitui o fundo do mar. Em profundidade, temos apenas os testemunhos de algumas sondagens, realizadas com enormes dificuldades, em sítios como o Middle Valley do *rift* Juan de Fuca e o TAG (Trans Atlantic Geotraverse) na crista Médio-Atlântico. Em ambos os locais foi possível atravessar mais de 100 metros de rocha (em grande parte produtos hidrotermais), constatando-se a existência de sulfuretos abundantes, com vários tipos de ocorrências, salientando-se duas principais: zonas quase exclusivamente constituídas por sulfuretos (sulfuretos maciços); e sulfuretos em fracturas e disseminações na rocha encaixante. Na figura 149 pode observar-se um perfil segundo o sítio TAG, baseado na interpretação das sondagens aí realizadas.

Os resultados existentes, apesar de escassos, mostram já que as chaminés hidrotermais são apenas a ponta do *icebergue* e que a larga maioria dos produtos hidrotermais se acumula abaixo da superfície, num ambiente protegido, de vários pontos de vista:

Dispersão – Quando o fluido hidrotermal atinge a superfície da crosta e se escapa para o mar, grande parte do seu conteúdo em solução perde-se, em parte por dispersão de partículas em

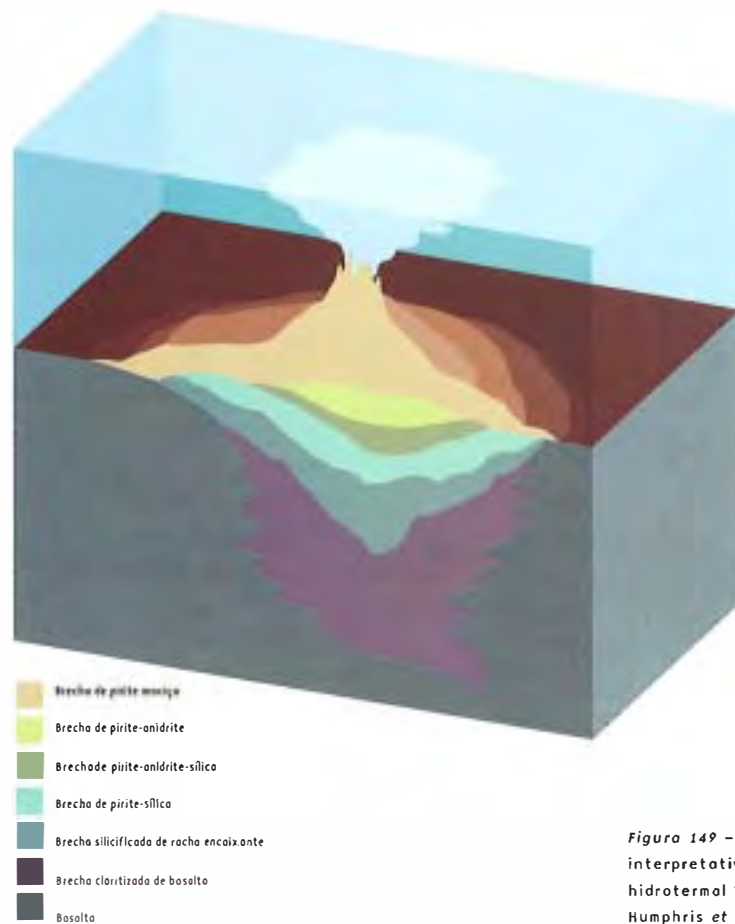


Figura 149 – Perfil esquemático interpretativo no sítio hidrotermal TAG (adoptado de Humphris et al., 1995).

149

suspensão, em parte por não chegarem a precipitar alguns dos componentes. A dimensão gigantesca deste fenómeno está bem patente nas plumas de dispersão que se utilizam para descobrir os campos hidrotermais (v. o que atrás ficou dito). É óbvio que, quando a maior parte da precipitação se verificar abaixo da superfície, haverá menos dispersão.

Oxidação/redissolução – À superfície, os sulfuretos oxidam rapidamente, perdendo-se os metais básicos (Cu, Zn, Pb), como vimos na secção anterior. Abaixo da superfície, tal não se verifica, ou o fenómeno será grandemente atenuado, visto que o fluxo de fluido hidrotermal será

largamente dominante e o ambiente mais redutor. Note-se que a parte superficial de um campo hidrotermal, ao mesmo tempo que é parcialmente destruída pela corrosiva água do mar, pode tornar-se numa cobertura de baixa permeabilidade que, após uma fase inicial de construção, se transforma num agente protector das raízes do sistema. As chaminés parcialmente destruídas podem transformar-se em *slabs* constituídas essencialmente por óxidos de ferro e manganês⁴ e por sílica (com ou sem sulfatos e carbonatos), impedindo efectivamente, ou diminuindo, o escape do fluido hidrotermal. Se tal acontecer, o fluido será obrigado a deslocar-se lateralmente na subsuperfície, aumentando muito as possibilidades de precipitação de minerais no interior da crosta. Estas condições são susceptíveis de originar jazigos minerais, como os grandes e importantes jazigos de sulfuretos maciços hoje em exploração em terra, formados há centenas ou até milhares de milhão de anos, no fundo de antigos mares, hoje desaparecidos.

RECURSOS MINERAIS

A actividade hidrotermal submarina actual é responsável pela formação de jazidas minerais muito interessantes, de dois tipos principais: os sulfuretos vulcanogénicos e os nódulos de manganês. Os primeiros ocorrem nos próprios campos hidrotermais, e os nódulos encontram-se atapetando vastíssimas áreas do fundo de todos os mares. Enquanto os depósitos de sulfuretos são claramente incapazes de competir, em interesse económico, com os jazigos em terra, os nódulos de manganês motivaram, nos anos 70, estudos de viabilidade económica. Não devido ao manganês em si, metal de que existe amplo fornecimento em terra, mas porque em algumas zonas (principalmente nos oceanos Índico e Pacífico) os

nódulos contêm, além do manganês, quantidades significativas de cobre, níquel e cobalto, três metais de grande valor. Em relação ao cobalto, existe mesmo notável escassez de recursos em terra. Mas as dificuldades são esmagadoras. Desde problemas legais (a quem pertencem os nódulos, quase todos em águas internacionais?) e logísticos (como recolhê-los, a mais de 4000 m de profundidade?) até, mais importante, problemas ambientais: os nódulos repousam sobre lamas soltas, que seriam transformadas em densas nuvens de partículas em suspensão na água, se o fundo fosse percorrido por máquinas capazes de os recolher. Toda a cadeia alimentar nos oceanos poderia ser grandemente afectada, com consequências imprevisíveis. Por estas razões, os nódulos permanecem um recurso especulativo, actualmente sem possibilidade de exploração.

Grande parte dos metais, como cobre, zinco, chumbo, prata e até ouro, presentemente extraídos em minas, ocorrem em jazigos (de sulfuretos maciços vulcanogénicos) que se formaram em consequência de processos semelhantes aos que hoje alimentam as fontes termais submarinas. O estudo destas é extremamente importante para a compreensão dos jazigos antigos, mais do que para tentar descobrir jazigos com interesse económico no fundo do mar. E da compreensão derivam novos métodos para descobrir jazigos ocultos, pelo que estes estudos têm enorme interesse económico, ainda que indirectamente.

Após uma fase inicial (anos 80), em que muitos investigadores julgaram reconhecer nas chaminés submarinas as réplicas actuais dos jazigos antigos, foi-se progressivamente reconhecendo que as semelhanças são muito grandes em termos gerais, mas que as diferenças são igualmente significativas, especialmente quando consideramos os jazigos antigos com importância económica (grandes e de altos teores em metais básicos e preciosos). A maioria dos campos hidrotermais actuais conhecidos

⁴ A deposição de óxidos de manganês acompanha o envelhecimento das chaminés, imediatamente após a cessação da actividade hidrotermal.

contêm quantidades de sulfuretos muito modestas quando comparados com os grandes jazigos antigos. Alguns destes são bem nossos conhecidos: ocorrem no Sul de Portugal e em Espanha, numa faixa entre Alcácer do Sal e Odemira (a oeste) e Sevilha (a leste), a que se dá o nome de «Faixa Piritosa Ibérica», devido à abundância extraordinária de sulfuretos aí existente. A Faixa Piritosa é a mais importante reserva de metais básicos da Europa Ocidental e uma das maiores e mais importantes províncias metalogenéticas da sua classe (jazigos de sulfuretos maciços vulcanogénicos) à escala mundial. Dela fazem parte os famosos jazigos de Rio Tinto (Espanha) e Aljustrel, explorados desde a mais remota Antiguidade, e os de Neves-Corvo, descobertos em 1977. Estes últimos têm, na actualidade, a máxima importância económica (trata-se da mina mais importante da Europa), deles se extraíndo, por ano, mais de 160 000 toneladas de cobre metal e mais de 5000 toneladas de estanho. Neves-Corvo, juntamente com Kidd Creek, no Canadá, destacam-se nitidamente dos restantes jazigos de sulfuretos maciços vulcanogénicos conhecidos em todo o mundo.

Na Faixa Piritosa, como na maioria dos restantes jazigos antigos, observam-se algumas características que contrastam vincadamente com os campos hidrotermais actuais, não obstante as semelhanças gerais (ocorrência no topo, ou perto do topo, de acumulações significativas de rochas vulcânicas submarinas e perto de um antigo fundo marinho). Os jazigos antigos não apresentam, geralmente, sinais de oxidação dos minérios. Contudo, estão-lhes associadas quase sempre rochas de origem hidrotermal muito oxidadas, tais como jaspes, que poderiam resultar da evolução da parte superficial dos campos hidrotermais. Este tema está presentemente em estudo, existindo fortes indícios de que a acumulação significativa de sulfuretos maciços se realiza abaixo da superfície, por vezes com sinais exteriores subtis. Será necessário

investigar com novas ferramentas, capazes de detectar o que existe imediatamente abaixo do fundo do mar. Por outro lado, a importância da existência de uma cobertura confere novo significado a todas as situações de crosta oceânica relativamente jovem, coberta por sedimentos, ainda por explorar. Afinal, os grandes jazigos oceânicos actuais talvez ainda estejam por descobrir.

METAMORFISMO OCEÂNICO E DINÂMICA DA TERRA

Vimos que os campos hidrotermais são apenas a expressão visível de um fenómeno a uma escala muito mais vasta, que afecta grande parte da crosta oceânica, a que se dá o nome de «hidrotermalismo submarino» ou «metamorfismo oceânico». Não cabe neste breve texto dedicado aos campos hidrotermais descrever, na sua globalidade, os vários aspectos do fenómeno mais vasto, que é o metamorfismo oceânico, mas as suas consequências são tantas, e de tal modo importantes, que se justifica uma breve menção às mesmas.

BALANÇO TÉRMICO DA TERRA

Bill Fyfe, convidado a escrever para a revista portuguesa *Colóquio/Ciências*, intitulou o seu artigo «Planeta convectivo em mudança». De facto, dos três modos clássicos de propagação do calor (irradiação, condução e convecção), é o terceiro o que domina largamente na dissipação de calor da Terra, desde o núcleo à atmosfera.

Todos sabemos o que é a convecção: se aquecermos a parte inferior de um determinado volume de fluido, este irá dilatar-se, tornando-se menos denso e, portanto, subindo. Ao afastar-se da fonte de calor, entrará em arrefecimento, pelo que será posteriormente afastado por novos incrementos de fluido aquecido. É por isto que os aquecedores se

colocam sempre que possível junto do chão nas nossas casas, e não junto do tecto, onde incomodam menos e não constituem perigo, mas onde o ar aquecido fica praticamente imóvel, acima das pessoas transidas de frio!

O núcleo externo é líquido, convecta muito rapidamente (tal como os oceanos e a atmosfera). O manto tem comportamento variável, consoante os esforços a que seja sujeito. Perante a «tentativa» de subida dos materiais mais quentes (menos densos) e mais profundos, o manto⁵ adquire um comportamento plástico, que lhe permite movimentar-se, muito lentamente, mas sem rotura, gerando-se células convectivas com ciclos de dezenas de milhão de anos⁶.

A convecção na crosta terrestre difere substancialmente destas convecções em meio fluido. Não é a parte sólida que se move, mas um fluido intersticial, que existe em fracturas ou na porosidade das rochas. Nas condições da crosta oceânica, para que exista convecção basta que exista permeabilidade, visto que as duas outras condições necessários (aquecimento por baixo e fluido abundante) são largamente excedidas em todos os pontos dos fundos oceânicos. As rochas vulcânicas que constituem o fundo do mar (lavas em almofado, brechas) são extremamente permeáveis. Mais abaixo existem filões, ainda muito permeáveis, e depois rochas francamente intrusivos (gabros seguidos de peridotitos), que inicialmente são impermeáveis, mas que cedo se enchem de fracturas, em grande parte devido ao arrefecimento brusco produzido pela circulação da água. A camada permeável vai aumentando de espessura, à medida que aumenta a fracturação. Este processo atinge os peridotitos, e aí verifica-se a transformação dos minerais ígneos como a olivina em serpentina, com grande aumento de volume e fracturação acelerada (figura 141). A água do mar consegue, assim, penetrar na crosta até profundidades da ordem dos 10 km. O processo parece ser limitado apenas pelo

pressão confinante: a cerca de 10 km, esta é de tal forma grande que impede a fracturação do olivina. Na opinião de muitos autores, a descontinuidade de Mohorovicic, nos oceanos, corresponde a uma barreira de serpentinização.

Tanto quanto sabemos, a actividade hidrotermal submarina afecto, ou afectou, toda a crosta oceânica, quer em extensão, quer, provavelmente, em profundidade. Uma vez que o motor desta circulação é o calor das rochas e o emanado do interior da Terra, não é de estranhar que a parte do calor extraído por este processo seja grande. Estima-se que mais de um terço da totalidade do calor dissipado pela crosta oceânica se escapa por transferência convectiva, o que lhe confere estatuto de primeira grandeza no seio dos processos energéticos que caracterizam a Terra.

CICLOS GEOQUÍMICOS GLOBAIS

É sabido que os oceanos constituem lugares de acumulação natural da Terra: a erosão dos continentes produz depósitos sedimentares no fundo do mar, principalmente ao longo das margens continentais. Alguns dos componentes, solúveis, passam das rochas expostas nos continentes poro a água dos rios e acabam por integrar a água do mar. Conhecido o ciclo erosão-transporte-sedimentação, é possível ensaiar o quantificação dos vários fluxos, à escala global, determinando os chamados ciclos geoquímicos globais poro cada elemento ou composto químico. Estes cálculos funcionam como «prova real» dos ciclos e premissas considerados e forçam frequentemente a revisão dos mesmas. Este é um exercício de grande importância, que tem mostrado, por exemplo, o impacto da actividade humana, hoje de tal forma grande que compete com a totalidade dos processos naturais de destruição da crosta. Em alguns casos, os resultados do modelação mostram que o hidrotermalismo submarino é um factor de primeira grandeza, quer na composição do

⁵ Ou, mais exactamente, o astenosfera, parte do manto abaixo dos cerca de 100 km. Acima situa-se a litosfera, constituído pelo parte superficial do manto e pelo crosta. A litosfera apresenta comportamento mais rígido do que o astenosfera, mesmo o esta escala temporal.

⁶ Estes movimentos seculares são o principal motor do tectónico de placas.



água do mar, quer dos sedimentos marinhos. Assim, a crosta oceânica é fornecedora de sílica, cálcio, manganês, e sumidouro de magnésio, potássio e urânio, entre outros.

A composição da crosta oceânica é também grandemente afectada pelo processo. Os basaltos oceânicos que se formam nos *rifts* diferem marcadamente dos espilitos (basaltos com alteração hidrotermal submarina) que mais tarde são devolvidos ao manto, nas zonas de subducção. O enriquecimento destes em componentes típicos da crosta continental e da hidrosfera (H_2O , K, U) aliada à subducção de sedimentos implica contaminação do manto em larga escala. O conceito moderno de ciclo geoquímico implica consideração dos processos de interacção crosta-manto. Os processos de criação/destruição de crosta continental (segregação/reabsorção por parte do manto) processam-se actualmente na mesma ordem de grandeza, subsistindo, contudo, a hipótese de que os continentes estejam a ser lentamente reincorporados no manto. Ainda está por quantificar com rigor a influência da actividade hidrotermal submarina nos ciclos geoquímicos (e biogeoquímicos) de muitos elementos, tarefa indispensável se quisermos realmente conhecer o ambiente oceânica e possibilitar o seu desenvolvimento sustentado.

REOLOGIA DA CROSTA OCEÂNICA

As transformações térmicas e químicas sofridas pela crosta oceânica durante o metamorfismo hidrotermal, como já vimos, modificam-na profundamente. O resultado é a proliferação de novos minerais, mais compatíveis com as novas condições e composições. Os minerais ígneos (principalmente feldspatos, piroxenas e olivinas) são substituídos por outras, variáveis de acordo com a composição do meio e a temperatura. Passam a predominar argilas e zeólitos (à superfície), seguidos de clorite, prenite, epídoto e actinolite

(predominantes nos basaltos, filões e gabros) e, mais abaixo, serpentinas (nos peridotitos). Todas estas associações contêm minerais capazes de deformação interna muito mais fácil (mais rápida e a temperaturas menores) do que as rochas originais. A crosta oceânica real, atravessada pela água do mar, é sem dúvida muito mais plástica do que o produto inicial que se forma nos *rifts*.

Estudos recentes do domínio da geodesia e da geologia estrutural têm vindo a mostrar que, contrariamente ao que se supunha, a crosta oceânica é globalmente deformável, a velocidades até 2 cm por ano, o que é comparável à velocidade de abertura do oceano Atlântico! Segundo alguns autores (incluindo António Ribeiro⁷, da Universidade de Lisboa), a teoria da tectónica de placas precisa de revisão dos conceitos ainda dominantes de placas rígidas para um novo estágio, de tectónica de placas deformáveis. Também neste domínio a importância do metamorfismo oceânico é de primeira grandeza.

A TERRA E A VIDA

A minha geração aprendeu que a vida na Terra deve ter-se originado a partir de um caldo primordial rico em metano, amónia e CO_2 , muito diferente da atmosfera e hidrosfera actuais, na qual as experiências clássicas de Miller, geradoras de aminoácidos em ambiente asséptico, pudessem ser análogas ao aparecimento dos primeiros seres vivos. Hoje muitos investigadores duvidam desta teoria. Um dos principais problemas é a ausência de evidência de que este tipo de atmosfera alguma vez tenha existido, pelo menos desde que existem rochas sedimentares (há 3800 milhões de anos). Nas formações geológicas com esta idade, encontramos enormes semelhanças com as bacias sedimentares actuais⁸, acrescidas de actividade vulcânica a uma escala muito superior à que hoje conhecemos. Abundam indícios de actividade hidrotermal submarina, semelhante à actual, mas muito mais

⁷ Galardoado com o Prémio Boe Esperança em 1995 e autor da monografia *Uma Breve História Tectónica do Terro* editado pelo Porque EXPO 98, S.A. no âmbito do Pavilhão do Futuro.

⁸ Com excepção das formações ferríferas bandadas, quase exclusivas do Pré-Câmbrico (idades superiores a 570 milhões de anos).

intensa. As comunidades biológicas das fontes termais submarinas, independentes da energia solar, são, para muitos autores, réplicas actuais da forma como a vida poderá ter-se gerado no Terra durante o Arcaico. Esta teoria é muito atraente do ponto de vista da geologia, pois é facilmente conciliável com as observações em rochas realmente antigas.

COMENTÁRIO FINAL

No decurso dos últimos vinte anos, a actividade hidrotermal submarina passou de completamente desconhecida a uma curiosidade sem importância e, finalmente, a um processo de primeira grandeza na dinâmica da Terra. A razão deste atraso, em relação a outros aspectos das ciências da Terra, deve-se antes do mais à inacessibilidade do ambiente oceânico profundo, que só agora começamos a compreender. Não duvidemos de que muito resta ainda por descobrir.

BIBLIOGRAFIA

- BALLARD, R. D., e GRASSLE, J. F., «Return to ooses of the deep», in *National Geographic Magazine*, vol. 156, nº 5, 1979, pp. 680-705.
- BARRIGA, F. J. A. S., «Metallogenesis in the Iberian Pyrite Belt», in R. D. Dallmeyer e E. Martinez (eds.), *Geology of Hercynian Iberia*, Springer-Verlag, 1990, pp. 369-379.
- «Mineral deposits in ophiolites», in *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, nº 17, cap. 1, 1994, pp. 150-151.
- «Seafloor mineral deposits: the ancient examples», FARA-IR Mid-Atlantic Ridge Symposium, June 19-June 22, Reykjavik, Islândia, in *Journal of Conference Abstracts*, nº 1, cap. 2, 1996, pp. 754-755.
- BARRIGA, F. J. A. S., COSTA, I. M. A., RELVAS, J. M. R. S., RIBEIRO, A., FOUQUET, Y., ONDREAS H., PARSON, L., e a equipa científica FLORES, «The Rainbow serpentinites and serpentine-sulphide stockwork (Mid Atlantic Ridge, AMAR segment): a preliminary report of the FLORES results», aceite para publicação, *EOS Transactions American Geophysical Union, Fall Meeting Abstracts*, 1997.
- BARRIGA, F. J. A. S., e FYFE, W. S., «Giant pyritic base-metal deposits: the example of Feitais (Aljustrel, Portugal)», in *Chemical Geology*, nº 69, 1988, pp. 331-343.
- BARRIGA, F. J. A. S., FYFE, W. S., LANDEFELD, L. A., MUNHÁ, J., e RIBEIRO, A., «Mantle eduction: tectonic fluidisation at depth», in *Earth-Science Reviews*, nº 32, 1992, pp. 123-129.
- CARVALHO, D., «A case history of the Neves-Corvo massive sulfide deposit, Portugal, and implications for future discoveries», in *Economic Geology Monograph*, nº 8, 1991, pp. 314-334.
- COSTA, I., BARRIGA, F. J. A. S., e FOUQUET, Y., «Alteration processes associated with active hydrothermal sites: the Lucky Strike and Menez Gwen examples (37°20'N and 37°50'N, Mid-Atlantic Ridge)», in *Memórias*, nº 4, Universidade do Porto – Faculdade de Ciências, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, 1995, pp. 979-983.
- FOUQUET, Y., WAFIK, A., CAMBON, P., MEVEL, C., MEYER, G., e GENTE, P., «Tectonic setting and mineralogical and geochemical zonation in the Snake Pit sulfide deposit (Mid-Atlantic ridge at 23°N)», in *Economic Geology*, nº 88, 1993, pp. 2018-2036.

FOUQUET, Y., CHARLOU, J.-L., DONVAL, J.-P., RADFORD-KNOERY, J., ONDREAS, H., CAMBON, P., BOUGAULT, H., ETDOUBLEAU, J., BARRIGA, F. J. A. S., COSTA, I. M. A., LOURENÇO, N., e TIVEY, M. K., «Hydrothermal processes on shallow volcanic segments: Mid Atlantic ridge near the Azores triple junction», submetido ao *Journal of Geophysical Research* para publicação em 1996.

HUMPHRIS, S. E., ZIERENBERG, R. A., MULLINEAUX, L. S., e THOMPSON, R. E. (eds.), «Seafloor hydrothermal systems: physical, chemical, biological and geological interactions», in *Geophysical Monograph*, nº 91, 1995, American Geophysical Union, Washington DC, 466 pp.

HUMPHRIS, S. E., HERZIG, P. M., MILLER, D. J., ALT, J. C., BECKER, K., BROWN, D., BRÜGMANN, G., CHIBA, H., FOUQUET, Y., GEMMELL, J. B., GUERLIN, G., HANNINGTON, M. D., HOLM, N. G., HONNOREZ, J. J., ITURRINO, G. J., KNOTT, R., LUDWIG, R., NAKAMURA, K., PETERSEN, S., REYSENBACH, A.-L., RONA, P. A., SMITH, S., STURZ, A. A., TIVEY, M. K., e ZHAO, X., «The internal structure of an active sea-floor massive sulphide deposit», in *Nature*, nº 377, 1995, pp. 713-716.

LECA, X., «Discovery of concealed massive-sulphide bodies at Neves-Corvo, southern Portugal – a case history», in *Transactions Institution of Mining and Metallurgy*, nº 99, 1990, pp. B139-B152.

LEE, W. H. K., e UYEDA, S., «Review of heat flow data», in W. H. K. Lee (ed.), *Terrestrial Heat Flow*, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1965, p. 87.

ROBIGOU, V., DELANEY, J. R., e STAKES, D. S., «Large massive sulfide deposits in a newly discovered active hydrothermal system, the High-Rise field, Endeavour segment, Juan de Fuca

ridge», in *Geophysical Research Letters*, nº 20, 1993, pp. 1887-1890.

RONA, P. A., PALMER, D. R., JONES, C., CHAYES, D. A., CZARNECKY, M., CAREY, E. W., e GUERRERO, J. C., «Acoustic imaging of hydrothermal plumes, East Pacific Rise, 21°N, 109°W», in *Geophysical Research Letters*, nº 18, 1991, pp. 2233-2236.

RONA, P. A., e SCOTT, S. (eds.), «A special issue on sea-floor hydrothermal mineralization: new perspectives», in *Economic Geology*, nº 88, 1993, pp. 1933-2249.

AGRADECIMENTOS

Desde o final dos anos 70, tive o privilégio de conhecer a maioria dos cientistas citados neste artigo e de colaborar com muitos deles. Agradeço em particular o Bill Fyfe, que comigo partilhou o sua percepção pioneira da importância da actividade hidrotermal submarina.

Mais recentemente, grande parte do meu conhecimento directo acerca dos campos hidrotermais submarinos resulta da participação no projecto da União Europeia MARFLUX-ATJ, do programa MAST2 (MAS2 CT930070) e na missão DIVA-2 (IFREMER) ao fundo do mar dos Açores (Julho de 1994), assim como no projecto AMORES, do programa europeu MAST3 (MAS3-CT95-00-40), que inclui a missão FLORES (Julho de 1997) a vários sítios ao longo do rift Médio-Atlântico. O autor liderou a participação geológica portuguesa em todos estes projectos e missões, em íntima colaboração com o Dr. Yves Fouquet, do IFREMER.



VIDA NO OCEANO

LUÍZ SALDANHA*



massa líquida que constitui os mares e os oceanos ocupa aproximadamente 362 milhões de quilómetros quadrados, o que corresponde a cerca de 71 % da superfície total do globo terrestre. O seu volume é próximo dos 1350 milhões de quilómetros cúbicos.

Em toda esta massa de água, da superfície até às maiores profundidades conhecidas, em fundos de mais de 11 000 m, dos trópicos aos pólos, pulsa uma vida exuberante que inclui formas tão diversas como as microscópicas bactérias ou as grandes baleias-azuis, os animais de maiores dimensões existentes no nosso planeta. Além disso, a existência de muitos animais terrestres, aves e mamíferos depende do mar.

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES

A vida no meio marinho apresenta em muitos aspectos um carácter peculiar. Todas as funções vitais dos organismos que nele vivem se processam num meio denso e em movimento, cujos parâmetros se encontram intimamente ligados. De facto, os organismos são transportados pelos movimentos da água que misturam populações de espécies diferentes, bem como o seu alimento e os seus produtos de excreção. A água marinha faculta também aos organismos a flutuabilidade e o suporte necessários, sem o que as funções vitais desses seres seriam impossíveis. Animais e vegetais podem viver na coluna de água (organismos pelágicos) ou sobre o fundo (organismos bentónicos). No primeiro caso, os animais com movimentos activos, capazes de vencer os movimentos das massas



de água, constituem o nécton, em contraste com o plâncton, constituído por organismos em regra de pequenas dimensões, que, embora possam apresentar movimentos próprios, vivem passivamente ao sabor da deslocação das massas de água. Outros animais, designados por bentopelágicos, vivem na coluna de água, mas junto do fundo. Outros ainda vivem na camada superficial do oceano e constituem o neuston. Muitos animais apresentam no seu ciclo de vida uma fase adulta bentónica, enquanto as larvas fazem parte do plâncton. Neste existem também numerosos ovos e larvas de muitos peixes nectónicos.

Existe, na realidade, uma grande interdependência entre as diversas espécies marinhas, quer vegetais, quer animais; espécies que, por sua vez, estão também intimamente

Figura 151 – Corais e peixes coloridos são os traços dominantes dos mares tropicais do Indo-Pacífico.

* Director do Laboratório Marítimo da Guia e professor catedrático do Departamento de Zoologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

ligados à natureza do ambiente que os envolve, como os factores físico-químicos das massas de água ou a natureza dos sedimentos em que vivem.

A luz, a pressão e a temperatura são dos factores mais importantes na distribuição vertical e horizontal dos seres vivos marinhos.

A natureza do sedimento, rocha consolidado, areia, vaso ou outro irá condicionar o tipo de povoamento bentónico nele existente. Assim, por exemplo, nas rochas do litoral encontraremos uma comunidade bem diferente da existente na areia de uma praia, mesmo em zonas colocadas aos mesmos níveis relativamente à amplitude das marés. Nos primeiros desenvolvem-se em abundância lapas, mexilhões, cracas, algas e muitos outros organismos, e, nas segundas, a fauna é relativamente mais pobre, apresentando pequenos crustáceos, as pulgas-do-mar, diversos anélidos e alguns moluscos. As macroalgas desapareceram completamente. Os organismos podem viver sobre o sedimento ou no seu interior. Algumas bactérias chegam a poder viver enterradas a alguns metros de profundidade.

A ESSÊNCIA DA VIDA

A base da vida nos oceanos é assegurada fundamentalmente pelos organismos clorofilinos que utilizam a energia solar para sintetizarem a matéria orgânica.

Estes produtores primários englobam as algas quer planctónicas (fitoplâncton), quer bentónicas, as macroalgas que vivem nas rochas litorais, tanto na zona das marés como em imersão permanente, e ainda as espermatófitas marinhas, vegetais superiores que formam extensas pradarias sobre o fundo.

O fitoplâncton constitui certamente o traço fundamental da vida marinha. A sua dispersão ou concentração vai condicionar a abundância da vida animal marinha. Em termos globais, a vida no mar,

quer vegetal, quer animal, concentra-se essencialmente nas camadas superficiais iluminadas e sobretudo nas águas da plataforma continental ricas em nutrientes. Com a diminuição da intensidade luminoso até ao desaparecimento total da luz, vão também desaparecendo os vegetais e os animais herbívoros. A vida animal que se observa no domínio profundo dos oceanos fica a depender do fluxo de partículas orgânicas que caem da superfície em direcção ao fundo. Neste domínio, os animais apresentam diversas estratégias alimentares, à base de bactérias, detritos e outros, ocupando a *carnivoria* um lugar importante. Muitos animais recorrem também ao consumo de cadáveres, tendo assim um comportamento necrófago.

A composição do fitoplâncton, em termos de espécies, pode ser bastante complexo e variar de lugar para lugar, bem como ao longo do ano. Nos mares temperados, por exemplo, observa-se uma maior abundância na Primavera, seguida de outro período de abundância, embora menor, no princípio do Outono. A existência de nutrientes e a sua maior ou menor concentração na água estão, entre outros factores, na origem destes dois períodos de abundância.

Com efeito, os nutrientes ou sais nutritivos – nitratos, fosfatos e silicatos – são essenciais no desenrolar da síntese da matéria orgânica, uma vez que o azoto, o fósforo e o silício são elementos fundamentais para a vida. A sua concentração na zona eufótica, ou seja, na camada mais bem iluminada do oceano, condiciona a produção de matéria orgânica. O azoto e o fósforo entram na sua composição, e o silício está presente nos esqueletos de muitos organismos, como algas e animais microscópicos, sendo utilizado na sua formação.

As áreas marinhas ricas em nutrientes são as mais produtivas. Os nutrientes são levados para o mar através dos rios ou das águas das chuvas. Os nutrientes são também originados no meio marinho pela decomposição da matéria orgânica – animais e

vegetais mortos –, efectuada pelas bactérias que completam, assim, o ciclo da matéria orgânica, ou da cadeia alimentar, no meio marinho. Podem ser trazidos do fundo por correntes ascendentes e vir enriquecer as águas superficiais, segundo um processo chamado afloramento costeiro (*upwelling*).

O zooplâncton vai alimentar-se à custa de fitoplâncton. Este zooplâncton herbívoro é constituído essencialmente por pequenos crustáceos copépodes, cujo conjunto, a nível do oceano mundial, representa a maior biomassa existente no planeta. Existe igualmente um zooplâncton carnívoro. O zooplâncton constitui o alimento de muitos peixes (sardinhas e anchovas, por exemplo) e de outros animais. Estes constituem, por seu turno, as presas de animais de maiores dimensões, como outros peixes (atuns, espadartes e tubarões, por exemplo) e moluscos cefalópodes (lulas, por exemplo). As cadeias alimentares marinhas apresentam, no entanto, inúmeras combinações destes elos assim esquematizados e podem ser bastante complexas. Grandes mamíferos marinhos, como as baleias, alimentam-se de plâncton, tendo por sua vez os cachalotes um regime alimentar à base de moluscos cefalópodes. A energia ou a quantidade de matéria orgânica transferida entre cada um destes elos da cadeia alimentar marinha pode atingir valores elevados, chegando aos 20 %.

Em relação às cadeias alimentares, o meio marinho também apresenta características únicas, quando comparado com o domínio terrestre. A biomassa dos diferentes elos que as constituem, por exemplo, encontra-se muito mais dispersa nos oceanos do que em terra, na ordem dos milhares ou centenas de milhar de vezes. No mar e ainda no aspecto trófico, as espécies interagem com um número muito maior de outras espécies. Os maiores predadores são uma ou duas vezes de maiores dimensões do que os que se encontram no domínio terrestre ou nas águas interiores. Os oceanos chegam a ser várias centenas de vezes menos produtivos do



152

que os continentes. Os produtores primários são frequentemente de pequenas dimensões e móveis, como muitas algas unicelulares.

A maioria dos grandes predadores e herbívoros têm ciclos de vida longos, que incluem uma fase larvar planctónica e uma fase adulta bentónica, com exigências ambientais diferentes, como já se referiu. Deste modo, podem colonizar *habitats* semelhantes, mesmo situados a grandes distâncias uns dos outros, tornando o sistema aberto. A existência de fases planctónicas no ciclo de vida dos animais bentónicos é, pois, de grande significado. Muitos dos predadores são também notáveis pela sua grande capacidade de reprodução.

A RIQUEZA DA VIDA MARINHA

A diversidade da vida marinha é bastante mais elevada do que a terrestre. Todos os grandes grupos animais e vegetais estão nela representados. Treze grandes grupos animais são exclusivos do meio

Figura 152 – Exemplo simplificado de uma cadeia alimentar:
O fitoplâncton (1) constituído por algas unicelulares, serve de alimento ao zooplâncton (2), aqui representado por crustáceos copépodes. As anchovas (3) ingerem o zooplâncton e, por sua vez, podem ser presas dos lulas (4) e dos atuns (5). Estes podem também comer os lulas.



Figura 153 – Centenas de pequenos pólipos dispõem-se sobre as ramificações deste coral-mole do mar Vermelho. Os pólipos capturam as partículas orgânicas que lhes servem de alimento e que se encontram em suspensão no água.

Figura 154 – Os recifes de coral constituem um dos habitats mais ricos do globo terrestre. Devido às agressões humanas, estão seriamente ameaçados.



marinho, em contraste apenas com um único presente no domínio terrestre. Este facto é significativo em termos da evolução da vida no mar. Outros grupos totalmente novos para a ciência serão certamente descobertos no futuro, tal como aconteceu recentemente com os *Loricifera* e os *Cycliophora*.

É de cerca de 250 000 o número total de espécies marinhas, vegetais e animais; mas este número é certamente inferior ao realmente existente. Com efeito, nos meios tropicais, como nos recifes de coral, nos mares polares ou nos grandes abismos – e mesmo no litoral das regiões temperadas – muitas espécies estão ainda por descobrir.

O número de espécies animais existentes na Terra, marinhas, dulciaquícolas e terrestres será de cerca de 1 200 000, dos quais só os insectos atingirão quase um milhão. O número de espécies marinhas animais é da ordem das 180 000, das quais apenas cerca de 1000 vivem abaixo dos 3000 m de profundidade, umas 150 para lá de 6000 m e talvez 40 a mais de 9000 m! Com efeito, nas estreitas e profundas fossas ou ravinas abissais, que se estendem desde cerca de 6000-7000 m até mais de 11 000 m, a vida animal vai sendo cada vez mais escassa. Os peixes, por exemplo, desaparecem totalmente a 8370 m, e daí para baixo quase só vão encontrar-se pequenos crustáceos, holotúrias, anelídeos e actínias. Animais como as esponjas, as estrelas-do-mar e os caranguejos estão completamente ausentes.

Figura 155 – Os abismos marinhos apresentam poucos animais de grandes dimensões, devido à escassez de alimento. Nesta fotografia obtida a 2700 m de profundidade, ao largo dos Açores, observa-se uma colónia de cnidários, com cerca de 60 cm de comprimento.

VIDA SEM LUZ

O domínio profundo oceânico é essencialmente caracterizado pela falta de luz e pela pressão elevada.

Nestas profundidades surge uma outra categoria de produtores primários responsáveis por cadeias alimentares que redundam em elevadas biomassas. São as bactérias quimiossintéticas. Estas têm um papel fundamental na origem das comunidades animais recentemente descobertas junto das fontes hidrotermais, tanto no Pacífico como no Atlântico, a poucos milhares de metros de profundidade. Os fluidos que emanam do interior da Terra, frequentemente ao longo de verdadeiras chaminés de vários metros de altura, e que atingem temperaturas superiores a 300 °C, são ricos em enxofre e possibilitam a formação de matéria orgânica pelas bactérias quimiossintéticas. Esta síntese é possível graças à oxidação do hidrogeneto de enxofre, que fornece a energia necessária à conversão do carbono mineral (presente no dióxido de carbono do meio aquático) em carbono orgânico (combinado com oxigénio e hidrogénio em determinadas proporções). Vários organismos pluricelulares alimentam-se das bactérias quimiossintéticas, e a matéria orgânica por elas produzida vai ser transferida de elo em elo, completando-se uma cadeia alimentar que culmina com os peixes. Alguns organismos, como os vermes





vestimentíferos, vivem em verdadeira simbiose com as bactérias, que sintetizam no interior do corpo dos primeiros a matéria orgânica de que eles necessitam. No Pacífico, uma característica dominante destas comunidades hidrotermais consiste nas densas populações de vermes vestimentíferos. Ao largo dos Açores, são abundantes as populações de moluscos bivalves, de morfologia próxima dos mexilhões, que marcam a paisagem submarina.

ORIGEM DA VIDA

No estado actual dos nossos conhecimentos, não é possível sustentar a hipótese de que a origem da vida na Terra tenha sido oriunda de outros planetas.

Oparin e Haldane, em 1924, postularam independentemente a hipótese de que a vida na Terra teria surgido nos oceanos primitivos, em momentos favoráveis, e formada à custa de substâncias minerais. Esta hipótese, embora com pormenores ainda por esclarecer, tem sido aceite na generalidade, devido sobretudo às condições ambientais que existiam à superfície da Terra nos seus tempos iniciais.

Uma atmosfera primitiva, sem dúvida diferente da existente nos dias de hoje, continha certamente vapor de água, cuja condensação terá dado origem à chuva. Esta, ao acumular-se nas depressões da superfície da Terra, terá formado os oceanos

originais. Pouco ou nenhum oxigénio existiria então, tanto na atmosfera como dissolvido nas águas marinhas. O carbono era provavelmente abundante, quer sob a forma de metano, quer de dióxido de carbono. O azoto ou nitrogénio encontrar-se-ia provavelmente sob a forma de amónia ou na sua forma molecular.

Alguns dos gases da atmosfera terão sido absorvidos pela água do mar, aos quais foram juntar-se iões dissolvidos a partir das rochas. Criou-se, assim, uma solução complexa de água, metano e amónia, bem como, provavelmente, de dióxido de carbono e de nitrogénio molecular e ainda de diversos iões como o cloro, o sódio, o magnésio, o cálcio e outros. Estas substâncias continham os elementos básicos para a formação da vida, mas não se encontravam na devida combinação.

Os compostos orgânicos simples, como os aminoácidos, açúcares, ácidos nucleicos, ácidos gordos e alcoóis, constituintes dos quatro tipos básicos dos compostos orgânicos – as proteínas, os carbo-hidratos, o DNA (e o RNA) e os lípidos – são muitos mais complexos do que a solução de moléculas presente nos mares primordiais.

Diversas experiências realizadas, como as de Stanley Miller em 1953, que consistiram, por exemplo, no disparo de uma faísca eléctrica na presença de uma mistura de certos gases – como metano, amónia e hidrogénio – e de água a ferver levaram à produção, por métodos não biológicos, de diversos compostos orgânicos complexos, normalmente presentes nos sistemas vivos.

Nos mares primitivos, diversas fontes de energia, como a luz, as radiações ultravioletas e a radioactividade, terão provavelmente actuado sobre o «caldo» de matéria orgânica então existente. Essas fontes terão sido suficientes para que se formassem substâncias orgânicas complexas a partir das mais simples, capazes de controlar e regular outras reacções químicas.

Figura 156 – Os vermes vestimentíferos das fontes hidrotermais do Pacífico constituíram uma descoberta recente interessante, uma vez que a matéria orgânica que assimilam é sintetizada por bactérias que vivem no interior do seu corpo. Os vestimentíferos não possuem boca.



Figura 157 – Os fundos do Mediterrâneo apresentam frequentemente uma fauna e uma flora exuberantes.



Figura 158 – Os jovens de muitas espécies de peixes associam-se com frequência em densos cordões: ilho de Reunião, oceano Índico.

Das combinações químicas obtidas no decurso de períodos de tempo muito longos terão surgido os ácidos nucleicos – DNA ou RNA –, que encerram a informação genética a transmitir às gerações subsequentes, ou seja, a essência da verdadeira reprodução biológica.

Todas estas substâncias químicas se estruturaram de modo a darem origem aos organismos mais primitivos. Estes seres microscópicos, surgidos há cerca de 3000 milhões de anos, eram de organização simples, semelhantes em muitos aspectos às modernas bactérias.

Os organismos fotossintéticos, podendo utilizar a energia solar, tiveram um enorme sucesso em termos de sobrevivência. Terão aparecido há 2500 milhões de anos. Estes organismos, ao realizarem a fotossíntese, contribuíram para o enriquecimento em oxigénio não só do meio marinho, mas também da atmosfera. Os seres vivos eram então essencialmente anaeróbicos, passando a respiração aeróbica a dominar desde há cerca de 600 milhões de anos. O teor de oxigénio da atmosfera, que era apenas 1 % do que actualmente se encontra, começou a aumentar significativamente até atingir os valores hoje conhecidos. Foi depois, há cerca de 500 milhões de anos, que surgiu a maior parte dos grupos vegetais e animais marinhos, como as algas, as esponjas, os corais e outros. Nessa altura a vida apenas podia existir no mar, pelo facto de se encontrar protegida das radiações ultravioletas por

camadas de água mais ou menos espessas. A flora e a fauna então surgidas sofreram diversos processos evolutivos, resultando nas espécies vegetais e animais que hoje conhecemos.

A VIDA MARINHA AMEAÇADA

As diversas formas de vida marinha têm sido perigosamente afectadas pela sobreexploração dos recursos vivos, pela poluição química e eutrofização, pelas agressões físicas ao longo da costa, pela invasão de espécies exóticas e, finalmente, pela modificação climática global.

Estas ameaças afectam não só os organismos marinhos, mas também o ser humano, uma vez que resultam em impactos de ordem social, económica e, evidentemente, de natureza biológica.

A sobrepesca redundou na diminuição drástica das populações de muitas espécies de peixes, moluscos e crustáceos, tradicionalmente preferidas pelo seu paladar. Com o desaparecimento das espécies ou a redução das suas populações, surge o inconveniente de se perderem fontes potenciais de aquisição de substâncias bioactivas extraídas desses organismos. As referidas substâncias têm sido utilizadas em medicina, no tratamento de várias doenças. Neste domínio tem-se, por exemplo, investigado a acção de diversas substâncias sobre a formação de tumores e, mais recentemente, no tratamento da sida.

A poluição química das águas está na origem da morte de muitos organismos, e as substâncias químicas, ao acumularem-se nos tecidos das espécies animais comestíveis, tornam-nos impróprios para consumo humano, podendo ser letais ou causar sérios problemas de saúde pública.

O desenvolvimento anormal das algas unicelulares, devido à exagerada concentração de nutrientes e a outros factores, conhecido sob o nome de eutrofização, pode dar origem à mortalidade maciça de muitos peixes e de outros animais, devido sobretudo à depleção das águas em

oxigénio. Este fenómeno verifica-se essencialmente nas águas costeiras, podendo ocorrer com uma certa frequência em lagunas litorais.

Os casos de eutrofização mais graves dizem talvez respeito à proliferação de algas unicelulares tóxicas, os dinoflagelados. A toxicidade destes organismos pode ser letal para o homem ou provocar intoxicações graves.

As agressões ao litoral, como a construção civil e as obras portuárias mal programados, são responsáveis, entre outros prejuízos, pela alteração dos aspectos estéticos e recreativos de muitas áreas costeiras.

Os grandes navios, ao lastrarem os seus depósitos com água e ao despejarem-no no porto de destino, vão transportar espécies de um local para outro, contribuindo assim para a introdução de espécies exóticas. Estas podem provocar desequilíbrios incontroláveis nos ecossistemas.

Em termos de modificação climática global, além de determinadas situações, como um possível aumento de temperatura do oceano, que pode modificar alguns aspectos da biologia das espécies, verificou-se que a penetração anormal de raios ultravioletas, devido à actual depleção de ozono, pode afectar o ciclo biológico do plâncton, com resultados de extraordinário alcance.

As modificações consideráveis que as agressões atrás enunciadas introduzem na composição e na abundância das espécies animais e vegetais dos ecossistemas sob pressão terão as respectivas consequências ecológicas. Estas vão traduzir-se na alteração do funcionamento básico dos ecossistemas, nas taxas e fontes de produção primária, na estabilidade das populações, na quantidade e direcção dos fluxos de energia e na reciclagem biogeoquímica.

A escola e as consequências destas modificações são, no entanto, difíceis de avaliar, uma vez que se dispõe ainda de um conhecimento inadequado dos padrões respeitantes



159



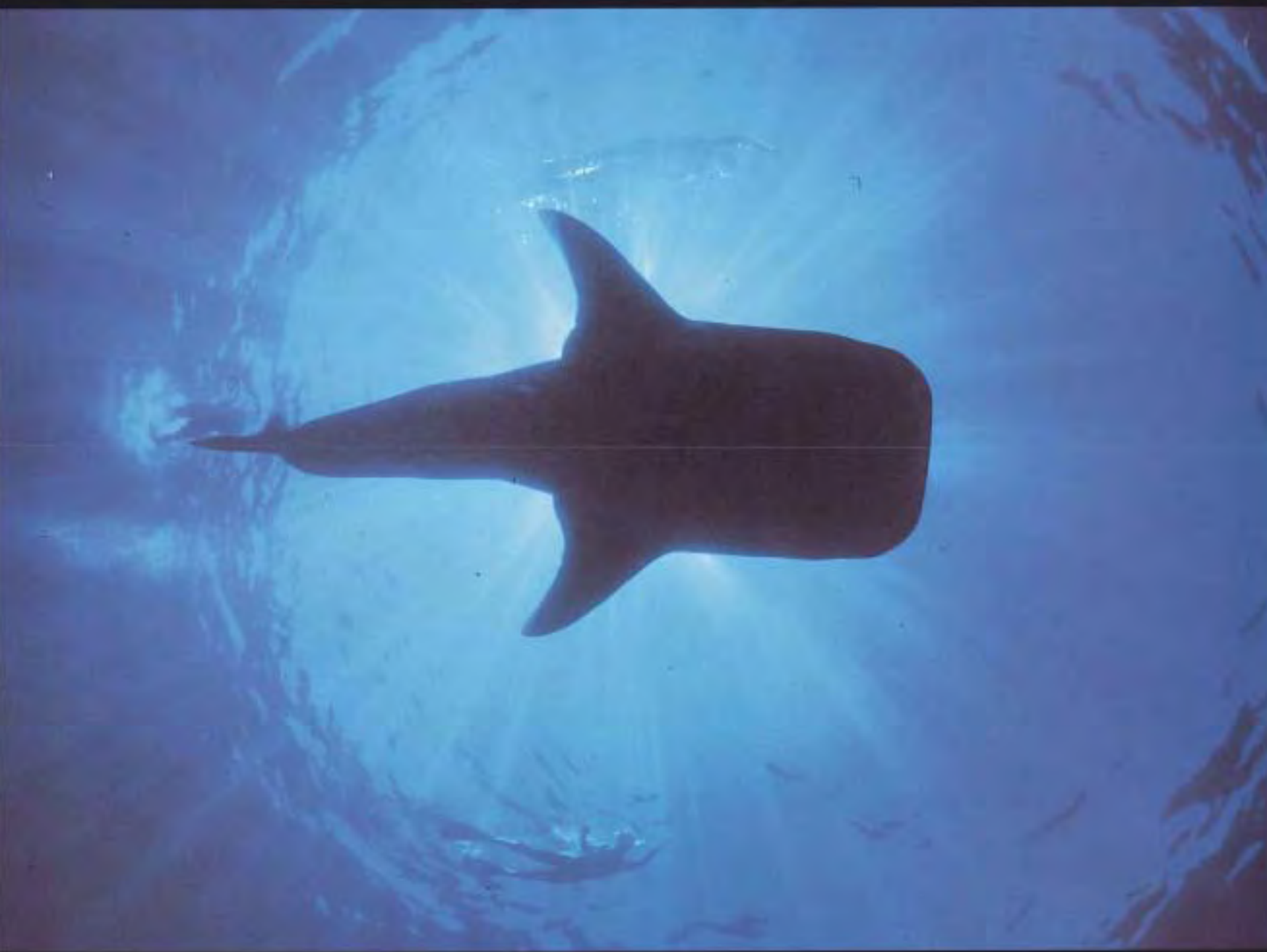
160

Figura 159 – A alimentação dos ursos polares, como este fotografado a norte de Spitzberg, depende essencialmente de animais marinhos.

Figura 160 – A vida destes pinguins-garfus decorre em grande parte no mar: cratera de St. Paul, Índico Sul.

aos processos básicos que controlam a diversidade da vida nos oceanos.

A solução do problema estará na possibilidade do uso sustentado dos oceanos e dos organismos marinhos a longo prazo, no sentido da obtenção de alimentos, recursos minerais, substâncias biomédicas e de possibilidades de recreio, além de outros aspectos, estéticos e económicos, respeitando simultaneamente a protecção e a conservação da diversidade e das funções da vida no mar.





O FUTURO DO NOSSO PATRIMÓNIO OCEÂNICO COMUM

AL GORE*

Em nome do governo e do povo dos Estados Unidos da América, aplaudo a visão de Portugal ao criar e organizar esta Exposição Internacional sobre «Os Oceanos, Um Património para o Futuro». Os Estados Unidos atribuem grande importância aos oceanos, tudo fazendo para preservar as suas utilizações tradicionais — como a navegação e a pesca — e advogando a protecção do ambiente marinho ameaçado. Por conseguinte, partilhamos com Portugal uma grande preocupação relativamente aos oceanos do mundo e saudamos esta oportunidade de se centrar a atenção, de uma forma progressiva e aberta ao futuro, numa parte significativa do nosso ambiente global comum.

É apropriada a realização desta Exposição Internacional em Lisboa em 1998. Há quinhentos anos, o grande marinheiro e explorador Vasco da Gama partiu de Portugal para a sua histórica viagem à Índia, tendo-se tornado o primeiro europeu a dobrar o cabo que veio a chamar-se do «Boa Esperança». Como ele, à medida que nos aproximamos do século XXI, devemos manter a «boa esperança» na nossa estratégia de preservação e de melhoramento do ambiente marinho.

Se não mantivermos uma abordagem positiva, a nossa tarefa poderá parecer demasiado desencorajadora. Por um lado, a dimensão dos oceanos é enorme, abrangendo mais de 71 % da superfície do planeta. Por outro, mais de

metade dos habitantes da Terra, cerca de 3000 milhões, vivem a menos de 60 quilómetros do oceano. Compreendemos agora que, após milhares de anos de vida humana no planeta, estamos a ser testemunhas do início de uma degradação profunda do ambiente marinho. Por exemplo, o florescimento ocasional de algas mortíferas parece estar a ocorrer com maior frequência e em águas onde nunca antes tinha sido observado.

As investigações sugerem que a presença destes florescimentos pode ser atribuída à actividade humana. Efectivamente, mais de 80 % dos actos de degradação ambiental marinha podem ser imputados a actividades humanas em terra. Em 1995, os Estados Unidos acolheram a Conferência Intergovernamental sobre Protecção do Ambiente Marinho relativamente às Actividades Terrestres, onde estes problemas foram abordados por 102 governos, organizações intergovernamentais e representantes de organizações não-governamentais. O resultado desta conferência foi a Declaração de Washington e o Programa de Acção Global, guia prático que trata das ameaças mais graves às áreas costeiras, causadas por esgotos, pesticidas e outros poluentes orgânicos persistentes, fertilizantes e outros nutrientes, bem como a destruição do *habitat*.

O estado crítico dos recifes de coral, sob uma ameaça sem precedentes, é emblemático da destruição do *habitat*. Considerados por vezes «as florestas tropicais do oceano», os

* Vice-presidente dos Estados Unidos da América, ex-presidente da Environmental Protection Agency.

Figura 161 – Tubarão-baleia, o maior peixe actual.

recifes de coral figuram entre os ecossistemas biologicamente mais produtivos e diferenciados da Terra. São um fornecedor essencial de peixe e de proteínas vegetais das comunidades de subsistência costeiras; uma valiosa fonte de rendimento para os países em desenvolvimento, através do turismo; uma barreira natural que protege as praias; e um reservatório de materiais biológicos únicos.

Trabalhando em conjunto, os governos deram passos notáveis na protecção de um recurso vital renovável dos oceanos, a pesca comercial. A conclusão, em 1995, do Protocolo sobre a Implementação da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar relativamente à Conservação e Gestão das Espécies Transzonais e Espécies Altamente Migratórias é uma realização notável para a comunidade internacional. O acordo estabelece princípios gerais a seguir pelos países para a conservação e gestão de espécies transzonais, como o bacalhau e a pescada, e de espécies altamente migratórias, como o atum e o peixe-espada. Apela a medidas preventivas na gestão das pescas, sempre que necessário, e à compatibilidade entre as medidas de conservação e de gestão tomadas relativamente a estas reservas em áreas de jurisdição estatal costeira e no alto mar.

Tenho esperança de que a EXPO '98 proporcione uma maior compreensão do ambiente marinho, por intermédio da promoção da investigação científica neste campo. A colaboração internacional, a partilha de recursos por meio de esforços como o Sistema Global de Observação dos Oceanos, a cooperação na investigação e na partilha dos conhecimentos ajudará a assegurar a possibilidade de fornecer a informação necessária a uma gestão sensata dos ambientes marinho e costeiro.

Nada melhor do que recordar as palavras da Declaração de Estocolmo sobre o Ambiente Humano, aprovada na Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente Humano em 1972: «Atingiu-se um ponto na história em que devemos moldar as nossas acções em todo o mundo com uma preocupação mais prudente relativamente às suas consequências ambientais. Podemos causar prejuízos esmagadores e irreversíveis ao ambiente de que dependem a nossa vida e o nosso bem-estar, por via da ignorância e da indiferença. Inversamente, com um conhecimento mais pleno e uma actuação mais sensata, podemos conquistar, para nós e para a posteridade, uma vida melhor num ambiente mais favorável às necessidades e expectativas humanas.»

Agradeço ao governo e ao povo de Portugal a sua iniciativa e empenho na criação da EXPO '98. Revela o desejo deste país de contribuir para um conhecimento mais pleno, permitindo uma actuação mais sensata na realização de um ambiente marinho mais saudável e melhor.



© 1998, PARQUE EXPO 98, S.A.
ÁREA PROMARK - PARQUE EXPO 98,
S.A.

TEXTOS

AL GORE
A. M. GALOPIX DE CARVALHO
ANTÓNIO M. DE FRIAS MARTINS
COLIN SUMMERHAYES
DANIEL JOUVANCE
FÁTIMA ABARANTES
FERNANDO J. A. S. BARRIGA
FRANCISCO FATELA
F. VELOSO GOMES
ISABEL AMAR
JOÃO M. ALVEIRINHO DIAS
LUIZ SALDANHA
MARIA JOSÉ ROSADO COSTA
MIGUEL GUEDES
PAULA SANTOS
PEDRO BELO RAVARA
PEDRO CASALEIRO
PAULO SOBRAL MARRQUES
PRESIDÊNCIA PORTUGUESA DA INICIATIVA EUREKA
RICARDO SERRÃO SANTOS
RUI RAMOS

DIRECÇÃO CIENTÍFICA

FRANCISCO FATELA
PEDRO CASALEIRO

DIRECÇÃO EDITORIAL E ICONOGRÁFICA

DULCE REIS

DIRECÇÃO DE ARTE E DESIGN

LUÍS FILIPE CUNHA

COORDENAÇÃO EDITORIAL

SÓNIA OLIVEIRA
PEDRO CASALEIRO

EDIÇÃO DE TEXTO

MARIA DO ROSÁRIO PEDREIRA

TRADUÇÃO

MARIA LUÍSA CARVALHO BAPTISTA

RECOLHA ICONOGRÁFICA

ISABEL LAGE
MARIA TEIXEIRA SIMÕES

APOIO ADMINISTRATIVO

CARLA LIZÁRIO
SIMONE MARTINS

REVISÃO DE TEXTO

ANTÓNIO MASSANO

COORDENAÇÃO DE PAGINAÇÃO

JOSÉ TEÓFILO DUARTE

PAGINAÇÃO POR COMPUTADOR

FERNANDA QUENDERA

ARTE FINAL

JOÃO ELIAS

COLABORAÇÃO EDITORIAL

ALEXANDRE COSTA
FERNANDO MILHEIRO
PAULA DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO

DIOGO DOS SANTOS

SELECÇÃO DE CORES

PROJEÇÃO, S.A.

IMPRESSÃO

NORPRINT, S.A.

TIRAGEM

5000

ISBN

972-8396-59-7

DEPÓSITO LEGAL

122836/98

RESERVADOS TODOS OS DIREITOS DE ACORDO COM A
LEGISLAÇÃO EM VIGOR

LISBOA, ABRIL DE 1998

CRÉDITOS DE IMAGEM

CAPA: FOTOTECA STONE INTERNATIONAL,
JOÃO SILVEIRA RAMOS (MÃOS), SATELLITE IMAGE
TWINS
A. L. G. MARQUES: FIGS. 118, 119, 120,
124
ANGLO-AUSTRALIAN OBSERVATORY, ROYAL
OBSERVATORY EDINBURGH/DAVID MALIN:
FIGS. 65, 66
ANTÓNIO DE FRIAS MARTINS: FIG. 135
BAIXA - ATELIER DE ARQUITECTURA, MARGARIDA
DIAS: FIGS. 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24,
25, 26, 27, 28, 29, 30
BBC/JÜRGEN FREUND: FIGS. 108, 117, 122
CALVIN J. HAMILTON: FIG. 67

CNES/III O. OUCROS: FIG. 61
EPL/ROGER GRACE: FIG. 85
EUREKA: FIGS. 55, 56, 57, 58
FERNANDO J. A. S. BARRIGA: FIGS. 141, 146
FOTOTECA STONE IMAGES/STUART WESTMORLAND:
FIG. 161
FOTOTECA STONE INTERNATIONAL/ART WOLFE:
FIG. 37
FRANCISCO MANSO: FIGS. 136, 137, 138
FRANCISCO ROCHA: FIGS. 34, 35, 36
GALAXY CONTACT: FIGS. 63, 68
HENRIQUE RUAS: FIGS. 78, 79, 80, 81, 82
IFREMER: FIGS. 91, 139, 142, 144,
155, 156
LIGHTSPEED DESIGN GROUP: FIG. 47
LUÍS AZEVEDO: FIGS. 113, 162
LUÍS FILIPE QUINTA: FIG. 112
LUIZ SALDANHA: FIGS. 152, 153, 154, 157,
158, 159, 160
MARIA JOSÉ ROSADO COSTA: FIGS. 109, 110,
114, 115, 116
MARTA WENGOROVIOUS: FIGS. 31, 32, 33
MNHN, PALÉONTOLOGIE, PARIS/S. LAROCHE:
FIG. 75
NORRA/SPL: FIG. 59
NORBERT WU/BRUCE RASNER/MO YOUNG
PRODUCTIONS: FIG. 89
NORBERT WU: FIGS. 84, 87, 90, 93, 94,
95, 96, 97, 99
OXFORD SCIENTIFIC FILMS/HOWARD HALL:
FIG. 130
P. A. RONA: FIG. 143
PARQUE EXPO 98, S.A.: PÁGS. 4, 6, 8;
FIGS. 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45,
46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54;
CONTRACAPA
PAULA SANTOS, RUI RAMOS, MIGUEL GUEDES:
FIGS. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,
12, 13, 14, 15, 16
QUATROPONTOQUATRO: FIGS. 64, 69, 70, 71,
72, 73, 74, 83, 86, 92, 98, 100, 101,
102, 103, 104, 105, 106, 107, 131,
132, 133, 134, 140, 145, 148, 149
RCL/RUI CUNHA: FIGS. 111, 123, 125,
126, 127, 128, 129
RICARDO MELO: FIG. 121
SOUTH AUSTRALIAN MUSEUM/NEVILLE PLEDGE:
FIGS. 76, 77
SOUTHAMPTON OCEANOGRAPHIC CENTRE: FIG. 62
TOPHAM PICTURE SOURCE: FIG. 60
VERONIQUE ROBIGOU: FIG. 148
WOODFALL WILD IMAGES/D. WOODFALL: FIG. 88

PATROCINADORES EXPO '98

PATROCINADORES OFICIAIS



CAIXA GERAL
DE DEPOSITOS



FORNECEDORES OFICIAIS



MARCAS OFICIAIS



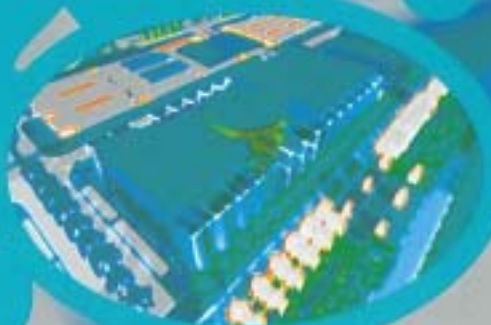
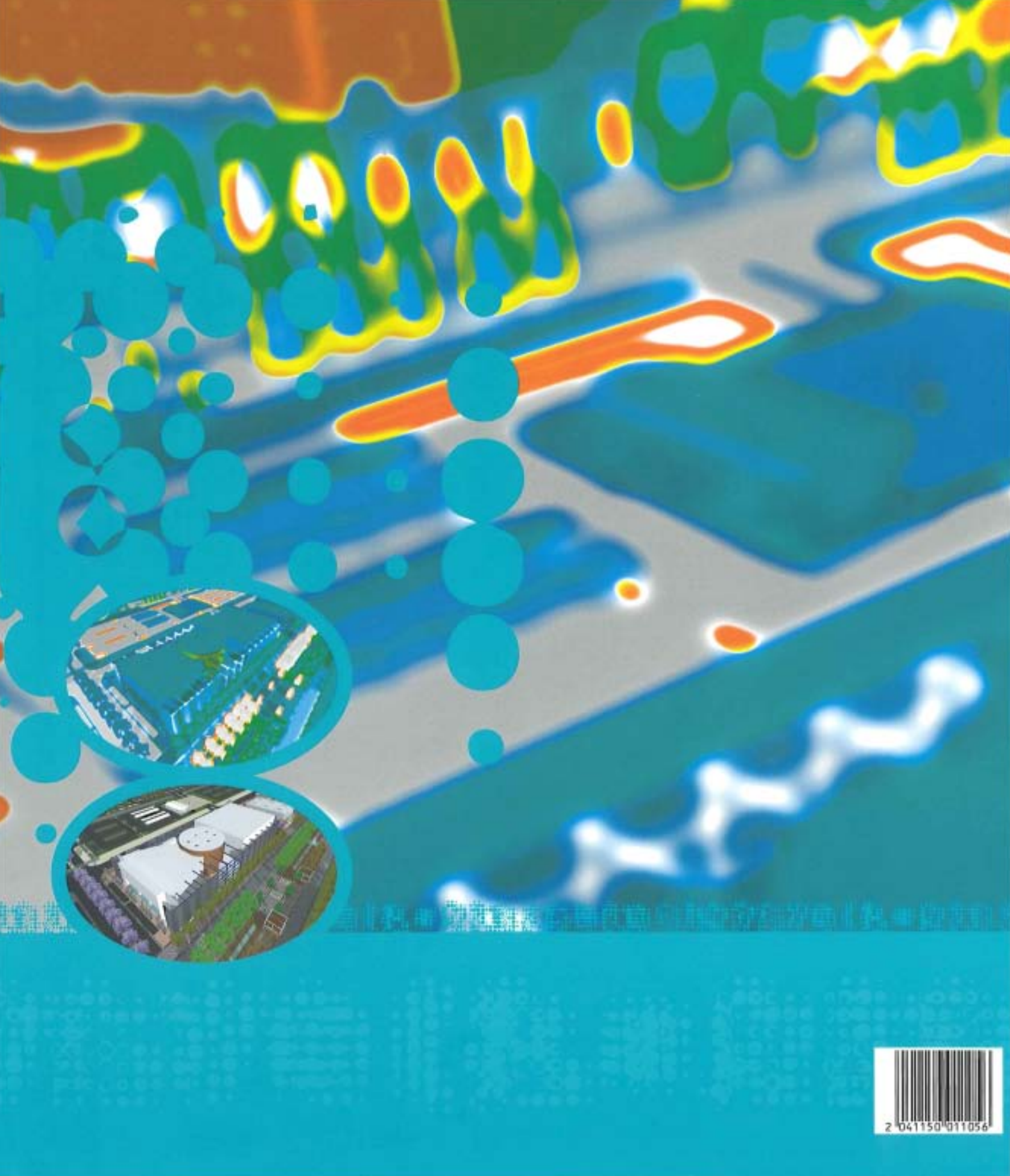
PATROCINADORES EXPO '98

EMPRESAS ASSOCIADAS



EMPRESAS COLABORADORAS





2 041150 011056