



# LAGOS, RIOS E ESTUÁRIOS

Manuela Morais

*Doutor em Biologia, Laboratório da Água, ICAM, Universidade de Évora, Portugal*

Paulo Pinto

*Doutor em Biologia, Laboratório da Água, ICAM, Universidade de Évora, Portugal*

Cecilia Gonçalves

*Bióloga, Professora do Ensino Secundário, Direcção Regional de Educação do Alentejo, Ministério de Educação, Portugal*

## Lagos

### 1. Formação dos lagos

A geomorfologia e o clima influenciam as características físicas e químicas dos lagos. Enquanto que a maior parte dos lagos são formados por eventos catastróficos outros evoluem de uma forma mais gradual (Fig. 1).

#### 1.1 Lagos glaciares

Há cerca de um milhão e dez mil anos, durante a era do Pleistoceno, o nosso planeta sofreu quatro glaciações – expansão e recuo do gelo glacial sobre a superfície terrestre. Na era geológica com a máxima cobertura de gelo, 31.5% da superfície da Terra estava coberta por glaciares. A última glaciação foi

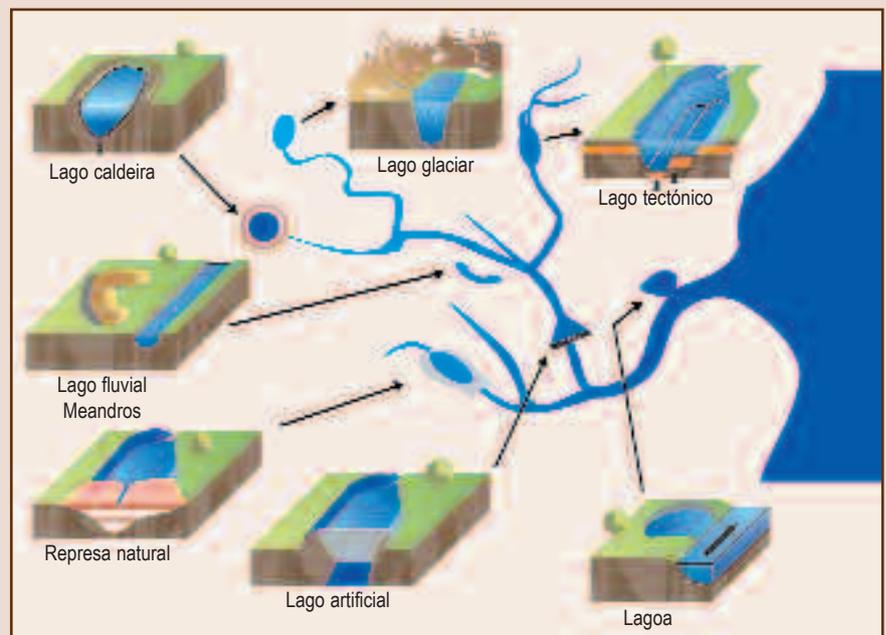


Fig. 1. Diferentes origens de lagos



Fig. 2. Um dos três lagos glaciares no topo das montanhas Pindos, Grécia. Estes são os lagos glaciares localizados mais a sul, no hemisfério norte. O seu nome Drakolimnes - lagos do dragão, foi influenciado por mitos e lendas com dragões e deuses que foram surgindo ao longo tempo associados a estes lagos isolados nas montanhas.

responsável pela modelação da paisagem nas regiões temperadas do norte. O gelo glacial poliu as superfícies rochosas relativamente lisas, causando a formação de um vasto número de pequenos lagos. Estes lagos são particularmente comuns em regiões montanhosas onde os movimentos glaciares removeram o material rochoso desagregado. Quando os glaciares recuaram, as bacias rochosas formadas encheram-se com água do degelo. Estes lagos glaciares podem ser encontrados em vários locais da Europa (Fig. 2).

## 1.2 Lagos tectónicos

As bacias tectónicas são depressões formadas por movimentos das zonas mais profundas da crosta terrestre. Entre estes pode-se referir, no Leste da Sibéria, o Lago Baikal, o mais profundo do mundo, que foi formado no início do período Terciário à aproximadamente 65 milhões a 1.8 milhões de anos. O lago Baikal e outros lagos tectónicos têm um interesse particular para compreendermos a evolução da vida na Terra porque mantêm um grande número de antigas espécies endémicas.

Os movimentos na crosta da Terra causaram um levantamento moderado do leito marinho, isolando várias bacias de grandes lagos. A antiga bacia marinha da Europa de Este foi elevada e dividida pela formação de uma crista montanhosa que isolou o Mar Cáspio de um lado e o Mar Aral do outro.

## 1.3 Lagos formados por barreiras naturais

Estes lagos formam-se em vales de rios por trás de barreiras criadas por deslizamentos de terras e materiais rochosos. Grandes quantidades de material rochoso não consolidado deslizam para o sopé dos vales, represando os rios e criando lagos. É um tipo de lago muitas vezes transitório, existindo apenas durante algumas semanas ou meses. Muitas cheias com efeitos catastróficas resultaram da rápida remoção do material da represa devido à força do próprio rio.

## 1.4 Lagos vulcânicos

Eventos relacionados com a actividade vulcânica podem gerar bacias de lagos. As bacias formadas pelo abatimento do telhado de uma câmara magmática parcialmente vazia são chamadas caldeiras. A Lagoa das Sete Cidades nos Açores é o exemplo mais espectacular deste tipo de lago (Fig. 3).

## 1.5 Lagos Cársicos

Os lagos cársicos são comuns em regiões calcárias do planeta, nomeadamente nas regiões cársicas do Adriático, da Península Balcânica e dos Alpes, na Europa central. As bacias cársicas são quase circulares e de forma cónica profunda, desenvolvendo-se à medida que o calcário solúvel é corroído pela chuva. Normalmente, as depressões criadas são suficientemente profundas, estendo-se

até ao lençol freático e proporcionando a existência água em permanência (Fig. 4).

### 1.6 "Oxbow" ou lagos fluviais

Muitos lagos formaram-se ao longo de grandes rios à medida que os sedimentos transportados pelo canal principal são depois depositados na confluência dos tributários (Fig. 5). Como resultado, o tributário inunda o vale formando-se um lago lateral. Este tipo de lagos laterais ocorre especialmente nas zonas de cabeceira das bacias de drenagem.

À medida que um rio meanderiza ao longo da sua planície aluvial, a turbulência provoca a erosão no lado côncavo da curva do rio, enquanto que do lado convexo, onde a corrente e a turbulência da água são reduzidas, ocorre deposição. Por vezes um meandro curva tanto que se torna quase uma volta completa. Neste caso o rio cria um novo canal entre o início e o fim da volta, cortando o meandro e formando um lago fluvial ou um "Oxbow" (Fig.5).

### 1.7 Lagoas ou Lagos Costeiros

Os lagos costeiros normalmente resultam da formação de uma zona de deposição de sedimentos ao longo da foz de um estuário. O escoamento do rio e as correntes de maré são suficientes para evitar a separação completa entre o lago e o mar. Desta forma, o lago pode conter água doce, salgada ou salobra, dependendo das marés.



Fig. 3. Um lago vulcânico. Lagoa das Sete Cidades, Açores, Portugal.



Fig. 4. O lago Kournas na Ilha de Creta, Grécia.

## 2. Morfologia, luz e temperatura

O sol fornece a energia que origina os ventos na Terra. A energia do vento gera ondas que provocam a mistura vertical da água nos lagos. A energia da luz transmitida directamente ao lago, através da radiação solar, influencia a distribuição dos organismos e da temperatura da água. As componentes estruturais dos lagos incluem a sua forma e a distribuição da luz e do calor.

### 2.1 Morfologia

A forma da bacia de um lago é em grande parte determinada pela sua origem. O tempo de retenção hidráulica, definido como o tempo necessário para toda a água no lago ser renovada, é uma medida importante na avaliação da qualidade ecológica e na detecção de poluição.

### 2.2 Luz

As plantas aquáticas, ou sejam, os produtores primários, apenas existem em profundidade até onde penetra a luz solar. A produtividade do lago depende da espessura desta zona.

Os elementos de estrutura do lago, que envolvem a penetração da luz, são muitas vezes usados para descrever as condições

das margens ou do fundo do lago. A produção primária em lagos grandes e profundos está inteiramente dependente da luz transmitida através da água e que possibilita a fotossíntese.

### 2.3 Temperatura e estratificação

A água nos lagos apresenta um perfil vertical de temperatura, independente da sua forma. A luz solar penetra a superfície da água e é absorvida, fornecendo calor e aquecendo a água. No Verão a camada superficial é mais quente e menos densa, em consequência a água estratifica, apresentando as camadas profundas água mais densa e mais fria (ver capítulo 1).



Fig. 5. Formação de um "oxbow" ou lago fluvial

## 3. Processos químicos

### 3.1 Oxigênio

A difusão do oxigênio da atmosfera para a água é um processo relativamente lento. O perfil vertical do oxigênio na água de um lago é condicionado pela estratificação térmica de Verão, dependendo a variação vertical da produtividade de cada lago. Nos lagos de baixa produtividade (oligotróficos), a concentração em oxigênio na camada superficial, o epilimnion, decresce à medida que a temperatura da água aumenta. Em lagos produtivos (eutróficos), a matéria orgânica acumula-se no sedimento de fundo, no hipolimnion. Esta matéria orgânica acumulada consome oxigênio para a sua decomposição. Consequentemente, o oxigênio no hipolimnion diminui progressivamente durante o período de estratificação de Verão (ver capítulo 1). Por outro lado, à superfície, no epilimnion, durante o dia, o oxigênio aumenta devido à fotossíntese realizada pelas algas em suspensão, pelo contrário à noite podem-se registar valores próximos da anóxia (carência de oxigênio) devido à respiração.

### 3.2 Nutrientes

A concentração de nutrientes num lago tem uma importância fundamental na determinação das suas comunidades biológicas. Os produtores primários tais como as algas unicelulares e as plantas superiores, os macrófitas, dependem da disponibilidade de nutrientes para o seu desenvolvimento. Os principais nutrientes que os produtores primários necessitam são o azoto e o fósforo. Em geral, quanto maior a concentração de nutrientes maior a actividade fotossintética.

#### 3.2.1 Azoto

Nos sistemas de água doce o azoto ocorre em inúmeras formas: na forma molecular dissolvida ( $N_2$ ); como constituinte de compostos orgânicos tais como os aminoácidos; na forma de amónia ( $NH_4$ ); de nitritos ( $NO_2$ ); e de nitratos ( $NO_3$ ).

A fixação do azoto é o processo pelo qual o azoto atmosférico é convertido em formas existentes na água, como por exemplo, a amónia. Na natureza, em sistemas não perturbados, a maior parte do azoto é retirado da atmosfera por microrganismos formando, amónia, nitritos, e nitratos, utilizáveis pelas plantas (Fig. 6).

Em lagos produtivos, eutróficos, a anóxia (carência de oxigênio) contribui para a observação de níveis mais elevados de amónia e de nitrito, verificados sobretudo na zona do hipolimnion, em profundidade. Pelo contrário, nos lagos oligotróficos, as concentrações de oxigênio mais elevadas permitem a passagem da amónia a nitratos, resultando em baixas concentrações de nitritos e de amónia comparativamente com as concentrações tendencialmente mais elevadas de nitratos.

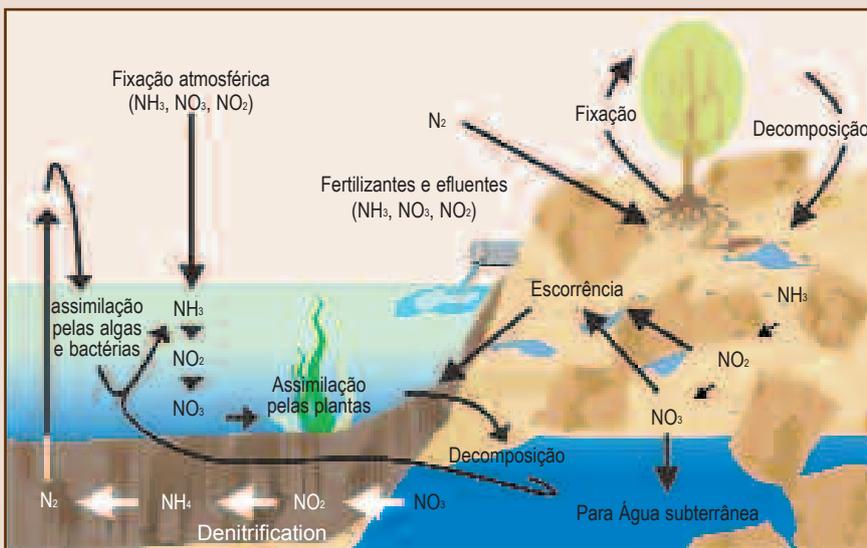


Fig. 6. O ciclo do azoto, mostrando as principais transferências e os diferentes habitats envolvidos.

### 3.2.2 Fósforo

O fósforo é um dos principais elementos limitantes para as plantas apesar de ser necessário em pequenas quantidades. Em contraste com as diferentes formas de azoto num lago, a forma mais significativa de fósforo inorgânico é o ortofosfato ( $PO_4$ ) (Fig. 7).

As plantas aquáticas com raízes obtêm as concentrações necessárias de ortofosfato a partir dos sedimentos, podendo posteriormente libertar fósforo para a água. Elevadas entradas de fósforo orgânico e inorgânico (fósforo total), nos ecossistemas aquáticos, ocorrem devido à erosão de partículas das encostas íngremes com solos facilmente erodíveis. O fósforo é rapidamente adsorvido pelas partículas de solo não sendo facilmente libertado para a água. Na Primavera e no Verão, o desenvolvimento intenso de algas unicelulares, “florescência algal” (i.e. quando a densidade total de uma espécie é superiores a 2000 células/ml, contribui para a diminuição da concentração de ortofosfato na água.

Os efluentes provenientes da agricultura e das actividades domésticas e industriais são as principais fontes de entrada de fósforo num sistema aquático e contribuem frequentemente para os elevados níveis de nutrientes registados nalguns lagos, ou seja, para a eutrofização, o que desencadeia o desenvolvimento de “florescências algais”.

### 3.2.3 Carbono e decomposição da matéria orgânica

São diversas as fontes e a composição da matéria orgânica. Na grande maioria dos lagos o carbono orgânico dissolvido provem da decomposição do material vegetal com origem no sistema terrestre e que entra no sistema aquático através das águas de escorrência. Este carbono, produzido fora do sistema aquático, é denominado de carbono alóctone. Todavia, o lago produz o seu próprio carbono através das plantas aquáticas, ficando este disponível após a decomposição efectuada dentro do sistema. A este chamamos carbono autóctone porque é produzido dentro do lago (Fig. 8).

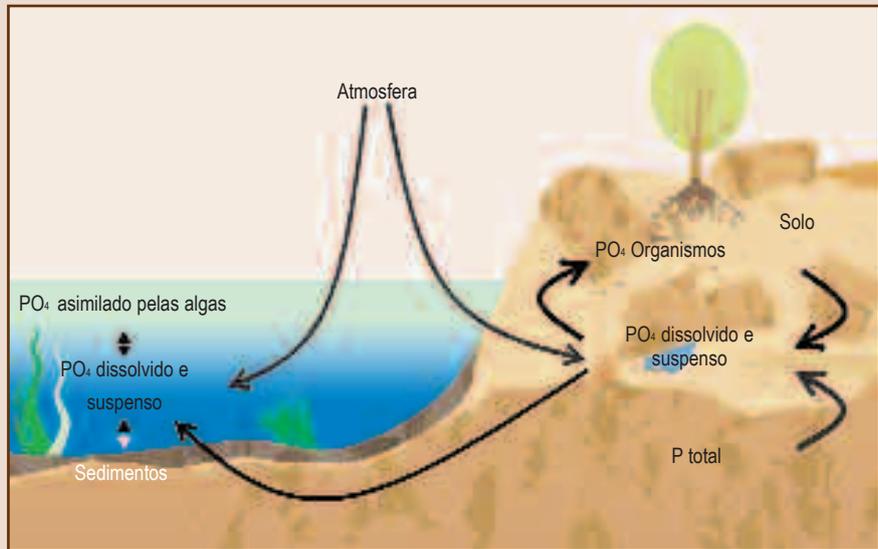


Fig. 7. O ciclo do fósforo, mostrando as principais transferências e os diferentes habitats envolvidos

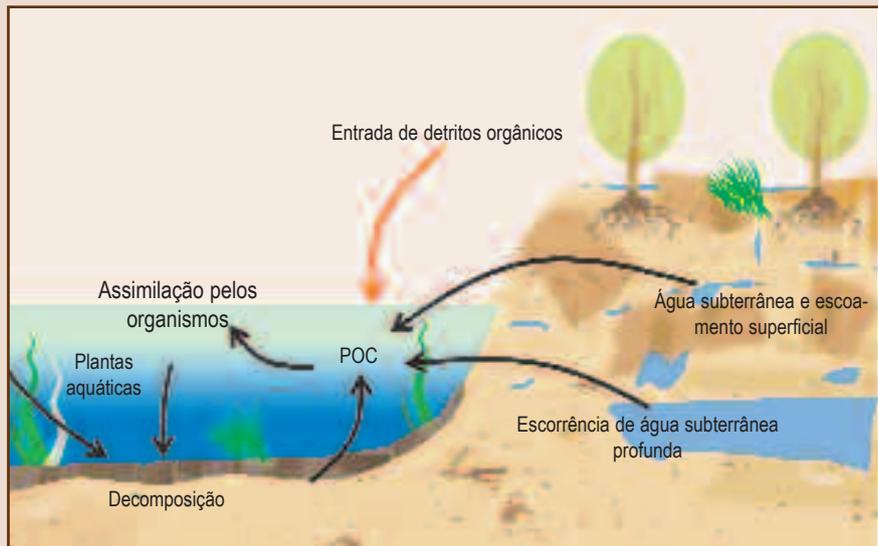


Fig. 8. Ciclo do carbono. O diagrama mostra a importância do carbono alóctone proveniente da bacia de drenagem (árvores e águas subterrâneas).

## 4. Lago - conceito de ecossistema

Os lagos apresentam uma faixa muito produtiva, situada entre a área de drenagem do sistema terrestre e a massa de água principal. Esta faixa litoral apresenta uma grande variedade de plantas, desde matos e arbustos com raiz até espécies de macrófitas submersos e flutuantes. Esta faixa litoral, muito complexa, é extremamente importante na regulação do metabolismo dos lagos. Uma vez que a maioria dos lagos são pequenos e relativamente pouco profundos, a zona litoral regula a sua produtividade. Esta faixa de interface muito complexa, representa o habitat menos compreendido dos ecossistemas lacustres e um lago pode subdividir-se em várias zonas conhecidas no seu conjunto por zonação lacustre (Fig. 9).

### 4.1 Zonação lacustre

a) A zona litoral estende-se desde a margem do lago sob influência das ondas, até uma profundidade onde a luz é praticamente insuficiente para o crescimento das algas unicelulares que colonizam o sedimento (o perifiton) e para o desenvolvimento das plantas com raiz (macrófitas). No sedimento de fundo vivem pequenos animais, os macroinvertebrados bentónicos.

b) Zona eufótica é a zona que se estende desde a superfície do lago até onde o nível de luz é 1% do nível à superfície. As comunidades biológicas correspondentes são os peixes e o plâncton.

c) A zona profunda está posicionada por baixo da zona litoral e da zona eufótica, no fundo do lago, onde os níveis de luz são demasiado baixos para a realização da fotossíntese. A este nível de profundidade o oxigénio é consumido pelas bactérias responsáveis pela decomposição da matéria orgânica.

d) Zona pelágica ou limnética corresponde à coluna de água para além da influência da linha de margem, acima da zona profunda

As fronteiras entre as diferentes zonas variam diariamente e sazonalmente com as alterações da radiação solar e da transparência da água. Normalmente ocorre uma diminuição da transparência da água quando surgem "florescências de algas" (i.e. quando a densidade total é superiores a 2000 células/ml) e quando partículas de sedimento, originadas por erosão das margens, entram nos ecossistemas aquáticos.

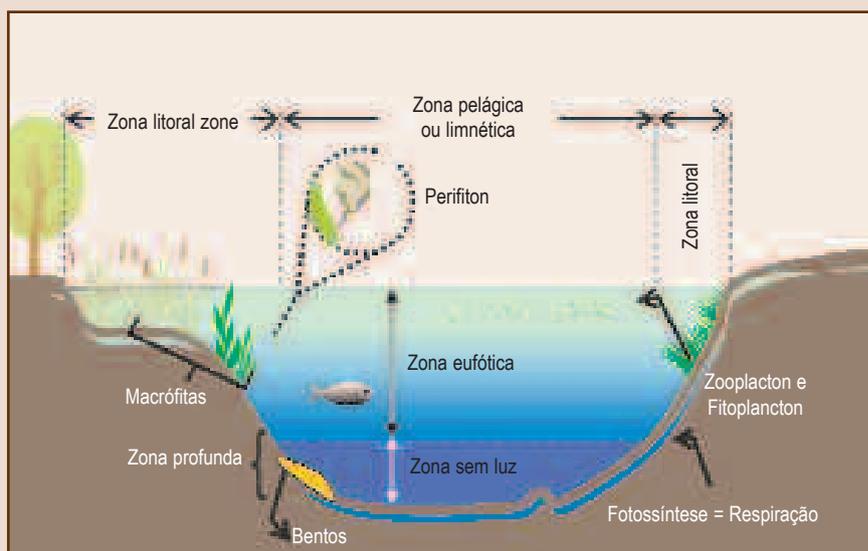


Fig. 9. As 4 principais zonas num lago e as comunidades associadas de acordo com o conceito de zonação lacustre.

## CAIXA 1 UTILIZAÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS PELO HOMEM

Os macrófitos foram bastante úteis ao homem ao longo dos séculos, fornecendo alimento, medicamentos e materiais de construção. Os antigos egípcios colhiam regularmente os lírios de água (*Nymphaea* spp.) (Fig. 10) para consumo humano. Herodatus, um historiador grego, descreveu a seguinte prática no século quinto AC “os lírios eram secos e as sementes eram trituradas ou moidas em farinha para fazer pão”



Fig. 10. Lírios de água (*Nymphaea alba*) no lago Kerkini, Norte da Grécia.

### 4.2 Comunidades Associadas

a) A comunidade de plâncton é a fracção viva que existe na água e é passivamente movido pelo vento ou pela corrente. É composto por algas unicelulares – o fitoplâncton – que são os produtores primários por excelência em ecossistemas lacustres. A componente animal nutricionalmente dependente do fitoplâncton é o zooplâncton. O fitoplâncton posiciona-se, assim, na base das cadeias alimentares dos sistemas aquáticos. Está por sua vez dependente das actividades de outros microrganismos, principalmente bactérias, que convertem a matéria orgânica nos nutrientes inorgânicos necessários às plantas. Os constituintes do fitoplâncton são algas unicelulares.

b) As algas unicelulares podem também crescer no sedimento de fundo, na zona litoral, e, juntamente com outras comunidades como os fungos e bactérias, constituindo o perifiton.

c) os macrófitos são plantas aquáticas. São descritas como aquáticas porque as partes da planta envolvidas na fotossíntese estão submersas ou flutuam à superfície da água permanentemente ou pelo menos durante alguns meses por ano. Na sua maioria, são plantas terrestres que ao longo do seu

processo evolutivo se adaptaram ao ambiente aquático. O termo "macrófitas" refere-se a todas as plantas suficientemente grandes para serem visíveis a olho nu, não só plantas com flor mas também fetos, briófitas e algas macroscópicas.

d) Os macroinvertebrados bentónicos vivem no sedimento do fundo dos lagos. Estes pequenos animais aquáticos são maiores que uma cabeça de alfinete (cerca de cinco microns). Tal como as bactérias, estes organismos são importantes no processamento e decomposição da matéria orgânica, proporcionando alimento a outras comunidades aquáticas.

e) Os peixes são vertebrados e os habitantes mais conhecidos dos sistemas de água doce. Os peixes são os maiores predadores dos lagos. A pesca de água doce é importante para uso doméstico e comercializada em todo o mundo.

# Sistemas de águas correntes

## 1. Classificação dos sistemas de águas corrente

Os sistemas de águas correntes, rios e ribeiras, ocorrem sob uma vasta gama de condições diferentes de vegetação, topografia e geologia. Contudo, todas estas condições estão ligadas pelo efeito da precipitação e da evaporação que afecta as suas bacias de drenagem. É útil classificar as águas correntes de acordo com a disponibilidade de água em termos de previsibilidade e permanência. Neste contexto, os rios podem ser classificados desde os sistemas menos previsíveis, menos permanentes, efémeros e episódicos até aos sistemas mais previsíveis, sazonais e permanentes.

### 1.1 Rios efémeros

Só se formam depois da ocorrência de chuvas imprevisíveis. A água superficial seca passados alguns dias e raramente suportam vida aquática macroscópica.

### 1.2 Rios episódicos

Estão secos a maior parte do ano com caudal superficial raro e irregular que pode persistir durante meses.

### 1.3 Rios intermitentes

Apresentam alternadamente períodos secos e com caudal superficial, sendo contudo menos

frequentes e menos regulares que os rios do tipo sazonal.

### 1.4 Rios sazonais

Apresentam anualmente períodos secos e com água corrente, em função da estação do ano. Enchem durante o período húmido e secam previsivelmente no final da Primavera princípio de Verão. A água superficial mantém-se durante meses, o tempo suficiente para os organismos macroscópicos completarem as fases aquáticas dos seus ciclos de vida.

### 1.5 Rios permanentes

Apresentam água corrente permanente apesar do nível poder variar. As suas comunidades não toleram a falta de água.

## CAIXA 2 DETERMINAÇÃO DO CAUDAL

O caudal pode ser determinado pelo produto da secção de área atravessada ( $m^2$ ) pela velocidade média da corrente ( $V$ ,  $m/s$ ). Desta forma, as suas unidades são  $m^3/s$ . A secção de área atravessada num rio é calculada pela largura ( $L$ ) multiplicada pela

profundidade média ( $P$ ). Assim, o caudal ( $Q$ ,  $m^3/s$ ) é:  $Q = LPV$

Na prática, o caudal é obtido dividindo o rio em segmentos e somando o caudal parcial estimado para os diferentes segmentos.

## 2. Processos físicos em sistemas de águas correntes

### 2.1 Escoamento e formação de canais fluviais

A água escoar no sentido descendente do terreno utilizando diferentes vias (Fig. 11). O clima, a vegetação, a topografia, a geologia, o uso do solo e outras características, determinam a quantidade de escoamento superficial que atinge o canal de uma linha de água.

A corrente de um rio define-se como o movimento da água para jusante. A corrente determina a extensão da erosão no canal, a quantidade de deposição de partículas e a natureza dos sedimentos e comunidades biológicas presentes num determinado segmento de rio. A velocidade de corrente é complexa uma vez que o movimento da água não é homogêneo ao longo de todo o canal; característica que resulta dos vários graus de atrito exercidos pela água enquanto flui pelo leito do canal do rio. A velocidade pode medir-se utilizando medidores de corrente sofisticados ou, de uma forma mais simples, medindo o tempo percorrido por um objecto flutuante ao longo de uma determinada distância.

O caudal é o volume total de água que atravessa uma secção de rio num determinado período de tempo (Caixa 2).

A quantidade de sedimentos transportada aumenta com o caudal. A deposição de sedi-

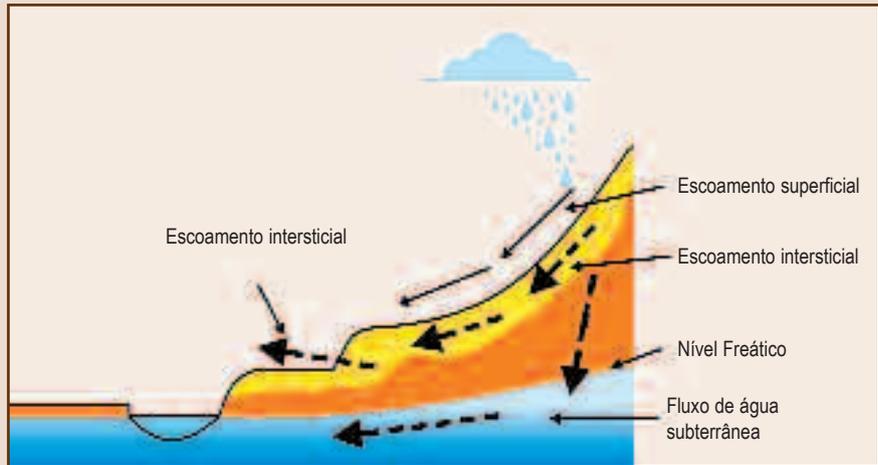


Fig. 11. Vias de escoamento de água para o canal de uma linha de água

mentos é responsável por diferentes estruturas existentes nos rios. Os bancos de depósito, por exemplo, são zonas alongadas de acumulação de sedimento (Fig. 12). Os rios que transportam grandes quantidades de sedimentos (carga aluvial), podem formar diferentes canais, separados por bancos de areia alongados e por ilhas (Fig. 13).

Durante a maior parte do ano, o caudal é demasiado baixo para moldar canais ou mover uma grande quantidade de sedimentos. Contudo, as enxurradas podem mudar dramaticamente este processo; podem-se formar canais e a água pode transportar grandes quantidades de sedimento.



Fig. 12. Banco de depósito formado por gravilha. Bacia do Guadiana, sul de Portugal.

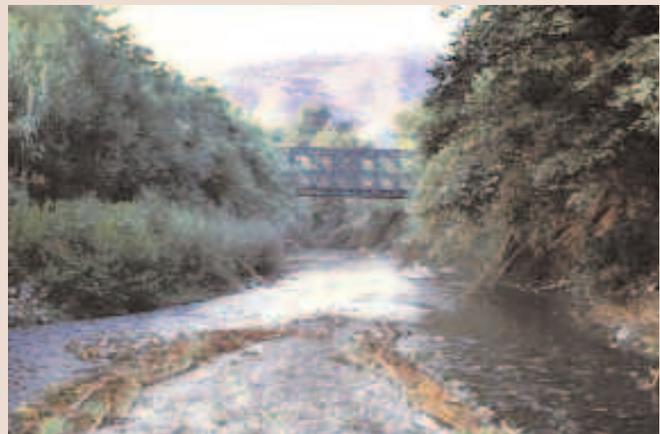


Fig. 13. Um rio com canais móveis por onde escoar a água.



Fig. 15. Quedas de água. Ribeira de Arronches, Bacia do Guadiana no sul de Portugal

No canal de um rio a água não escoa regularmente da mesma forma. Por exemplo, os rápidos (Fig. 14) e as quedas de água (Fig. 15), formam-se devido ao declive do segmento do rio e à presença de rochas e substrato grosseiro no leito do rio. Em rios de cabeceira, muitos canais fluviais consistem em sequências de zonas de fluxo rápido com água turbulenta denominadas rápidos, seguidos por zonas intermédios onde a água escoa uniformemente e por zonas de deposição com escoamento da água não perceptível (Caixa 3).

## 2.2 Rios meandrizados

Os rios não são lineares, percorrendo pelo menos uma vez e meia mais do que a distância linear da nascente até à foz, seguindo um padrão de curvas e voltas denominadas meandros. Uma única curva apresenta uma margem côncava exterior onde a corrente é mais rápida e predomina a erosão e na banco convexo interior onde a água mais lenta deposita os sedimentos transportados.



Fig. 14. Rápidos. Rio Sado no sul de Portugal

### CAIXA 3 CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS HABITATS HIDROLÓGICOS

Rápidos	Zona onde a corrente é rápida apesar de poder apresentar diferentes intensidades mas sempre com profundidades reduzidas o que provoca turbulência. O substrato do leito do rio é constituído por materiais grosseiros, rocha, pedras e gravilha. Estes materiais proporcionam uma variedade de refúgios para os organismos com condições estáveis até serem arrastados pela corrente. Como resultado da corrente rápida, as partículas em suspensão são transportadas pelo fluxo de água. Devido à intensidade da corrente os habitats de rápidos são bem oxigenados e geralmente apresentam uma grande disponibilidade de alimento. Por estas razões estes habitats tendem a manter elevados níveis de biodiversidade.
Escoamento uniforme	Zonas de água corrente com maiores profundidades e com menor velocidade de corrente, o que proporciona a sedimentação de partículas de reduzida dimensões, tais como areia e gravilha. Em consequência, desenvolve-se um habitat mais uniforme, não fornecendo a mesma diversidade de refúgios. O escoamento de água mais elevado na Primavera e as enxurradas, podem arrastar as partículas do substrato e qualquer organismo que aí viva. Por outro lado, em situações em que a luz solar penetra até ao fundo desenvolve-se uma película típica de biofilme. Uma vez que estes habitats são menos estáveis, com o sedimento facilmente arrastado, desenvolvem menor biodiversidade.
Escoamento não perceptível	São zonas mais profundas e de corrente lenta; característica que conduz a um sedimento uniforme com partículas de reduzida dimensão, tais como areias e silte. Estes materiais fornecem espaços e superfícies colonizáveis muito limitadas para os organismos. Complementarmente, estes materiais são facilmente arrastados por eventos de enxurrada o que faz com que sejam periodicamente substituídos por depósitos provenientes de montante. Contudo, são refúgios valiosos para os peixes, uma vez que tendem a manter-se frescos junto ao fundo e encontram-se frequentemente próximo de margens com vegetação, o que lhes fornece protecção de predadores. Em zonas mais profundas, a luz pode não chegar até ao fundo do rio o que impede que as plantas se desenvolvam. Comparando com os outros dois habitats, estas zonas mantêm uma biodiversidade limitada.

## 3. Dinâmica de nutrientes e dinâmica da matéria orgânica

### 3.1 Espiral de nutrientes

Em águas correntes, o ciclo dos nutrientes (por exemplo o azoto e o fósforo) é condicionado pelo movimento longitudinal da água, formando-se uma espiral de nutrientes (Fig. 16). A eficiência deste processo é medida pela relação entre a rapidez de processamento do ciclo e a distância entre ciclos. Representa uma medida de retenção de nutrientes que é influenciada pela actividade biológica, pela concentração de nutrientes e pelo fluxo de água.

### 3.2 Fluxo de energia em águas correntes

Quando uma folha (MOPG - Matéria orgânica particulada grossa) cai num rio, pode ser transportada até se afundar numa zona de deposição ou ser retida por uma rocha ou por um tronco de árvore tombado. No espaço de 1-2 dias, a matéria orgânica dissolvida (MOD) é lixiviada contribuindo para a formação de matéria orgânica particulada fina (MOPF) (Fig. 17). Entretanto, a folha forneceu substrato aos

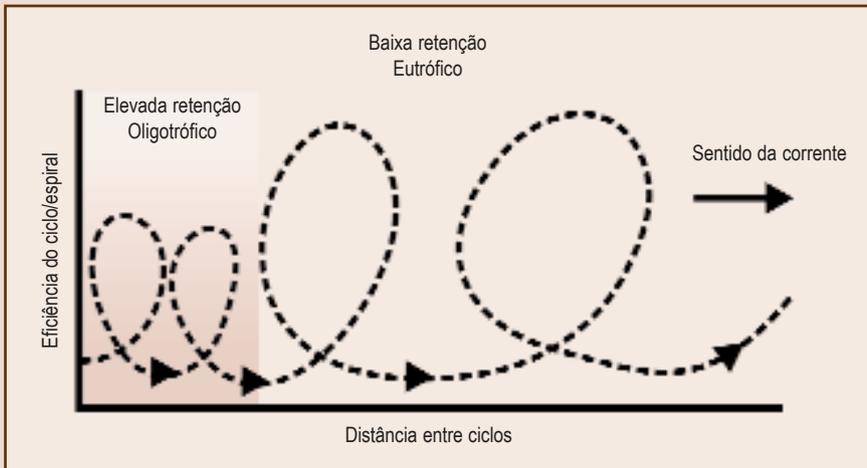


Fig. 16. Espiral de nutrientes em sistemas de água corrente. As espirais mais próximas indicam uma elevada retenção, como acontece em condições oligotróficas ou em rios de cabeceira de substrato grosseiro. Espirais mais afastadas representam baixa retenção; são características de sistemas eutróficos com excesso de nutrientes.

microorganismos (fungos e bactérias). Estes microorganismos tornam a folha mais apetível aos invertebrados (detritívoros) ao mesmo tempo que digerem parcialmente o tecido foliar.

As algas unicelulares podem também colonizar a folha, fornecendo alimento para pequenos animais aquáticos, como sejam os fitófagos (Caixa 4). A folha começa a decompor-se devido ao hidrodinamismo da corrente, à abrasão e à actividade alimentar de pequenos animais aquáticos, os detritívoros. Os detritívoros quebram a folha em pequenos fragmentos tornando-os disponíveis para os colectores. Simultaneamente, dependendo do ensombreamento, da estação do ano e da localização ao longo do percurso longitudinal do rio, dá-se a actividade fotossintética e produção primária com desenvolvimento de algas unicelulares (perífiton) e de macrófitas superiores. As plantas aquáticas ficam assim disponíveis para os detritívoros e, depois da acção destes, para os colectores.

O modelo do fluxo de energia contempla duas fontes principais de energia. Uma proveniente da actividade fotossintética que ocorre no rio pelas plantas aquáticas e algas (autóctone) e outra proveniente da matéria orgânica produzida fora do rio (alóctone) e que entra nos ecossistemas aquáticos como folhas de árvore ou como matéria orgânica dissolvida na água de escorrência.

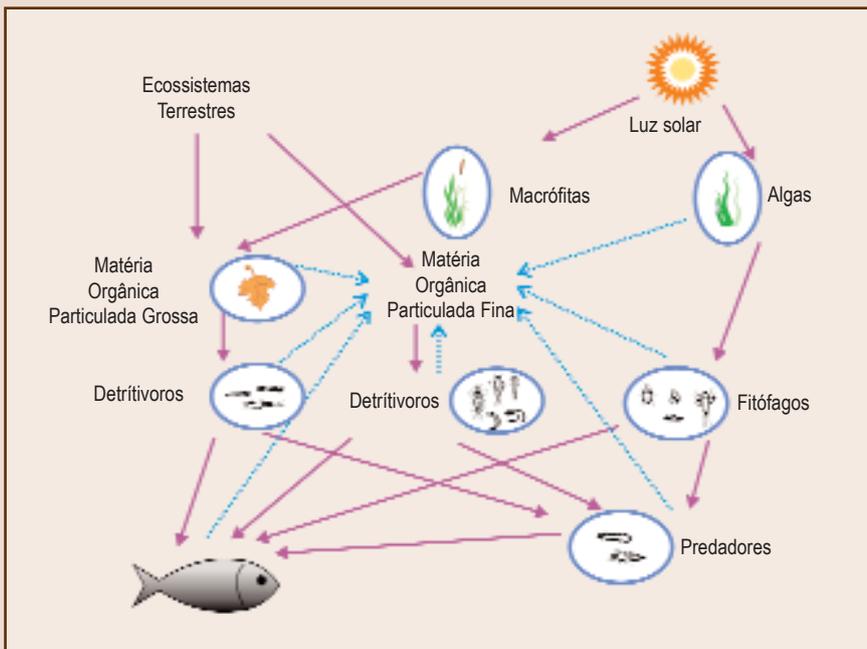


Fig. 17. Modelo simplificado da estrutura trófica funcional num rio, mostrando os principais componentes biológicos, fontes de energia e transferências de matéria orgânica. A importância relativa das transferências irá diferir de rio para rio e de segmento para segmento em função da sua posição ao longo do curso longitudinal do rio. As setas azuis mais grossas correspondem à contribuição do sistema terrestre. As setas azuis finas correspondem ao fluxo directo de energia ao longo da cadeia alimentar. As setas castanhas a ponteeado mostram as diferentes origens da matéria orgânica particulada fina (MOPF).

## CAIXA 4 GRUPOS TRÓFICOS DOS MACROINVERTEBRADOS

MOPG = Matéria orgânica particulada grossa MOPF = Matéria orgânica particulada fina			
Grupo trófico	Tipo de alimento	Modo de alimentação	Exemplos
Detritívoros	Depósitos de folhas (CPOM), plantas aquáticas verdes	Mastigação	Tricópteros, alguns Crustáceos
Detritívoros	Madeira, predominantemente raízes	Mastigação e escavação	Plecópteros, alguns coleópteros, alguns quironomídeos
Colectores filtradores	MOPF em suspensão na água	Filtração através de sedas especializadas, redes ou secreções	Tricópteros, larvas de Dípteros, algumas larvas de Chironomídeos
Colectores escavadores	FPOM depositada no sedimento	Raspagem e escavação em sedimento fino	Muitos Efemerópteros, Plecópteros, Tricópteros, Dípteros, Oligoquetas, alguns Crustáceos
Fitófagos	Biofilme algal	Raspagem do biofilme algal	Alguns Efemerópteros, Tricópteros, Gasterópodes, larvas de Coleópteros
Predadores	Pequenos animais	Mastigação	Odonatas, Herudínios, alguns Tricópteros, Dípteros, e Coleópteros

### 4. Continuo lótico: um modelo que explica a distribuição longitudinal das espécies

O Conceito do Contínuo Lótico é uma tentativa ousada para descrever o funcionamento dos sistemas água corrente desde a nascente até à foz. Ao longo do seu percurso, o rio aumenta de tamanho, recebe tributários e drena uma área cada vez maior. (Fig. 18).

Este conceito foi inicialmente concebido para descrever os pequenos rios de montanha de clima temperado. Junto à nascente o rio é estreito e normalmente bem ensombrado pelas árvores. Consequentemente, nestas zonas, a luz é insuficiente para promover o crescimento algal,

a corrente é demasiado rápida e o substrato é grosseiro, maioritariamente constituído por blocos, pedras e cascalho. Os nutrientes existem em reduzidas concentrações limitando o crescimento de macrófitos. Por outro lado, a vegetação ripícola característica destes troços de cabeceira contribui com a entrada de muitos detritos lenhosos e folhas de árvore. Os detritívoros decompõem esta matéria orgânica, tornando-a disponível para os colectores. Os fitófagos estão praticamente ausente devido à reduzida existência de algas unicelulares.

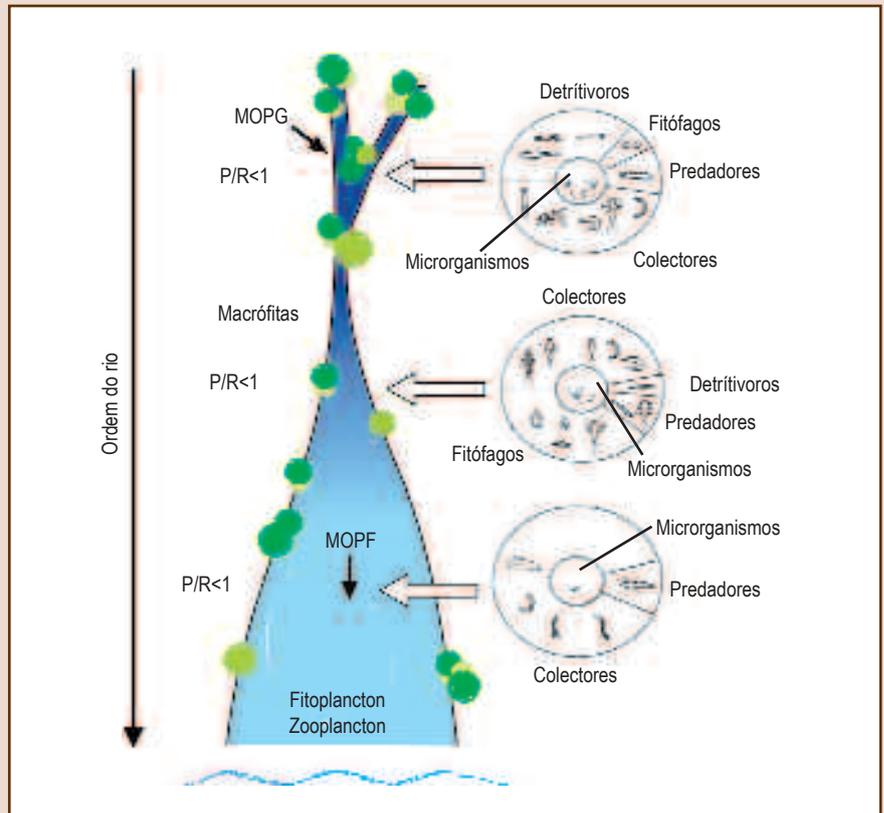


Fig. 18. Relação entre a dimensão dos segmentos do rio (ordem), as fontes de energia e o funcionamento do ecossistema, segundo o modelo do Contínuo Lótico (Vannote et al., 1980)

À medida que o rio aumenta de tamanho, a influência da floresta circundante diminui, o ensombramento e a entrada de matéria orgânica particulada grossa diminui e a influência da luz solar aumenta, o que resulta numa produção algal significativa. Os colectores são tão numerosos como a montante, apesar de estarem representados por espécies diferentes. A maior alteração ocorre na inversão do número detritívoros, relativamente ao número de fitófagos. A matéria orgânica particulada grossa reduz-se e as algas abundantes; em consequência os detritívoros são raros e os fitófagos são mais numerosos. As plantas aquáticas (macrófitos) tornam-se mais abundantes com o aumento da largura do rio, particularmente nos rios de planície onde o reduzido gradiente e os sedimentos mais finos criam condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Mais para jusante, a entrada de matéria orgânica com origem no sistema terrestre não é significativa. A água apresenta grandes concentrações de matéria orgânica em suspen-

são resultante do excesso de produção da zona a montante. Este material em suspensão limita a penetração da luz. A comunidade bentónica está em grande parte formada por colectores filtradores e escavadores. Não estão presentes os detritívoros nem os fitófagos. Ao longo do contínuo, a proporção de predadores, nomeadamente de peixes, permanece relativamente constante embora com espécies diferentes

Este modelo do Contínuo Lótico demonstra a sequência natural dos processos. Contudo, perturbações tais como desflorestação e construção de represas no rio, interrompem as condições naturais, e podem conduzir a perturbações irreversíveis.

## 5. Zonação dos peixes

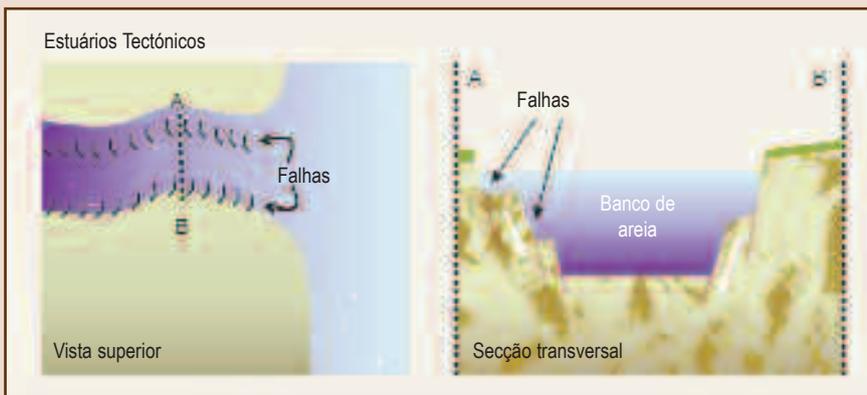
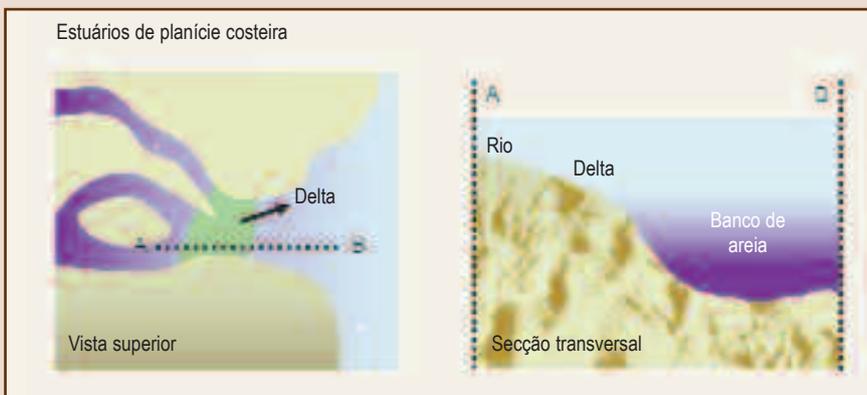
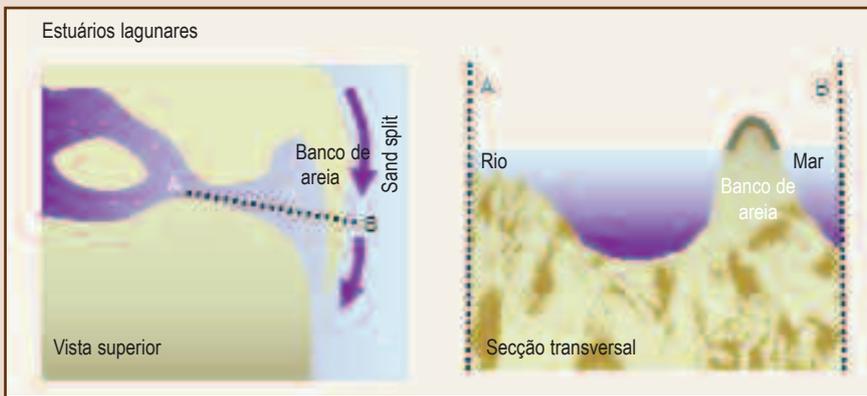
As características físicas do habitat de um rio influenciam as comunidades piscícolas. As espécies adaptaram-se a habitats ribeirinhos específicos. Por exemplo, as barbatanas peitorais bem desenvolvidas e os perfis planos permitem a alguns peixes sobreviver nos rios com rápidos e com velocidade de corrente elevada. Outros desenvolvem bocas especializadas para se adaptarem a substratos finos característicos das zonas de escoamento uniforme e de deposição. Estas adaptações observadas nos peixes conduziram ao desenvolvimento da teoria da zonação. A distinção entre zonas não é precisa, mas dão-nos uma indicação dos diferentes habitats para peixes que se formam ao longo do curso longitudinal do rio. Na grande maioria dos grandes rios Europeus é possível distinguir as zonas de 'truta', de "salmão", de "barbo" e de "ciprinídeos" que podem ser caracterizadas da seguinte forma:

**Zona da truta** – Esta zona apresenta um grande declive; a velocidade da corrente é elevada e a água é fria. A elevada velocidade da corrente provoca turbulência da água mantendo-se esta bem oxigenada. As espécies características desta zona produzem ovos adesivos que se fixam ao substrato grosseiro (blocos, pedras e gravilha) o que evita que estes sejam arrastados pela corrente. As espécies características são: a truta (*Salmo* sp.) e o salmão (*Salmo* sp.).

**Zona de salmão** – Similar em características físicas à zona anterior, apesar da temperatura ser ligeiramente mais elevada. As espécies também produzem ovos aderentes, incluem as anteriores com a ocorrência de escalos (*Leuciscus* sp.).

**Zona do Barbo** – Corresponde a zonas de planície mas ainda com algumas características de cabeceira. Apresenta um declive suave com velocidades de corrente e temperaturas moderados. A água apresenta-se bem oxigenada e o substrato é uma mistura de silte e gravilha que permite o desenvolvimento de plantas com raízes. A maioria das espécies deposita os seus ovos na vegetação aquática enraizada no leito do rio; facto que garante uma boa protecção e permite aos ovos uma boa oxigenação fornecido pelas plantas. Os peixes presentes incluem todas as espécies das zonas anteriores, incluindo também barbos (*Barbus* sp.), ruivos (*Rutilus* sp.) percas (*Perca* sp.), lúcius (*Esox lucius*) e enguias (*Anguilla anguilla*).

**Zona de Ciprinídeos** – Corresponde às zonas de planície mais próximas da foz; apresenta um declive muito suave com velocidades de corrente lenta e a temperatura é muito variável. Esta zona apresenta substrato fino, com água frequentemente turva. As espécies características desta zona depositam os ovos nas plantas aquáticas. As espécies incluem apenas algumas da Zona do Barbo (ruivos percas e lúcius), tincas (*Tinca* sp.) e carpas (*Cyprinus* sp.).



# Estuários

## 1. Classification of estuaries

### 1. Classificação de estuários

Os estuários classificam-se em quatro tipos de acordo com a sua origem (Fig 19):

#### 1.1 Estuários lagunares

Estuários que se formaram em lagoas costeiras ou baías pouco profundas protegidas do oceano por bancos de areia ou por barreiras de ilhas.

#### 1.2 Estuários de planície costeira

Estuários que ocorrem quando a elevação do nível do mar inundou os vales dos rios.

#### 1.3 Estuários tectónicos

Estuários que resultaram da elevação ou do abaixamento de falhas geológicas.

#### 1.4 Fiords

Os fiordes são um tipo muito específico de estuários que resultaram do enchimento de vales glaciares, geralmente com secção

Fig. 19. Tipos de estuários de acordo com a sua origem. À esquerda encontra-se a vista superior e à direita a secção transversal assinalada por letras no esquema da esquerda.

## 2. Habitats inter-tidais

Os habitats inter-tidais são zonas húmidas situadas entre a linha da praia-mar e da baixa-mar, tanto em estuários como em zonas costeiras. Os organismos que habitam estas zonas encontram-se sujeitos a acentuadas flutuações de parâmetros ambientais, tal como a salinidade. Algumas destas zonas inter-tidais são muito produtivas, sendo importantes habitats para a fauna e flora. Bancos vasosos, sapais e mangais são importantes habitats inter-tidais.

### 2.1 Bancos vasosos

Os bancos vasosos são característicos da maior parte dos estuários, resultando da deposição de sedimentos provenientes do mar e dos rios. Estes habitats são suficientemente produtivos para manterem uma cadeia trófica completa.

### 2.2 Sapais

Os sapais ocorrem em zonas pouco profundas e com turbulência reduzida onde as partículas em suspensão sedimentam e se acumulam no fundo (Fig. 20). Os sapais encontram-se no interior dos ecossistemas estuarinos, geralmente em zonas planas, permitindo o desenvolvimento de gramíneas que são parcialmente alagadas durante o ciclo de maré. A produtividade nos sapais é elevada, sendo mesmo considerados um dos habitats mais produtivos do mundo. A matéria orgânica neles produzida é em quantidade tal que pode influenciar zonas costeiras e oceânicas muito distantes.

Os sapais assemelham-se a prados, onde se desenvolve uma vasta comunidade de gramíneas, verificando-se junto ao fundo um crescimento abundante de algas. Caranguejos, caracóis, insectos, aves répteis e mamíferos são habitantes comuns dos sapais. Os sapais também são um habitat preferencial para a paragem de aves migradoras. Muitos patos e gansos, durante as suas migrações, encontram refúgio temporário nos sapais, tanto na Primavera como no Outono.



Fig. 20. Sapal durante a baixa-mar no estuário do rio Mira (Portugal). Sobre a vasa cresce uma densa vegetação de gramíneas atravessada por canais.

### 2.3 Mangais

Os mangais tendem a substituir os sapais nas zonas tropicais, desempenhando as mesmas funções (Fig. 22). As densas raízes das plantas que compõem o mangal representam um santuário para peixes, répteis e insectos. A folhagem densa disponibiliza espaço para nidificação e refúgio de aves quando procuram alimento nas águas pouco profundas. Os mangais também são bastante importantes na protecção das zonas costeiras contra a erosão.



Fig. 21. Mangal durante a baixa-mar no estuário do rio Gâmbia (Gâmbia, África Ocidental). Os pontos cor de laranja que se vêem na vasa são caranguejos típicos dos mangais

## 3. Principais características de um estuário

### 3.1 Formação de deltas

Os processos físicos associados à mistura de águas no estuário são complexos e dependem da geologia, da topografia e do caudal do rio. Por exemplo, os deltas ocorrem em locais onde o sedimento transportado pelo rio é elevado e se acumula na foz espalhando-se em direcção ao mar. Os sedimentos dos deltas, de um modo geral, são finos, apresentando predominância de silte e de argila, com reduzida presença de areias. As margens dos canais formados nos deltas permitem a existência de zonas pouco profundas capazes de suportar coberturas densas de plantas vasculares.

### 3.2 Circulação da água

A circulação da água junto à margem é complexa e é afectada por: diferenças de densidade entre água doce e água salgada; diferenças de temperatura da água; correntes de maré; ventos e forças gravitacionais terrestres. A água mais quente e menos densa ocupa as camadas superficiais, enquanto que a água mais fria, por ser mais densa, ocupa os níveis inferiores, originando-se, assim, uma coluna de água estratificada. No entanto, por acção do vento e das marés, esta estratificação pode ser quebrada, originando-se a mistura vertical da coluna da água. Durante o processo de mistura ocorrem trocas entre a superfície e as camadas mais profundas (Fig. 23).

Em alguns grandes rios, com caudal acentuado, um nível inferior de água salgada em forma de crista, denominada de crista salina, avança para montante como consequência do fluxo contrário de água doce à superfície. Esta crista salina pode penetrar vários quilómetros para montante da foz.

Os estuários e as águas costeiras, em geral, contêm mistura de água salgada e de água doce que condiciona a fisiologia e a ecolo-

gia dos organismos.

### 3.3 Componente biológica

Os estuários são dos ecossistemas mais produtivos do planeta. Dezenas de aves, mamíferos, peixes e outras espécies selvagens dependem dos habitats estuarinos para viverem, alimentarem-se e reproduzirem-se. Os estuários são importantes para aves migratórias, que os usam como zonas de descanso e de recuperação das longas distâncias percorridas e para os peixe e marisco que aí encontram locais protegidos para desovarem.

#### 3.3.1 Plantas

Só certo tipo de plantas consegue tolerar as condições físicas peculiares dos estuários, ocupando nichos específicos. Algumas plantas herbáceas (*Spartina* sp. e *Distichlis* sp.) toleram elevadas concentrações salinas, excretando o sal que absorvem através de poros localizados na superfície das folhas. Outras só conseguem sobreviver em água doce, localizando-se muito próximas de terra.

Um Segundo factor que influencia o crescimento das plantas num estuário é o tempo de submersão. Zonas com maiores tempos de submersão têm menor disponibilidade de oxigénio no fundo, obrigando as plantas aí existentes a desenvolverem mecanismos de armazenamento de oxigénio. Em zonas permanentemente submersas existem extensas pradarias marinhas subaquáticas. Em zonas temperadas, estas pradarias são fundamentalmente formadas por angiospérmicas do género *Zoostera* sp. que tem uma função importante na estabilização dos sedimentos costeiros. Esta planta, em algumas regiões é denominada por moliço e é utilizada como fertilizante de solos arenosas, tal como sucede na ria de Aveiro,

onde esta actividade é muito importante

### 3.3.2 Fauna

Os estuários são habitats específicos para alguns organismos, particularmente para determinados estádios do seu ciclo de vida. Só um número reduzido de espécies é capaz de sobreviver durante todo o seu ciclo de vida nesses habitats, necessitando, para esse efeito, de estarem bem adaptadas a constantes variações de salinidade, de oxigénio e de temperatura. A maior parte são residentes temporários que usam os estuários para se alimentarem e se reproduzirem. A sobrevivência dos predadores depende, assim, das populações de peixes e de aves que usam os ecossistemas costeiros em períodos importantes dos seus ciclos de vida. Apesar do aspecto desolador, estes ecossistemas apresentam uma diversidade de invertebrados, incluindo bivalves, gastrópodes, anfípodos, outros artrópodes e anelídeos, que se enterram nos sedimentos vasosos, tornando-se presas para peixes e aves.

Podemos encontrar espécies de aves como o pilrito-comum (*Calidris alpina*), o alfaiate (*Recurvirostra avosetta*), a tarâmbola-cinzenta (*Pluvialis squatarola*), o borrelho-grande-de-coleira (*Charadrius hiaticula*), o borrelho-de-coleira interrompida (*Charadrius alexandrinus*) e o perna-longa (*Himantopus himantopus*). É ainda possível encontrar golfinhos, garças, cisnes, flamingos, pássaros, patos, aves de rapina, assim como lontras. Facto que evidencia a biodiversidade associada aos estuários.

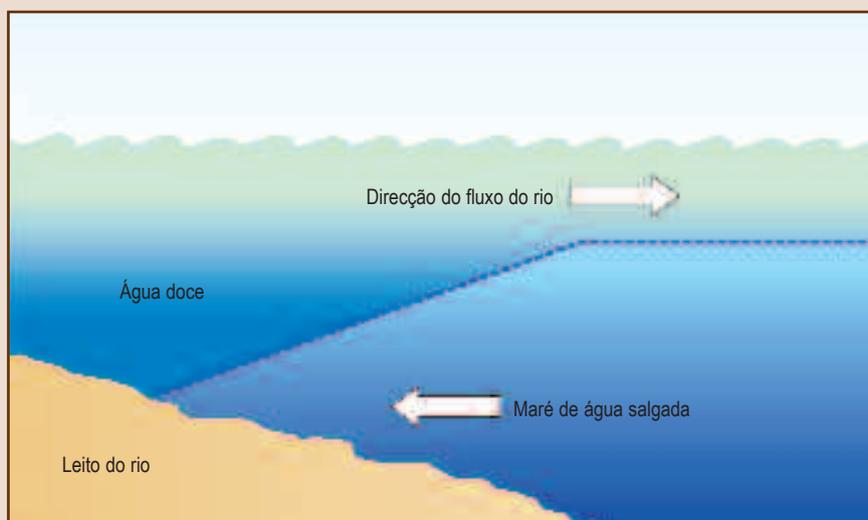


Fig. 22. Mistura entre água doce e água salgada num estuário, mostrando a estratificação associada à diferença de densidades. A água salgada, por ser mais densa, penetra no interior do estuário junto a fundo. A água doce, menos densa, ocupa as camadas superficiais da coluna da água.

## 4. Fluxo de nutrientes num estuário

Os estuários são importantes locais de sequestro físico e biológico de nutrientes. Este processo envolve a retenção e a reciclagem de nutrientes pelos organismos bentónicos, a formação de detritos orgânicos e a mobilização de nutrientes provenientes dos sedimentos profundos pela actividade microbiológica e a pela absorção radicular das plantas.

Os nutrientes existentes nos estuários têm também origem na zona terrestre envolvente. A erosão e a decomposição da matéria orgânica de origem terrestre são uma fonte complementar de nutrientes e de minerais.

O fornecimento de nitratos para os produtores que habitam os estuários pode ainda ser complementado pela precipitação ou por descargas de efluentes de origem antropogénica.

## 5. Importância dos estuários

Para além de serem importantes zonas de biodiversidade, os habitats inter-tidais típicos dos estuários, desempenham outras funções importantes. A água proveniente de montante transporta sedimentos, nutrientes e poluentes que são filtrados e retidos pelos sapais. Este processo de filtração melhora a qualidade da água, com benefícios para as comunidades. Estes ecossistemas funcionam como zona de tampão entre a terra e o oceano, atenuando os efeitos das cheias e dissipando os efeitos das tempestades oceânicas. As plantas dos sapais, bem como outras plantas marinhas também ajudam a controlar os efeitos da erosão, contribuindo para a estabilização da linha de costa. Os estuários, por se situarem na zona de transição entre a terra e o mar, são verdadeiros laboratórios naturais para cientistas e estudantes, proporcionando lições sobre biologia, geologia, química, física, história e sociologia. Esta sua localização também lhes permite ter uma valia significativa como zonas de lazer, navegação, pesca e observação de aves.

Por último, são de salientar os benefícios económicos dos estuários, nomeadamente para o turismo, para a pesca e para outras actividades comerciais que dependem da sua integridade como ecossistema. Para além disso, as zonas costeiras protegidas pelos estuários são importantes áreas para a localização de infra-estruturas portuárias, importantes ao longo da história da humanidade como factor de desenvolvimento e progresso.

