

## CAPÍTULO 3

# LAGOS, RIOS E ESTUÁRIOS

Manuela Morais

*Doutora em Biologia, Laboratório da Água, ICAAM, Universidade de Évora, Portugal*

Paulo Pinto

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

Cecilia Gonçalves

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

## 1. Qual a melhor maneira de classificar a enorme variabilidade de ecossistemas de água doce que variam em tamanho, tempo de residência da água e regime de escorrência?

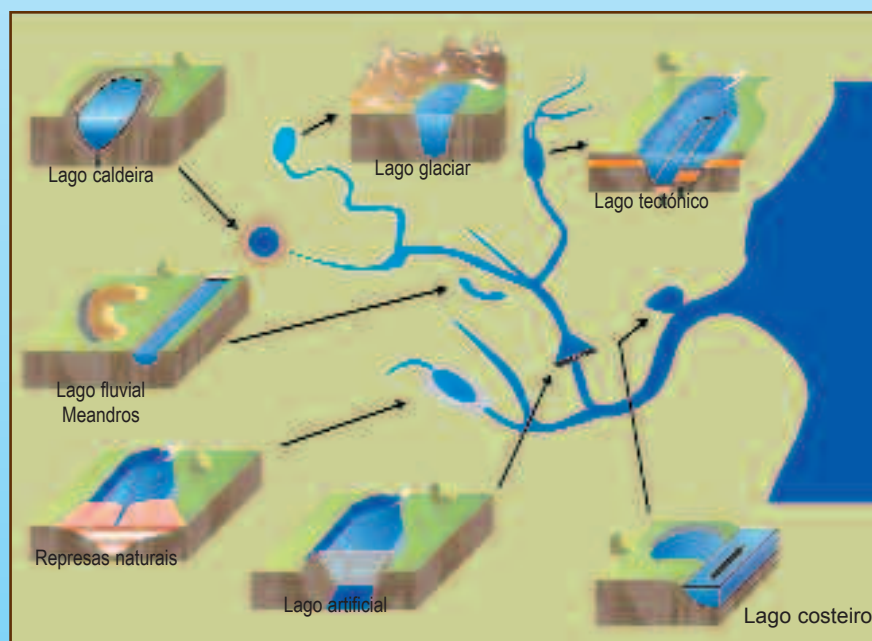


Fig. 1. Origem dos diferentes tipos de lagos

Escolhemos a distinção entre águas paradas, por exemplo os lagos e águas correntes, por exemplo os rios e ribeiras; nesta abordagem também considerámos os estuários por serem zonas de transição entre a terra e o mar e entre a água doce e a água salgada.

### 1.1. Como se formam os 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).



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 do tempo associados a estes lagos isolados nas montanhas.

### 1.1.1 Lagos glaciares

A última glaciação foi 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-se encontrar em vários locais da Europa (Fig. 2).

### 1.1.2 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.

### 1.1.3 Lagos formados por represas 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.

### 1.1.4 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).

### 1.1.5 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, estendendo-se até ao lençol freático e proporcionando a existência água em permanência (Fig. 4).

### 1.1.6 "Oxbow" ou lagos fluviais

Muitos lagos formaram-se ao longo de grandes rios à medida que os sedimentos transportados pelo canal principal do rio são 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).

### 1.1.7 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 Kourmas na Ilha de Creta, Grécia

## 1.2 Como podemos classificar os rios?

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.

### 1.2.1 Rios efémeros

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

### 1.2.2 Rios episódicos

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

### 1.2.3 Rios intermitentes

Apresentam alternadamente períodos secos e com caudal superficial, sendo contudo menos frequentes e menos regulares que os rios do tipo sazonal (Fig. 6).

### 1.2.4 Rios sazonais

Apresentam anualmente períodos secos e com água corrente, em função da estação do ano (Fig. 7). Enchem durante o período húmido e secam previsivelmente no final da Primavera princípio de Verão. A água superficial mantém-



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



Fig. 6. Rio Kratis em Creta na Grécia. Um rio intermitente

se durante meses, o tempo suficiente para alguns organismos macroscópicos completarem as fases aquáticas dos seus ciclos de vida.



Fig. 7. Rio sazonal no sul de Portugal, Ribeira da Pardiela – bacia do Guadiana



Fig. 8. Rio Kalamafkianos. Um rio permanente, Creta, Grécia

### 1.2.5 Rios permanentes

Apresentam água corrente permanente apesar do nível poder variar (Fig 8). As suas comunidades não toleram a falta de água.

## 1.3 Como podemos classificar os estuários?

Os estuários classificam-se em quatro tipos de acordo com a sua origem (Fig 9).

### 1.3.1 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.

### 1.3.2 Estuários de planície costeira

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

### 1.3.3 Estuários tectónicos

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

### 1.3.4 Fiordes

Os fiordes são um tipo muito específico de estuários que resultou do enchimento de vales glaciares, geralmente com secção transversal em forma de U. Os fiordes existem em regiões sujeitas a um passado geológico de actividade glaciária, tal como sucedeu no Norte da Europa, Alasca e Canadá.

Poderemos agora perguntar: Será que existem características ecológicas comuns entre estes ecossistemas de água doce? Quais são as suas principais diferenças? Quais são os principais processos envolvidos?

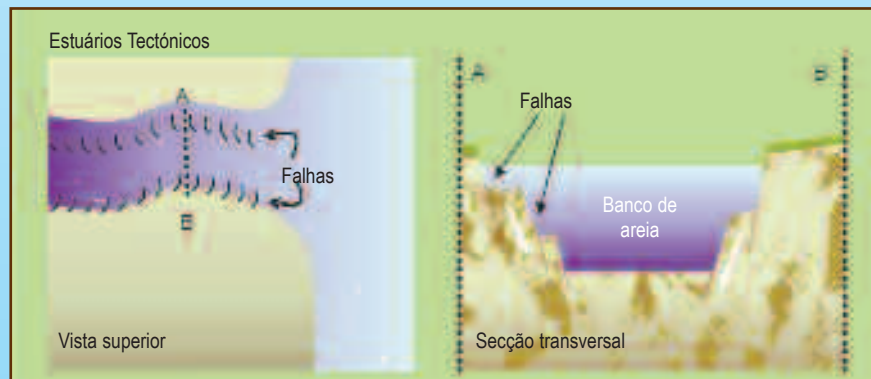
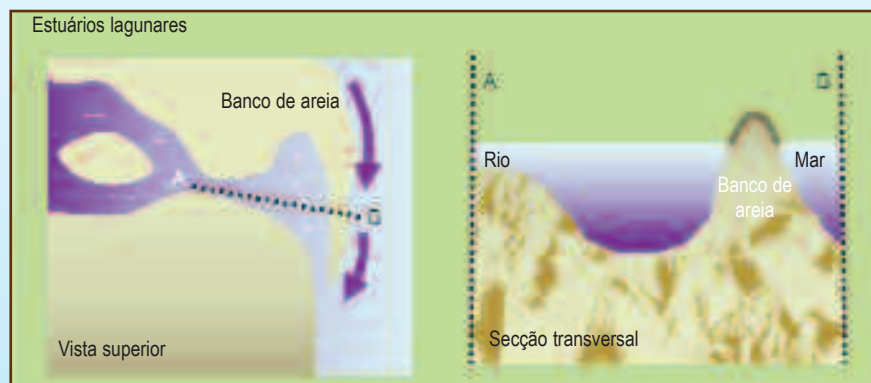
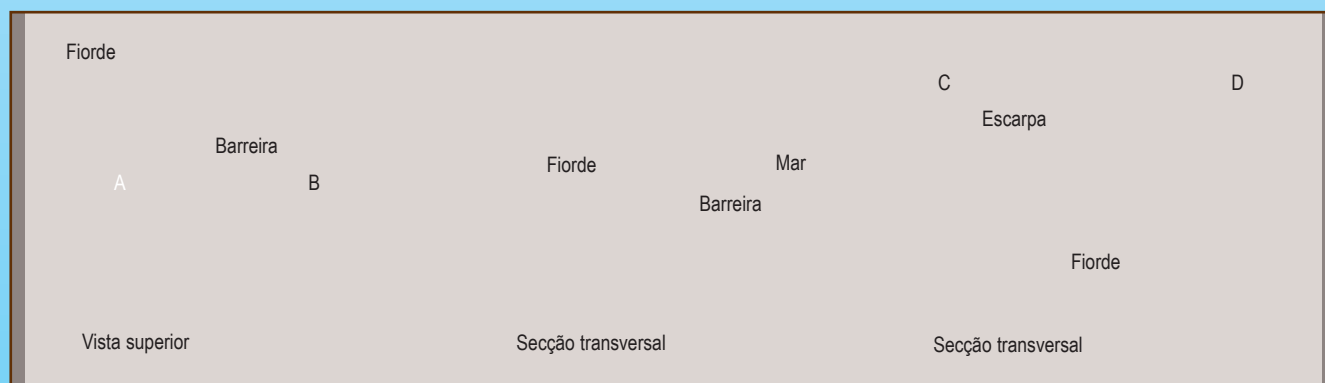


Fig. 9. Tipos de estuários de acordo com a sua origem. À esquerda encontra-se a vista superior e à direita a secção transversal assinalada por letras no esquema da esquerda.



## 2. Quais são as comunidades aquáticas dos ecossistemas de água doce?

a) A comunidade de plâncton é a fracção viva do material que flutua na água e que 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.

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

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 "macrófito" 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 as outras formas de vida aquáticas.

e) Os peixes são vertebrados e os habitantes mais conhecidos dos sistemas de água doce. Os peixes são os maiores predadores dos lagos. .



Fig. 10. A complexidade das diferentes escalas de paisagem de uma bacia hidrográfica. Esta escala influencia os processos físicos, químicos e biológicos uma vez que estes estão dependentes na sua posição ao longo da bacia hidrográfica.

### 3. Será que existem características ecológicas comuns entre os diferentes tipos de ecossistemas de água doce?

A principal fonte de energia nos ecossistemas aquáticos é a energia solar. Esta pode ser armazenada através das reacções químicas com origem na fotossíntese. Para entender estes processos precisamos de saber a quantidade de radiação solar que atinge a superfície de uma massa de água e como é que os organismos a usam e são afectados por ela.

Os processos biológicos podem ser descritos a vários níveis, desde processos que ocorrem à escala do indivíduo, por exemplo, o movimento, a reprodução, o crescimento e desenvolvimento, a respiração; passando por processos a nível das populações e das comunidades, por exemplo, a colonização e as interacções tróficas; até aos processos que ocorrem nos ecossistemas, por exemplo, os ciclos biogeoquímicos dos nutrientes. (Fig. 10). Os processos que ocorrem num dado nível influenciam os outros que se desenvolvem a níveis de organização superior e inferior. Por exemplo, a colonização pelos microrganismos de uma folha que cai num pequeno lago (MOPG – Matéria orgânica particulada grossa), influencia a taxa de decomposição da folha e consequentemente o ciclo do carbono no lago. (Fig. 11).

Os ecossistemas de água doce são dinâmicos, reflectindo alterações em muitas componentes. O estado trófico de qualquer sistema aquático depende da entrada de nutrientes provenientes da bacia e da vegetação ripícola, sobretudo em forma de ramos e de folhas. (Fig. 11, Fig 12 e Fig. 13). Por exemplo, 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). Entretanto, a folha forneceu substrato aos microrganismos (fungos

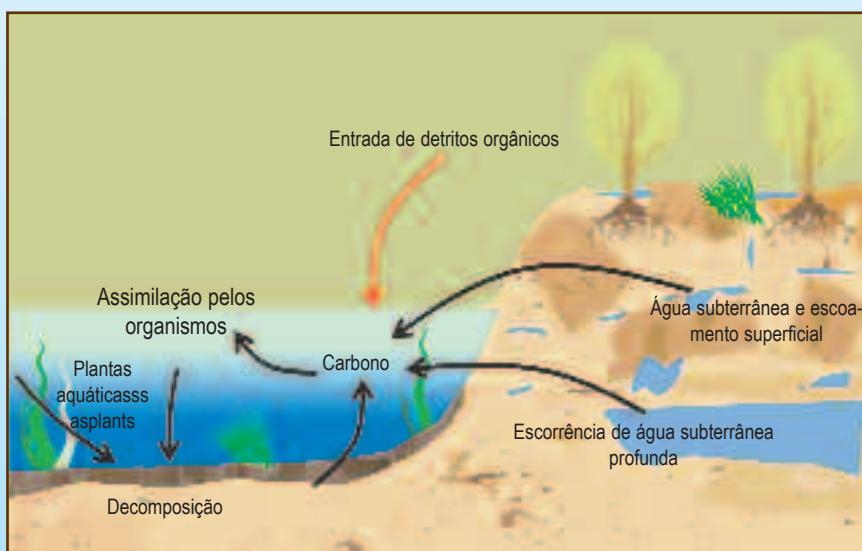


Fig. 11. Ciclo do carbono. O diagrama mostra a importância do carbono alóctone proveniente da bacia de drenagem (árvores e águas subterrâneas).

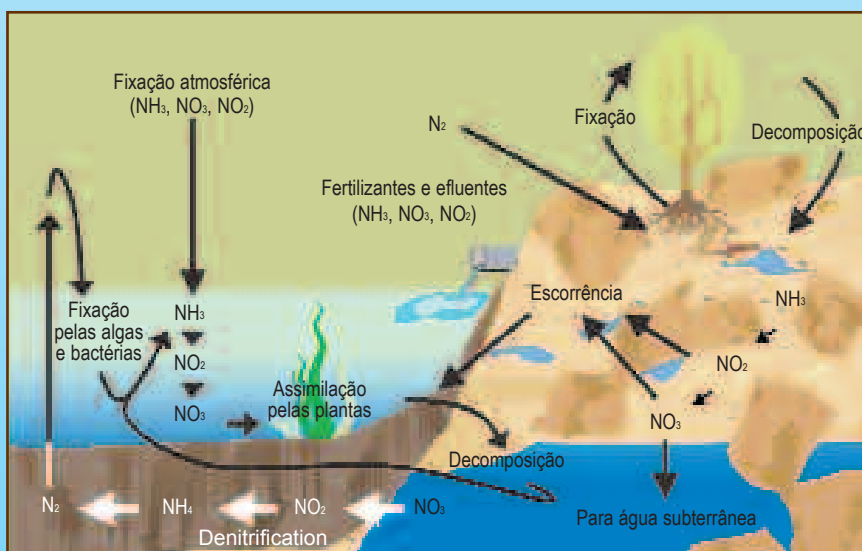


Fig. 12. Ciclo do azoto, mostrando as principais transferências e os diferentes habitats envolvidos.



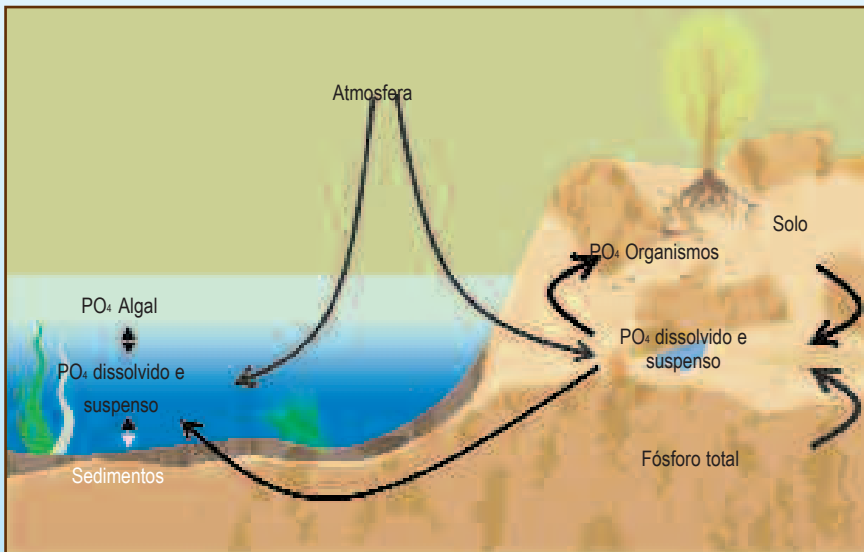


Fig. 13. O ciclo do fósforo, mostrando as principais transferências e os diferentes habitats envolvidos

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

A produção primária pode ser limitada em zonas onde as concentrações de azoto e de fósforo são reduzidas. Nos locais onde estes nutrientes estão disponíveis, os factores limitantes para o desenvolvimento das algas e dos macrófitos, podem estar relacionados com a competição pela luz e pelo espaço. A luz pode ser limitante para as plantas submersas que são afectadas pela sombra resultante da densidade fitoplanctónica, das plantas flutuantes e dos materiais suspensos. As plantas flutuantes e emergentes dominam muitas vezes a biomassa em lagos pouco profundos.

Nos ecossistemas aquáticos, a competição entre organismos por espaço, luz e alimento é controlada, ao longo do espaço e do tempo, através das interacções que ocorrem entre os produtores e os consumidores. Por exemplo, os consumidores primários, na base da cadeia trófica, podem ser o zooplâncton nos lagos e nos estuários e os macroinvertebrados bentónicos nos rios e ribeiras. Os macroinvertebrados bentónicos podem ser classificados de acordo com as suas características tróficas, ou seja, as suas preferências alimentares, em fitófagos, colectores, detritívoros e predadores (Caixa 1).

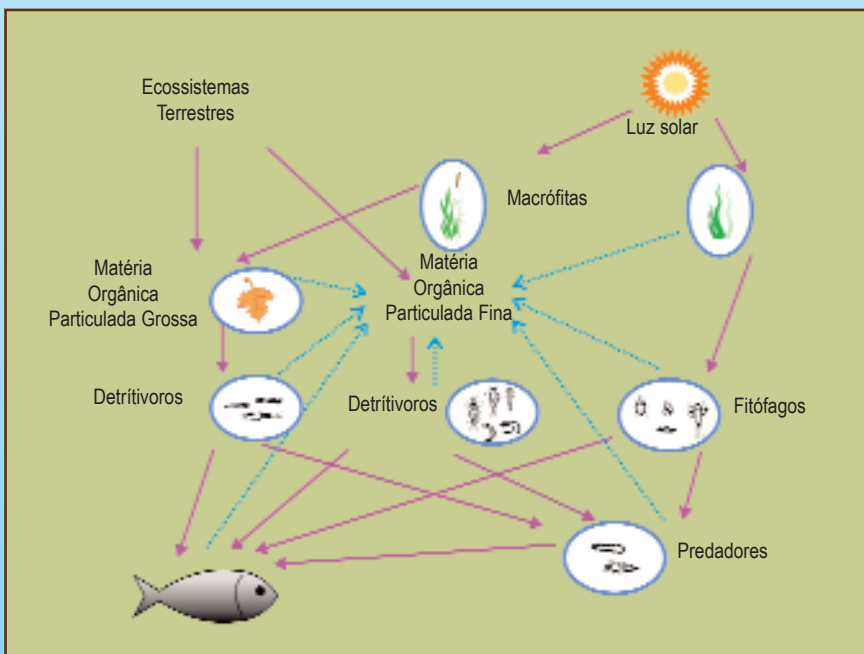
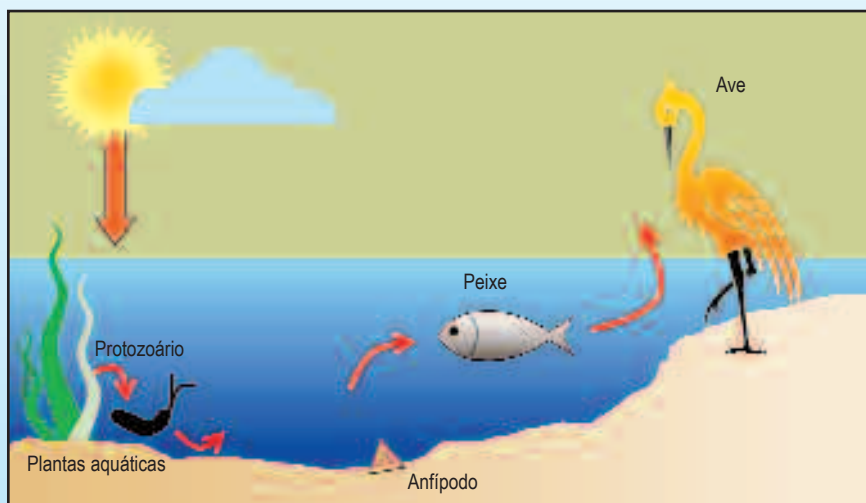


Fig. 14. Modelo simplificado da cadeia trófica funcional num rio, mostrando os principais componentes biológicos, fontes de energia e transferências de matéria orgânica. A importância relativa das transferências irá diferir de rio para rio e de segmento para segmento em função da sua posição ao longo 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 ponteadas mostram as diferentes origens da matéria orgânica particulada fina (MOPF).



Nota: Os organismos não estão representados à escala.

Fig. 15. Cadeia alimentar. A luz solar é fixada pelas plantas através da fotossíntese, que por sua vez são consumidas vivas ou em formas decompostas por pequenos invertebrados. Estes invertebrados servem de alimento aos peixes que podem também ser comidos pelas aves. A energia retida pelos produtores primários flui ao longo da cadeia alimentar, sendo finalmente exportada para o ecossistema terrestre através dos dejectos das aves.

### CAIXA 1 GRUPOS TRÓFICOS DOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

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
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	MOPF depositada no sedimento	Raspagem e escavação em sedimento fino	Muitos Efemeropteros, Plecopteros, Tricópteros, Dípteros, Oligochaeta, alguns Crustáceos
Fitófagos	Biofilme algal	Raspagem do biofilme algal	Alguns Efemeropteros, Tricópteros, Gastropodes, larvas de Coleópteros
Predadores	Pequenos animais	Mastigação	Odonatas, Herudínios, alguns Tricópteros, Dípteros, e Coleópteros

## 4. Quais são as principais diferenças entre os tipos de ecossistemas aquáticos de água doce e quais os principais processos envolvidos?

### 4.1 Sistemas de águas paradas

As comunidades de águas paradas em lagos organizam-se em função do eixo vertical de penetração da luz solar.

A estratificação térmica, que contribui para a estrutura funcional de um lago, é o resultado directo do aquecimento pelo sol. A estratificação térmica é o fenómeno através do qual os lagos desenvolvem duas camadas de água com diferentes temperaturas: mais quente no topo (epilimnion) e mais fria por baixo (hipolimnion) (Fig. 16). Este gradiente vertical representa o factor físico determinante, na medida em que afecta os padrões de distribuição, comportamento e taxas de metabolis-

mo dos organismos que habitam os lagos. Por exemplo, os nutrientes antes de serem exportados para fora do lago podem ser reciclados repetidamente entre as camadas de água, o plâncton e os organismos do sedimento, à medida que o sistema estratifica e se mistura alternadamente (veja o Capítulo 1).

### 4.2 Sistemas de águas correntes

As águas correntes, ou rios, são distintas de outros ecossistemas de água doce devido ao fluxo unidireccional da corrente, o que significa que os troços a jusante são influenciados pelos de montante. O transporte de matéria orgânica dissolvida ou particulada ocorre desde a nascente até à foz do rio, mantendo sempre

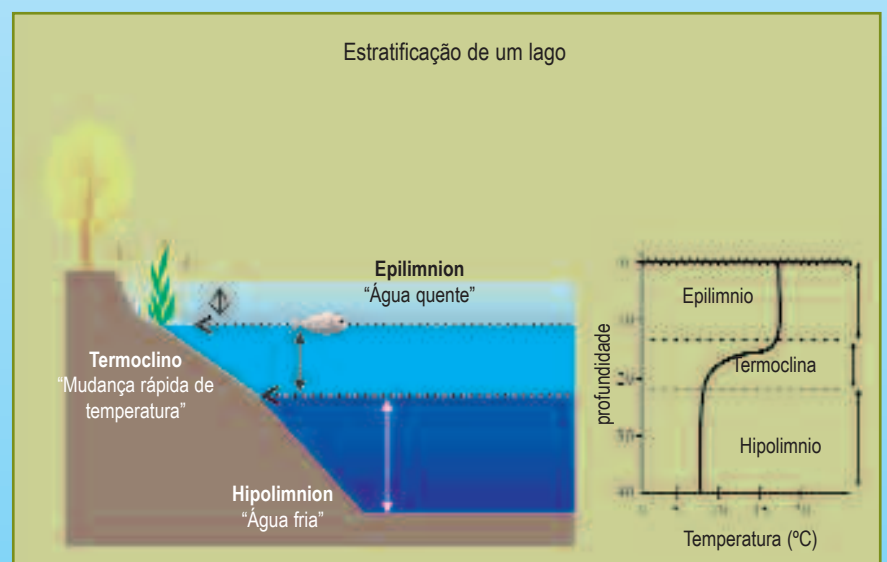


Fig. 16. Perfil vertical da temperatura, mostrando a estratificação e as zonas do epilimnion e do hipolimnion.

uma estreita ligação com o sistema terrestre circundante. Nos troços iniciais de cabeceira de esta ligação ocorre maioritariamente no sentido do sistema terrestre para o sistema aquático; passando a dar-se nos dois sentidos nos troços com maior largura, situados mais a jusante, normalmente nas zonas médias ou finais de um rio, junto à foz. Nos rios, o ciclo de nutrientes é controlado pelo movimento longitudinal da água, produzindo-se a espiral de nutrientes. (Fig. 17).

Quando os ecologistas pensaram os rios como fontes de energia, ou como sistemas funcionais com capacidade para processar a matéria orgânica, começaram a desenvolver-se modelos que descrevem o padrão longitudinal desses processos.

O modelo mais conhecido designado por Contínuo Lótico representa uma tentativa para descrever a estrutura funcional dos rios desde a sua nascente até à foz. O C descreve uma sequência longitudinal de processos à medida que o rio alarga, dependentes das várias fontes de alimento e organismos. Em rios de cabeceira, os detritívoros reduzem a matéria orgânica, tornando-a disponível para os colectores, mais abundantes a jusante, em troços mais largos onde crescem algas e musgo; nestes troços as proporções de detritívoros diminuem e as de fitófagos aumentam. Descendo ainda mais, ao longo do rio, o sedimento inorgânico fino contribui para o aumento da turbidez, limitando a penetração de luz e consequente a produção primária. Nestas situações, os colectores são dominantes, estando os detritívoros praticamente ausentes. Ao longo do contínuo, a proporção de predadores permanece relativamente constante uma vez que estes não estão dependentes nem da disponibilidade de luz nem do processamento da matéria orgânica, dependendo unicamente da existência de outros organismos (Fig. 18).

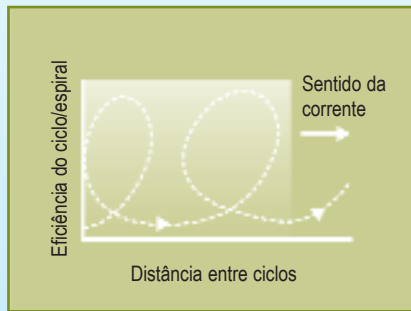


Fig. 17. Espiral de nutrientes em sistemas de água corrente. As espirais mais próximas indicam uma elevada retenção, como acontece em condições oligotróficas ou em rios de cabeceira de substrato grosseiro. Voltas mais afastadas com diâmetros mais amplos representam baixa retenção; são características de sistemas eutróficos com excesso de nutrientes.

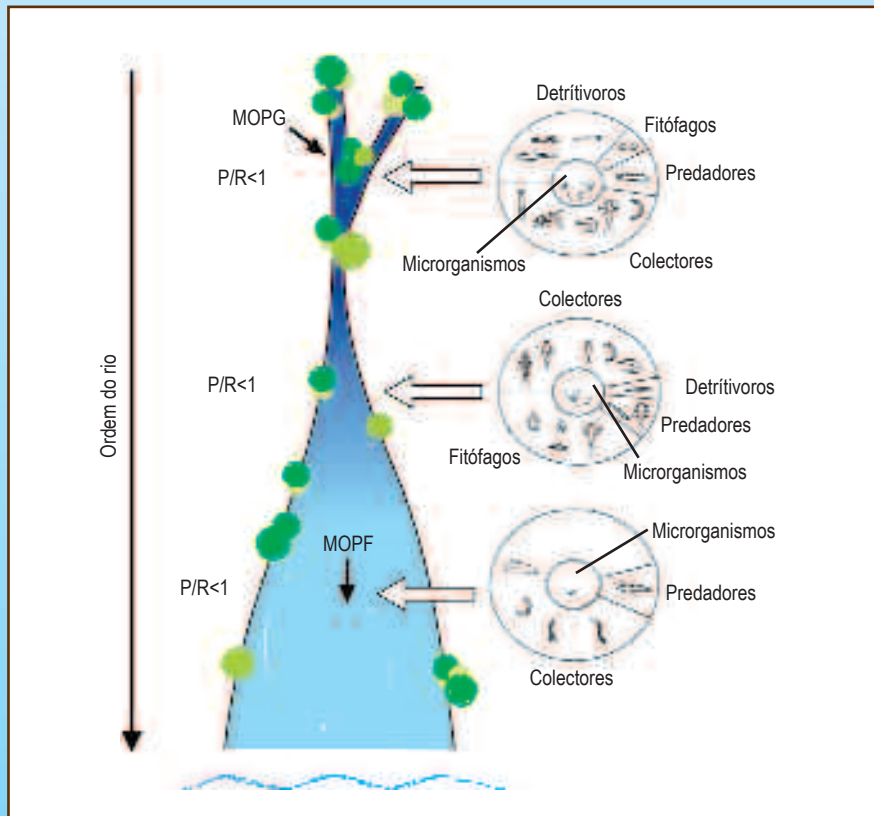


Fig.18. Relação entre a dimensão dos segmentos do rio (ordem), as fontes de energia e o funcionamento do ecossistema, segundo o modelo do Contínuo Lótico (Vannote et al., 1980)

### 4.3 Os estuários

A mistura de água nos estuários é complexa e é afectada pela geologia, topografia e caudal da água doce afluente. A água de um rio transporta sais e partículas dissolvidas. Esta carga juntamente com a mistura física conduz a transformações biológicas importantes. Por exemplo, os deltas ocorrem nos estuários onde a carga sedimentar é tão elevada, que as acumulações de sedimento na foz do rio se estendem em direcção ao mar. As margens dos canais que se formam nos deltas fornecem habitats protegidos e pouco profundos, que, invariavelmente, suportam uma densa vegetação de plantas vasculares. Os estuários e as águas costeiras apresentam mistura de água doce e salgada, o que cria condições físicas óptimas para o desenvolvimento de diversos organismos. Por outro lado, a constante mudança entre a água doce e a água salgada desenvolve gradientes osmóticos que afectam os organismos.

A circulação da água junto à margem é complexa e resulta de uma combinação de factores: diferenças de densidade entre a água doce e a água salgada; diferenças de temperatura da água; correntes de maré; ventos e forças gravitacionais terrestres. A água mais quente e menos densa tem tendência a ocupar as camadas mais próximas da superfície, enquanto que a água mais fria e mais densa irá ocupar 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, resultando na mistura vertical da coluna da água, entre as camadas à superfície e as camadas mais profundas (Fig. 19).

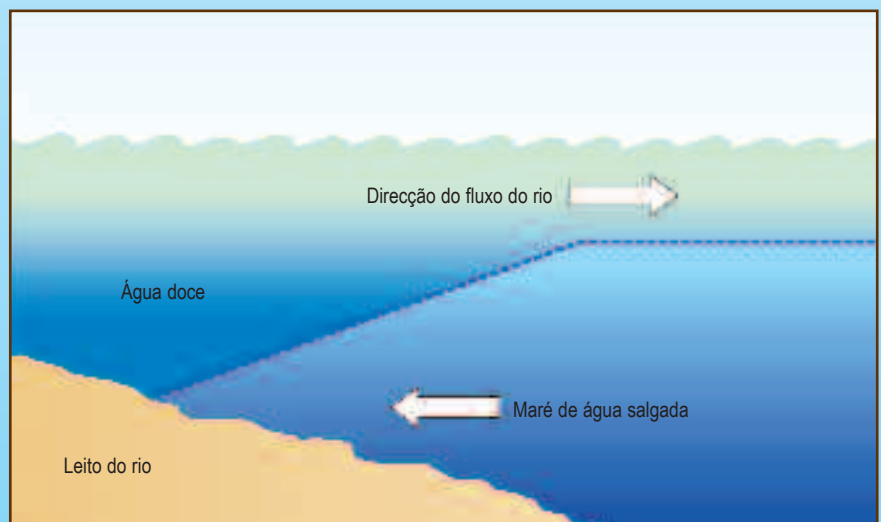


Fig. 19. Mistura entre água doce e água salgada num estuário, mostrando a estratificação associada à diferença de densidades. A água salgada, por ser mais densa, penetra no interior do estuário junto a fundo. A água doce, menos densa, ocupa as camadas superficiais da coluna da água.

## Referências de suporte:

1. Allan J. D. 1995. Stream Ecology. Structures and function of running waters. Chapman & Hall.
2. Armengol J.; R. Moreno-Amich & A. Palau (eds). 2006. The ecology of the Iberian inland waters: Homage to Ramon Margalef. Asociación Española de Limnología.
3. Barnes R. S. K. & K. H. Mann (eds). 1991. Fundamentals of Aquatic Ecology. 2nd Edition. Blackwell Science.
4. Boulton A.J. & M. A. Brock. 2001. Australian Freshwater Ecology. Processes and Management. Gleneagles Publishing, Australia.
5. Brönmark C. & L-A. Hansson. 2005. The Biology of Lakes and Ponds. Biology of Habitats. Second Ed. Oxford University Press.
6. Elosegi A. & S. Sabater. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Primera edición. Fundación BBVA.
7. Gasith, A. & V. H. Resh. 1999. Streams in the Mediterranean climate regions: Abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 30:51-81
8. Giller P.S. & B. Malmqvist. 1998. The Biology of Streams and Rivers. Biology of Habitats. Oxford University Press.
9. Hauer E. R. & G. A. Lamberti (eds). 1996. Methods in Stream Ecology. Academic Press.
10. Jeffries M. & D. Mills. 1990. Freshwater Ecology. Principles and Applications. John Wiley & Sons.
11. Little, C. 2000. The Biology of Soft Shores and Estuaries. Oxford University Press.
12. Margalef R. 1983. Limnology. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.
13. Tockner, K. & J.A. Stanford. 2002. - Riverine floodplains: present state and future trends: *Environmental Conservation* 29: 308-330.
14. Van der Valk, A. G. 2007. The Biology of Freshwater Wetlands. Biology of Habitats Oxford University Press.
15. Wetzel R. G. 1983. Limnology. 2nd edition. Saunders College Publishing.
16. Williams D. D. 2006. The biology of temporary waters. Oxford University Press.