

Capítulo 2

Anatomia e fisiologia de peixes de água doce

*Giovanni Vitti Moro
Ana Paula Oeda Rodrigues
Lucas Simon Torati
Renata Melon Barroso
Lícia Maria Lundstedt*

1. Introdução

Ao longo de todo o processo evolutivo dos peixes no ambiente aquático, diversas formas de adaptação surgiram, tornando esse grupo de animais capaz de explorar, de maneira eficaz, um ambiente diferente em muitos aspectos do terrestre. Formas variadas, mecanismos para manter sua posição na coluna de água, estruturas sensoriais altamente efetivas, diversidade nos hábitos alimentares e na capacidade e forma de obter o alimento são algumas das características que permitiram a esse grupo de vertebrados explorarem a imensa gama de habitats que se formam nos ambientes aquáticos.

O estudo da anatomia e fisiologia dos peixes proporciona uma melhor compreensão de seu comportamento e estratégias de adaptação ao meio, sendo de fundamental importância para o seu manejo em sistemas de criação e para o controle do próprio sistema. Neste capítulo, serão abordadas as estruturas de locomoção, a função sensorial e protetora do revestimento externo, a regulação da temperatura corporal, os fatores que influenciam o comportamento animal, bem como as principais funções e características dos sistemas fisiológicos dos peixes e como tudo isso está relacionado com as práticas de piscicultura.

Entender como cada estrutura dos peixes se relaciona com o meio e com o seu hábito de vida é um passo importante para compreendermos as particularidades de cada espécie e aplicá-las aos manejos comuns aos sistemas de produção em cativeiro. Esse entendimento leva a melhores práticas de manejo que irão refletir no sucesso do empreendimento.

2. Forma corporal e locomoção

No decorrer do processo evolutivo dos peixes, o aparecimento de diferentes formas corporais permitiu-lhes desempenhar diversas atividades no ambiente aquático, como a caça e fuga de predadores, a construção de ninhos para a reprodução e os mais diversos hábitos alimentares existentes. De forma geral, os peixes possuem simetria bilateral e são divididos em cabeça, corpo e cauda. Entretanto, suas formas variam de modo surpreendente, estando intimamente relacionadas ao modo de vida de cada espécie¹. Na Figura 1, observam-se as principais estruturas corporais da maioria dos peixes.

O meio aquático impõe grande resistência à natação, de modo que o formato dos peixes reflete seu comportamento, velocidade na água, hábitos migratórios, dentre outras características biológicas importantes para a piscicultura. Além da forma corporal, as nadadeiras são também fundamentais para a movimentação dos peixes no corpo d'água. Durante o deslocamento, podem empregar movimentos corporais de ondulação (céfalo-caudal), que se integram a movimentos de oscilação da nadadeira caudal (lado esquerdo; lado direito) (Figura 2). Em adição, algumas espécies podem empregar movimentos de ondulação e oscilação com as nadadeiras peitorais, dorsal e anal. De acordo com o movimento realizado, existe uma classificação para o tipo de peixe, que está relacionada com sua forma corporal, como os movimentos anguiliformes, subcarangiformes, carangiformes, entre outros (Figura 2). Algumas dessas formas são mais comuns nos peixes de água doce, meio que oferece menor resistência durante o deslocamento na coluna d'água.

Na locomoção, a nadadeira caudal é o principal apêndice propulsor, sendo que as nadadeiras dorsal e anal atuam estabilizando o animal no corpo d'água. As nadadeiras peitorais direcionam os movimentos. As nadadeiras caudal, anal e dorsal podem também assumir o papel de âncora. Devido à importante participação da nadadeira caudal na locomoção, existe uma grande variedade de formas, que estão relacionadas com o deslocamento (Figura 1). De acordo com a simetria da estrutura óssea, a nadadeira caudal pode ser homocerca ou heterocerca (Figura 1). Quanto à forma externa, a nadadeira caudal pode ser classificada como pontuda, truncada, arredondada, emarginada, lunar e bifurcada (Figura 1).

¹ Para um maior detalhamento da diversidade de formas, recomenda-se a leitura de Bemvenuti e Fischer (2012).

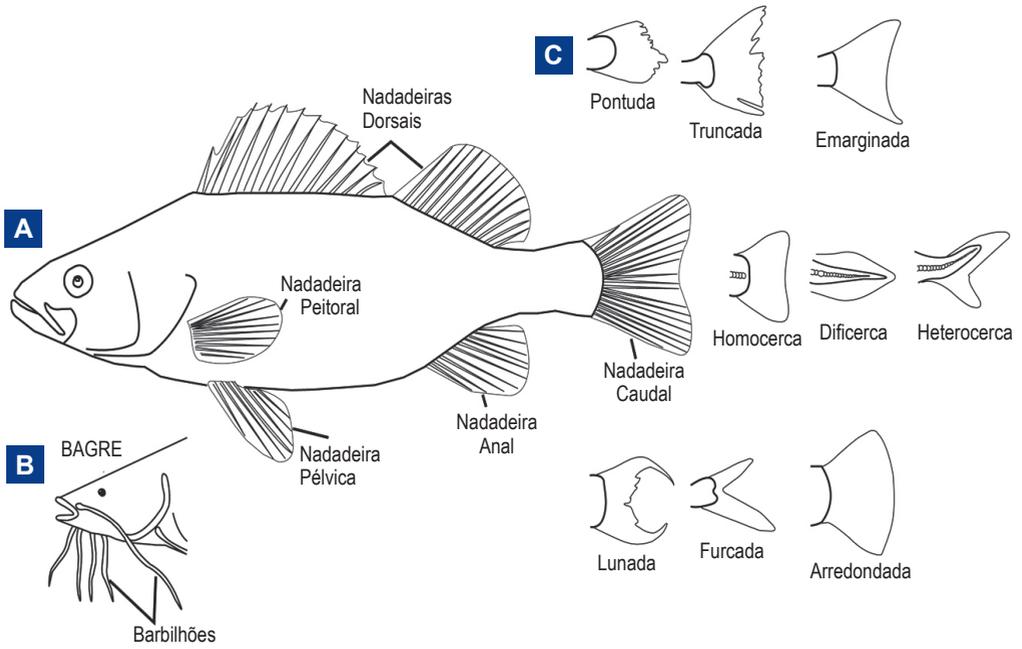


Figura 1. (A) Principais estruturas corporais de um peixe de escamas genérico fusiforme. (B) Barbilhões mentonianos e maxilares encontrados em algumas espécies de peixe. (C) Principais formatos de nadadeira caudal.

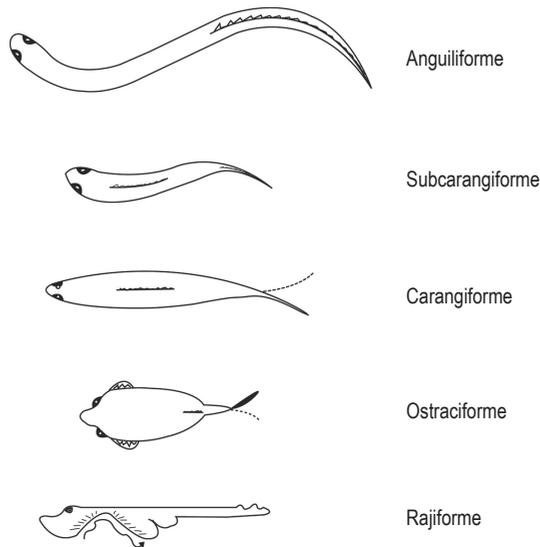


Figura 2. Esquema classificatório dos peixes quanto à movimentação por ondulação corporal e oscilação da nadadeira caudal.

Com relação ao comportamento alimentar, existe uma forte relação da forma corporal com o método de obtenção do alimento. Peixes conhecidos como predadores de emboscada possuem o corpo alongado (na forma de um torpedo), a cabeça chata e as nadadeiras ventral e dorsal deslocadas caudalmente. Essas adaptações permitem ao peixe conseguir uma velocidade inicial de deslocamento alta, tornando-o capaz de capturar sua presa com um bote rápido. Esse é o caso de espécies como o pirarucu (*Arapaima gigas*) e as traíras (*Hoplias* spp.). Já os chamados peixes erráticos são capazes de perseguir a presa no ambiente pelágico e, para isso, possuem um pedúnculo caudal curto e a nadadeira caudal lunar ou bifurcada, além de serem classicamente fusiformes (como exemplo, o dourado *Salminus brasiliensis*).

3. Revestimento externo

O revestimento externo ou tegumento dos peixes é outro importante aspecto da morfologia. A pele dos peixes é composta por duas camadas, a epiderme, externa de função protetora, e a derme, interna germinativa. Dependendo da espécie ou do grupo de peixes, diversos anexos cutâneos podem estar presentes na derme, tais como glândulas, escamas, placas ósseas, órgãos elétricos, órgãos sensoriais e células pigmentares.

As glândulas mucosas são responsáveis pela secreção de muco, uma substância glicoproteica, responsável pela lubrificação externa do peixe. Ela reduz o atrito do animal com a água e confere ainda proteção, impedindo a entrada de agentes infecciosos. Além de glândulas mucosas, a derme da maioria das ordens de peixes possui escamas formando um esqueleto externo. As escamas variam em seus tipos morfológicos, podendo ser ganoide, óssea (este tipo podendo ser ctenoide ou cicloide) e placoide. As escamas arranjam-se em fileiras formando um padrão de sobreposição umas sobre as outras, de forma a cobrir o corpo todo do animal. A maioria das espécies possuem escamas, como os da ordem dos Characiformes, Perciformes, entre outros. Os chamados peixes de couro, como o pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*), alguns outros bagres e cascudos (ordem dos Siluriformes), não possuem escamas.

A pele possui também uma grande variedade de pigmentos, que são produzidos em células epidérmicas e dérmicas chamadas de cromatóforos. Esses pigmentos podem ser melaninas, carotenoides, pteridinas e purinas. De acordo com a espécie, diversos fatores podem ser responsáveis por mudanças na coloração do peixe ao longo do ciclo de vida. Um deles pode ser a proteção contra os raios solares ultravioleta, que é tida como responsável pela coloração mais escura assumida pelo tambaqui (*Colossoma macropomum*) quando mantido em águas muito transparentes ou com fundo claro. Outro fator que envolve mudanças na coloração é a comunicação,

como no caso do pirarucu e tucunaré (*Cichla* sp.), bem como as diversas espécies de pequeno porte utilizadas como ornamentais, em que machos e fêmeas passam a ter coloração diferente no período reprodutivo. A camuflagem também explica as diferentes cores assumidas por algumas espécies de peixe mas também diversos estudos apontam a nutrição como outro fator determinante.

4. Temperatura corporal

A maior parte dos peixes é pecilotérmica (ou heterotérmica), ou seja, não regula a temperatura corporal de forma ativa. Isso significa que a sua temperatura varia muito proximamente de acordo com a temperatura da água em que eles se encontram. No entanto, os peixes possuem estratégias comportamentais para manter a temperatura em valores adequados para o seu organismo. Por exemplo, os peixes podem posicionar-se em diferentes profundidades na coluna d'água, de forma a encontrar aquela com temperatura mais apropriada. Quando a temperatura ambiental está fora da faixa ótima, as funções fisiológicas são prejudicadas podendo causar alterações alimentares, imunológicas e reprodutivas que podem se agravar caso a temperatura permaneça fora do ideal por um longo período.

5. Comportamento

Dentre os fatores que influenciam o comportamento dos peixes, destacam-se a luminosidade, a composição química, a agitação mecânica e a temperatura da água, a presença de predadores, competidores ou parceiro reprodutivo, dentre outros. A intensidade desses fatores pode influenciar diretamente o ritmo biológico endógeno do animal (liberação de hormônios, eventos metabólicos, atividades, repouso etc.) e, conseqüentemente, em seu comportamento e desempenho produtivo.

Algumas espécies possuem um comportamento hierárquico, em que pode ocorrer a dominância de alguns indivíduos em relação aos demais. Esse tipo de comportamento é comum em várias espécies de animais e, na maioria dos casos, é benéfica aos dominantes e prejudicial aos dominados ou subordinados. Por exemplo, para a tilápia-do-Nilo, os animais dominantes irão se alimentar mais, pois são os que primeiro comem, escolhem os melhores locais e parceiras para reproduzir, ao passo que os dominados acabam disputando o alimento que sobra e, conseqüentemente, crescem menos que os dominantes. A dominância ou hierarquia social pode ocorrer na produção de diversas espécies de peixes, sendo influenciada pela densidade de estocagem, heterogeneidade do lote, formato dos tanques, manejo alimentar,

entre outros fatores. Confere prejuízos bioquímicos, fisiológicos e comportamentais tanto para os subordinados quanto para os dominantes, que despendem energia para manter o posicionamento dentro do grupo. Todo esse custo energético resulta em estresse, com detrimento das funções produtivas (crescimento e reprodução) e do sistema imune. Na aquicultura, várias estratégias devem ser adotadas para que essa relação de dominância dentro de um cardume não se estabeleça e possa haver crescimento homogêneo do lote de animais, como ajustar a densidade dos animais de forma a manter o lote o mais homogêneo possível, realizar periodicamente biometrias e seleção dos indivíduos, e despesca seletiva. A densidade adequada para minimizar o efeito da heterogeneidade varia para diferentes espécies.

6. Sistema circulatório

O sistema circulatório explica como o sangue circula no organismo. Nos peixes, tal sistema é considerado fechado (as células do sangue estão sempre dentro de um vaso sanguíneo e chegam a todas as regiões e células do corpo do animal) e simples (somente o sangue não oxigenado passa pelo coração, caracterizando um fluxo único). O coração possui duas cavidades (um átrio e um ventrículo) e divide-se em quatro regiões: seio venoso (parede delgada; desprovido de válvulas e pequeno), átrio (parede delgada; impulsiona o sangue para o ventrículo), ventrículo (parede espessa; impulsiona o sangue para as brânquias e o corpo) e bulbo arterial (parede espessa; depósito para uniformizar o fluxo sanguíneo). Os principais vasos que constituem o sistema circulatório dos peixes são a aorta ventral, artéria aferente branquial (a qual é cortada quando realizamos a sangria dos peixes) e outras artérias (carótida, subclava, caudal, mesentérica superior, celíaca e eferente branquial), aorta dorsal e veias (jugular, cardinal anterior, cardinal posterior, cardinal comum e caudal, pela qual é realizada a coleta de sangue na maioria dos peixes).

O sangue sai do coração, circula pelas brânquias onde é oxigenado, seguindo pelos capilares do corpo e voltando para o coração ao final do ciclo. Portanto, o coração dos peixes recebe apenas o sangue com pouco oxigênio (venoso), não recebendo o arterial (com muito oxigênio) (Figura 3). O volume de sangue varia de acordo com a espécie, sendo normalmente em torno de 2% do peso corporal.

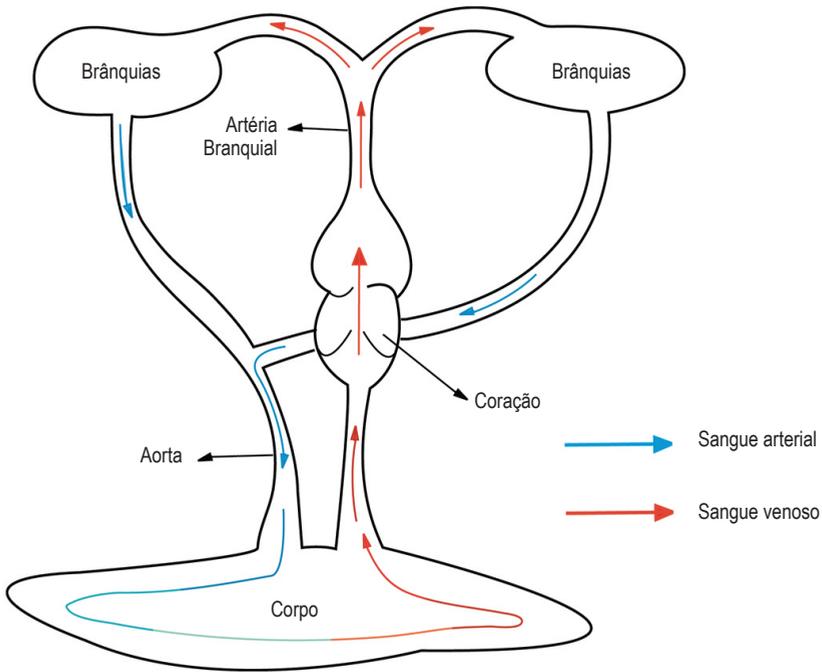


Figura 3. Representação esquemática do sistema circulatório dos peixes.

7. Sistema excretor

O sistema excretor dos peixes é responsável por eliminar os resíduos do metabolismo e do alimento não digerido, como fezes, nitrogênio, sais, água e ureia (Figura 4). Dentre os compostos excretados, os nitrogenados são os mais tóxicos aos animais. Dependendo da disponibilidade de água do meio para diluir e excretar os compostos nitrogenados, eles são excretados de diferentes formas pelos diversos grupos de animais. A amônia é a forma mais tóxica delas e exige grandes quantidades de água para sua diluição, sendo a mais utilizada pelos peixes devido à disponibilidade de água que possuem em seu habitat. A ureia é menos tóxica que a amônia, sendo utilizada principalmente pelos mamíferos, ao passo que o ácido úrico é menos tóxico ainda, sendo o principal produto da excreção de aves e répteis.

Quanto menor for a toxicidade do composto nitrogenado excretado pelo animal, maior será a energia gasta para produzi-lo. Dos produtos nitrogenados excretados pelos peixes, cerca de 70% estão na forma de amônia, liberada passivamente pelas brânquias para a água. O restante é excretado pela vesícula urinária na forma de glutamina ou ureia. Assim, por viverem em um ambiente onde a disponibilidade de água

é suficientemente grande para diluir os compostos nitrogenados, os peixes gastam menos energia para excretar esses metabólitos e isto permite que esses compostos sejam excretados na forma mais tóxica, quando comparado com outros animais.

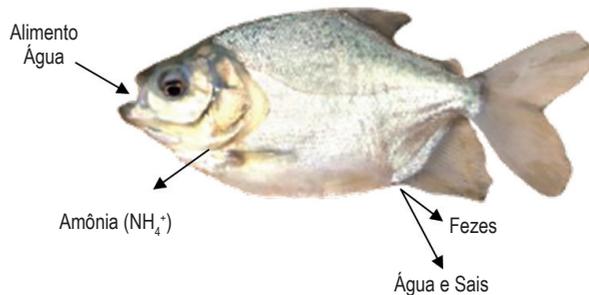


Figura 4. Esquema simplificado da excreção em peixes.

A amônia excretada sai das brânquias dos peixes diretamente para a água, através de difusão passiva. Os peixes de cultivo estão constantemente difundindo esse composto para a água dos tanques, o que pode ser letal a esses animais, caso a concentração atinja níveis tóxicos. A quantidade de amônia excretada está diretamente relacionada com o estado nutricional, fisiológico momentâneo, temperatura do meio (maior apetite e, conseqüentemente, maior ingestão de alimento e degradação de aminoácidos), concentração de amônia e pH do meio (quando o pH citoplasmático estiver menor que o do meio, haverá uma retenção da amônia na circulação sanguínea). Concentrações de amônia letais para os peixes estão entre 9,4 e 64,7 $\mu\text{mol/L}$, e essas concentrações variam entre as espécies, conforme mencionado no capítulo “Monitoramento e manejo da qualidade da água”. Níveis letais de amônia causam um aumento do fluxo de água nas brânquias devido a maior movimentação dos opérculos, seguida de convulsões, coma e, por fim, morte. Animais que estão vivendo em um ambiente com concentrações altas de amônia por um longo período, tal como em um viveiro eutrofizado, podem apresentar uma redução no crescimento, aumento nos níveis de cortisol sanguíneo, com conseqüente redução no apetite, imunossupressão, comportamentos respiratórios e de locomoção irregular.

Outro fator importante relacionado à excreção dos peixes é a sua interação com a regulação osmótica. Os peixes de água doce tendem a “ganhar” água do meio ambiente por osmose. Por esse motivo, os rins dessas espécies filtram essa água e formam uma urina bastante diluída, eliminando o excesso de água por meio da vesícula urinária. Os rins dos peixes adultos ficam localizados na região superior da cavidade abdominal, logo acima da bexiga natatória, e são subdivididos em duas regiões com funções diferentes: porção anterior (principal órgão hematopoiético dos peixes) e porção posterior (dedicado principalmente ao processo de excreção).

8. Sistema respiratório

O sistema respiratório dos peixes é intimamente relacionado com o excretor, pois a troca gasosa ocorre, na maioria das espécies, por meio das brânquias. Estas são compostas por quatro arcos branquiais que possuem duas fileiras de filamentos branquiais. Cada um destes é composto por inúmeras lamelas branquiais, onde ocorre a troca gasosa (Figura 5). O fluxo sanguíneo nessas lamelas é contrário ao de água, o que permite uma eficiência de 90% na troca gasosa, enquanto, se o fluxo ocorresse no mesmo sentido, teria eficiência de apenas 50%. O interior das lamelas branquiais é composto por canais extremamente pequenos, que quase permitem a passagem de uma célula sanguínea por vez; condição esta que também permite uma troca gasosa eficiente.

Comparado com o ar, o ambiente aquático possui uma concentração de oxigênio inferior. Enquanto a água possui uma concentração média de 4% de oxigênio, a concentração de oxigênio no ar atmosférico está em torno de 20%. Ao longo da evolução dos peixes ósseos, a baixa concentração de oxigênio do meio aquático contribuiu para o desenvolvimento de brânquias com maior área superficial e conseqüente aumento da eficiência de trocas gasosas, bem como para o surgimento de órgãos adaptados para respiração aérea e regulação do equilíbrio ácido-base, com maior dependência da concentração de íons do que da ventilação das brânquias. Diversos fatores afetam a taxa respiratória dos peixes, dentre estes, podemos citar diminuição de oxigênio no meio, a realização de movimentos natatórios rápidos como em fugas, a ingestão de alimentos, o estresse, a poluição da água, dentre outros.

A forma como os peixes respiram varia de acordo com a fase da vida em que se encontram. Em relação à respiração larval, esta pode ser classificada de duas maneiras. A primeira diz respeito às espécies que possuem ovos grandes (tais como salmões e cascudos), cujas larvas nascem em estágios de desenvolvimento mais avançado, com o sistema respiratório já formado, podendo já possuir as brânquias, sistema circulatório formado e hemoglobina circulando no sangue. Na segunda classificação, que engloba a maioria dos peixes, as larvas dependem da respiração cutânea no início da vida e não possuem hemoglobina circulante.

Após o período larval, os peixes podem realizar respiração aquática e/ou aérea. A de primeiro tipo utiliza o oxigênio da água e é feita pelas brânquias, sendo a mais comum na maioria das linhagens. Os que nadam grandes distâncias em altas velocidades, como forma de aumentar a eficiência do processo respiratório, mantêm a boca aberta o tempo todo e a água entra e passa pelas brânquias constantemente,

melhorando as trocas gasosas. Já os que nadam lentamente ou que, para fugir, realizam movimentos operculares e da boca, dependendo da situação, podem manter a boca aberta durante uma fuga ou um período maior de esforço natatório.

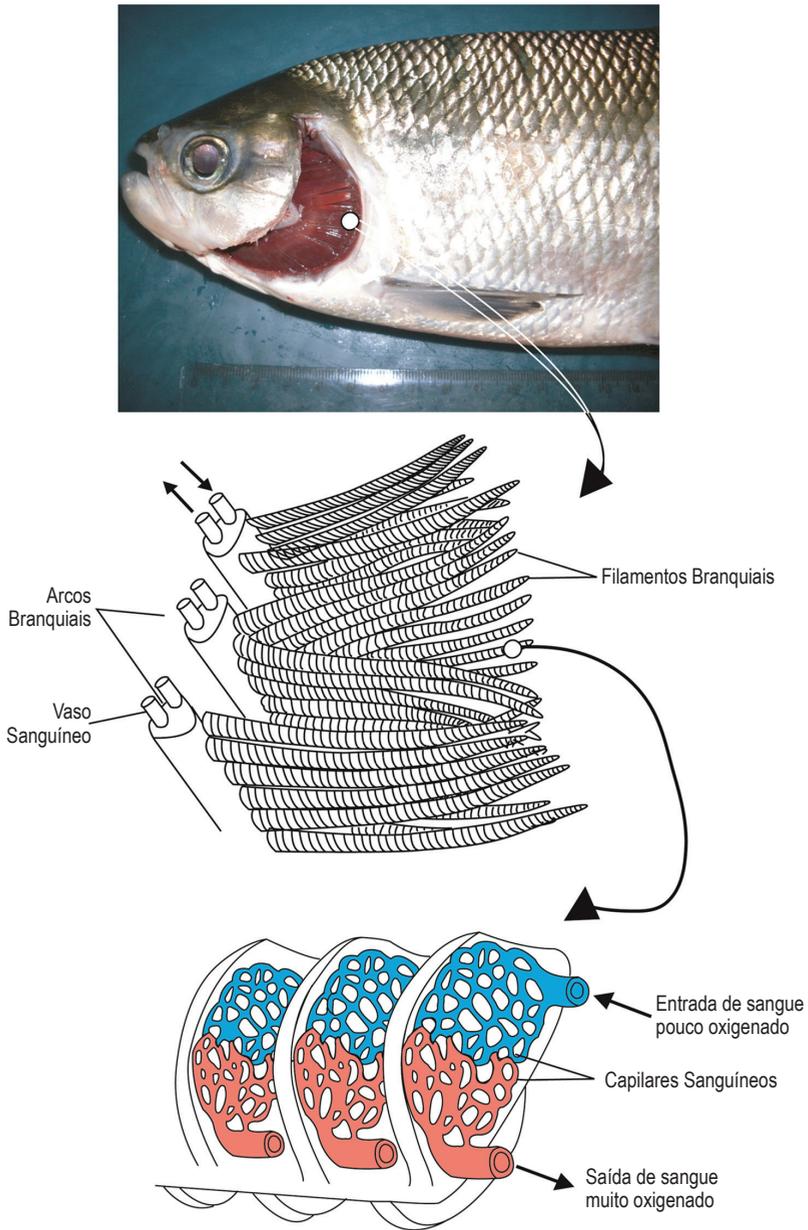


Figura 5. Esquema do sistema respiratório dos peixes.

Na respiração aérea, o peixe utiliza o oxigênio atmosférico. Esta é realizada por algumas espécies que possuem adaptações no órgão respiratório, na bexiga natatória ou apresentam pulmões modificados. Por exemplo, o “peixe de briga” *Betta splendens* possui uma modificação nas brânquias, que forma um sistema chamado labirinto. Este permite a remoção do oxigênio atmosférico com a captura do ar pela boca, o qual irá passar pelo sistema de labirinto e será novamente expelido pela boca. Outro exemplo é o pirarucu, que possui bexiga natatória modificada em pulmão. Nas chamadas “boiadas”, o pirarucu enche o pulmão com ar atmosférico. Ainda, existem algumas espécies que apresentam pulmões rudimentares, como o peixe pulmonado australiano (*Neoceratodus forsteri*) e o africano (*Protopterus annectens*). Essas adaptações fornecem vantagens para as espécies citadas, como: capacidade de explorar locais com baixa ou nenhuma disponibilidade de oxigênio; possibilidade de transitar entre um lago e outro quando o alimento é escasso ou o lago seca; capacidade de viver em tocas úmidas quando em longos períodos de estiagem.

9. Sistema nervoso

O sistema nervoso dos peixes é dividido em central (SNC), o qual recebe, analisa e integra informações, e periférico (SNP), que transmite as informações dos órgãos sensoriais para o central, bem como aquelas do sistema nervoso central para os órgãos. O SNP, por sua vez, é subdividido em três tipos:

SNP autônomo simpático, que é responsável por:

- Aceleração dos batimentos cardíacos;
- Aumento da pressão arterial;
- Aumento da concentração de glicose no sangue;
- Ativação do metabolismo geral do corpo;
- Vasoconstrição;
- Liberação do neurotransmissor norepinefrina.

SNP autônomo parassimpático, que é responsável por:

- Redução do ritmo cardíaco;
- Redução da pressão arterial;
- Estimula principalmente atividades relaxantes;
- Liberação de acetilcolina.

SNP somático:

- Responsável pela inervação dos músculos sensitivos e motores e, conseqüentemente, pela função de locomoção nos peixes.

O cérebro dos peixes teleósteos possui um tamanho variado dentre as espécies, mas normalmente não ultrapassa 1% da massa corporal total. É subdividido em oito regiões, possuindo em geral 10 pares de nervos craniais (Tabela 1). A interface entre o sistema nervoso central e o endócrino é denominada sistema hipotálamo-hipófise, o qual pode ser dividido em três áreas principais: hipotálamo (parte do diencefalo), neurohipófise e adenohipófise. Dentre as funções do sistema hipotálamo-hipófise dos peixes, destacam-se: controle das rotas hormonais, síntese de neuro-hormônios pelo hipotálamo, estímulo da hipófise para liberar hormônios tróficos e estímulo de glândulas e órgãos para secretar hormônios periféricos.

Tabela 1. Regiões e pares de nervos cranianos do cérebro e suas respectivas funções.

Região do cérebro	Função
Lobo olfatório	Interpreta os estímulos nervosos do olfato.
Telencéfalo	Memória e função cognitiva.
Lobo óptico	Interpreta as informações da visão.
Nervo óptico	Leva os estímulos visuais para o lobo óptico.
Cerebelo	Centro de coordenação muscular e equilíbrio.
Corde espinhal	Leva e traz informações para o resto do corpo (sistema nervoso periférico).
Hipotálamo	Secreta hormônios que estimulam a hipófise e regula funções como sono, fome etc.
Hipófise	Importante reguladora do metabolismo, reprodução etc.
Nervo cranial	Função
Par 1	Conexão sensorial dos órgãos nasais e o lobo olfatório.
Par 2	Conexão sensorial dos olhos com o lobo óptico.
Par 3	Conectado aos músculos.
Par 4	Conectado aos músculos; conexão sensorial e muscular.
Par 5	Conectado aos músculos responsáveis pela mastigação; conexão sensorial e muscular. Células sensoriais da língua e narinas.
Par 6	Conectado aos músculos.
Par 7	Conexão sensorial e muscular.
Par 8	Conexões sensoriais entre o cérebro e ouvido interno, importante para o equilíbrio.
Par 9	Conexões sensoriais entre o cérebro, as brânquias e o palato da boca.
Par 10	Conexão com o intestino, brânquias, coração e linha lateral.

10. Sistema de integração

O sistema de integração dos peixes é formado por células receptoras periféricas especializadas que captam os estímulos do ambiente e fornecem informações para o animal. Devido ao meio em que vivem, os peixes possuem uma alta capacidade de sentir sabores e odores, pelas células sensoriais presentes na boca, nos barbilhões e narinas. São sensíveis, também, a vibrações sonoras na água, por meio do ouvido interno, bexiga natatória e linha lateral. Esta última é um órgão de extrema importância para o seu sistema sensorial. É formada por inúmeras células sensoriais denominadas neuromastos, os quais se situam abaixo das escamas ao longo da lateral do corpo, ligando-se ao meio exterior por meio de pequenos poros (Figura 6). Os neuromastos são sensíveis a alterações de pressão e variações na qualidade da água, fornecendo essas informações para o sistema nervoso central.

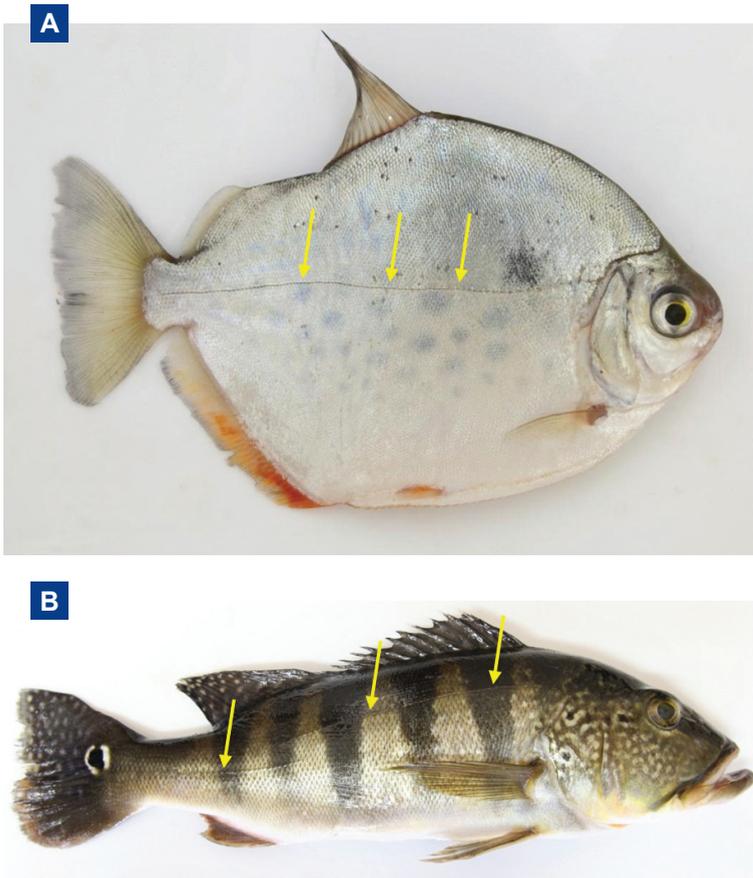


Figura 6. A. Vista lateral de um pacu com linha lateral em evidência (setas). B. Vista lateral de um tucunaré com a linha lateral evidente. Fotos: Jefferson Christofolletti.

A visão dos peixes é variável entre as espécies. As que vivem em águas profundas ou escuras não possuem uma visão aguçada, sendo esse o caso da maioria dos bagres, ao contrário daquelas que vivem em águas claras, tal como a corvina *Plagioscion squamosissimus*. Ao longo da evolução dos peixes, algumas perderam esse órgão de sentido ou possuem olhos extremamente pequenos, capazes de captar apenas alterações na luminosidade (como o peixe cego das cavernas, *Astyanax mexicanus*, e o Candiru-açu, *Cetopsis coecutiens*).

11. Sistema glandular

O sistema glandular dos peixes é representado principalmente pelo hipotálamo-hipófise, tireoide, glândula inter-renal, pâncreas, complexo pineal e glândula ultimobranquial. Na Tabela 2, encontram-se os principais hormônios do sistema glandular dos peixes e suas respectivas funções.

Tabela 2. Principais hormônios secretados pelo sistema glandular em peixes.

Hormônios	Funções
Hipotálamo	
Liberador de Gonadotrofina (GnRH)	Promove a liberação das gonadotrofinas pela hipófise.
Liberador de Tireotrofina (TRH)	Promove a liberação das tireotrofinas.
Liberador de Corticotrofina (CRH)	Promove a liberação de corticoides (cortisol).
Liberador de GH (GHRH)	Promove a liberação do hormônio de crescimento.
Inibidor da Liberação do GH (GHRH)	Inibe a liberação do hormônio de crescimento.
Fator Liberador de MSH (MSHRF)	Promove a liberação dos hormônios melanotróficos.
Fator Inibidor de MSH (MSHIF)	Inibe a liberação dos hormônios melanotróficos.

Hipófise

Antidiurético (ADH) ou vasopressina - Aumenta a absorção de água pelos túbulos coletores dos rins (regulação dos fluidos corporais).

Oxitocina - Atua no comportamento reprodutivo.

Tireoide

Triiodotironina (T3)
Tiroxina (T4) - Incrementam o metabolismo basal.

Glândula ultimobranquial

Calcitonina - Abaixa a concentração de cálcio no soro e supre a reabsorção deste pelos osteoclastos.

Pâncreas

Insulina e glucagon - Controlam a glicemia.

Gastrina - Estimulam a secreção HCl.

Somatostatina - Inibe a ação da insulina e glucagon.

Glândula inter-renal

Adrenalina - Aumenta o ritmo cardíaco e os níveis de glicose no sangue, atua na degradação do glicogênio (glicogenólise).

Noradrenalina - Estimula a vasoconstrição e aumenta a lipólise.

Cortisol - Regula o balanço de fluidos corporais.

Complexo pineal

Melatonina - Regula o ritmo dos processos fisiológicos.

12. Sistema digestório

Os principais órgãos, estruturas e enzimas envolvidos no processo de digestão de alimentos em peixes são apresentados a seguir. Na Figura 7, estão demonstrados e identificados os principais órgãos envolvidos na digestão dos peixes.

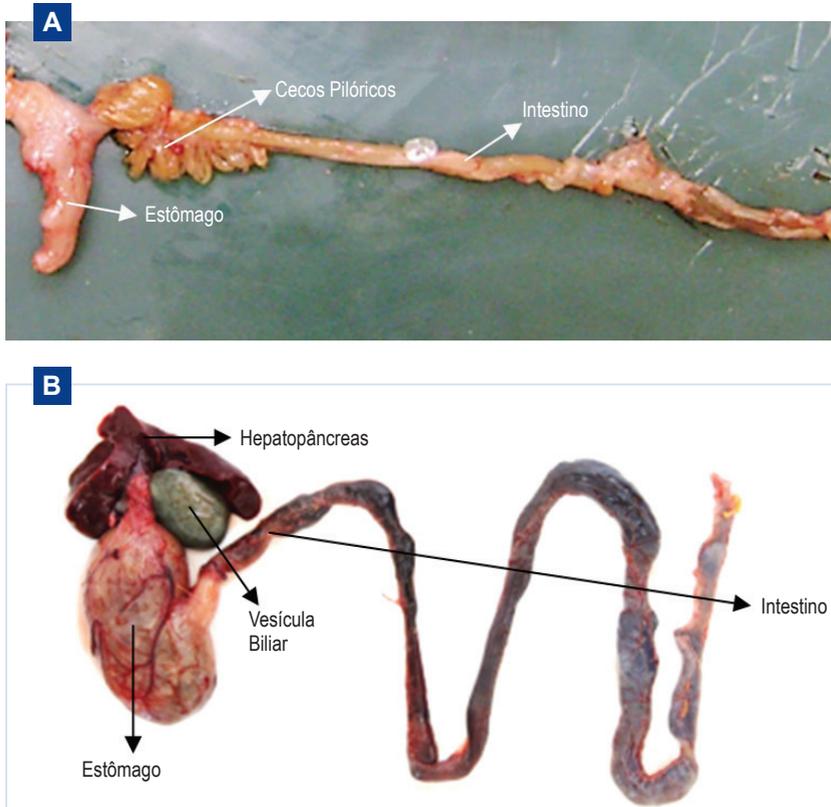


Figura 7. Sistema digestório dos peixes e principais órgãos envolvidos. Fotos: (A) Giovanni V. Moro; (B) Jefferson Christofletti.

12.1. Cavidade bucal, faringe e esôfago

Na cavidade bucal e faringe, estão os lábios, boca, dentes, língua e arcos branquiais, onde ocorrem os processos de seleção, apreensão e condução do alimento até o esôfago. Tais estruturas apresentam grande relação com o comportamento e preferência alimentar dos peixes na natureza, influenciando na escolha da granulometria e densidade do pélete de ração (flutuante ou não). A presença de lábios volumosos é comum em espécies herbívoras, que realizam pastejo e filtragem. A posição superior da boca é um indicativo de que se alimenta na superfície (aruanã

Osteoglossum bicirrhosum) (Figura 8A). A posição inferior da boca é uma característica típica de peixes que se alimentam de organismos bentônicos (de fundo), como as espécies popularmente conhecidas como cascudos (Figura 8B). Já a posição terminal da boca é comum em espécies cujos itens alimentares não são restritos a uma só direção de captura, como o caso das espécies de tilápias, do tambaqui e do dourado (Figura 8C). Quanto ao tamanho da boca, em espécies predadoras é relativamente grande de forma a permitir a ingestão de presas inteiras (Figura 8C). Já nas espécies que se alimentam de plâncton, bentos e vegetais, a boca é comumente pequena e tubular, permitindo a sucção do alimento na água (Figura 8D). A língua dos peixes é relativamente simples, sendo usualmente rígida e pouco móvel. Os dentes podem



Figura 8. Diferentes especializações da boca em peixes. (A) Boca com posição superior (aruanã *Osteoglossum bicirrhosum*). (B) Boca de exemplar de cascudo com posição inferior. (C) Boca com posição terminal e tamanho grande, típica de peixe predador (apaiari *Astronotus ocellatus*). (D) Boca prostrátil, pequena e tubular (piauí *Leporinus* spp.).

estar localizados nas mandíbulas, boca e faringe e sua função se relaciona com seu formato. Dentes pontiagudos (caninos) auxiliam a perfurar e segurar a presa, como, por exemplo, os dentes das traíras, dourado e a cachorra verdadeira (*Hydrolycus armatus*). Dentes cortantes (incisivos) como os do piavuçu (*Leporinus macrocephalus*) auxiliam a cortar o alimento em tamanhos menores, enquanto dentes molariformes, presentes no tambaqui, ajudam a esmagar e quebrar alimentos duros.

A faringe é definida pela presença dos arcos branquiais e seu limite com a cavidade bucal é pouco evidente. Em algumas espécies, a faringe apresenta dentes faríngeos (carpa capim *Ctenopharyngodon idella*) ou placas dentíferas (dourado), que auxiliam na trituração do alimento e na apreensão da presa, respectivamente. Os rastros branquiais – projeções ósseas dos arcos branquiais – quando espessos, pontiagudos, afastados entre si e em menor número, também auxiliam na apreensão da presa (Figura 9A). No entanto, quando longos, numerosos e próximos entre si, auxiliam na filtragem de alimento juntamente com o muco das brânquias (Figura 9B). Os rastros também protegem os filamentos branquiais contra partículas ingeridas que possam causar algum tipo de injúria.

O esôfago é um tubo curto e musculoso, que tem por função lubrificar o alimento e transportá-lo para o estômago ou diretamente para o intestino, no caso de espécies sem estômago, como a carpa comum (*Cyprinus carpio*). É bastante elástico e musculoso em espécies que se alimentam de itens de grande tamanho como nos peixes piscívoros predadores.

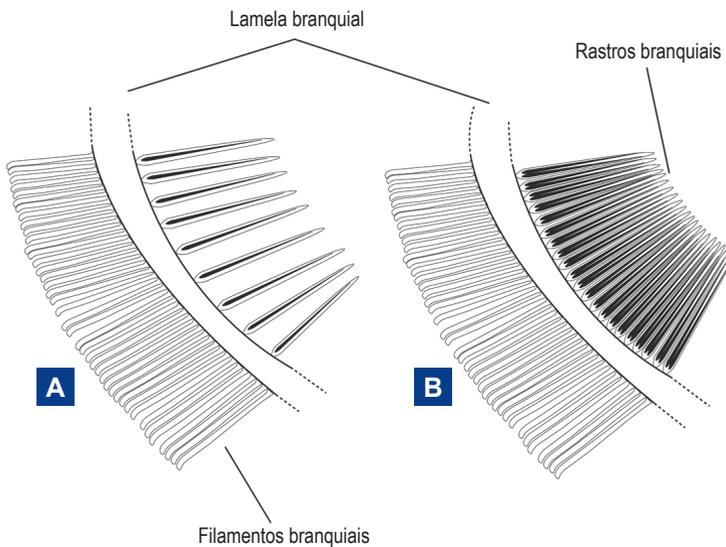


Figura 9. (A) Rastros branquiais espessos, pontiagudos e afastados entre si, típicos de peixes predadores. (B) Rastros branquiais delgados, longos, numerosos e próximos entre si, típico de peixes filtradores.

12.2. Estômago

O estômago é o local de armazenamento temporário do alimento, onde são realizadas funções mecânicas e químicas que auxiliam na trituração do alimento e iniciam o processo digestivo. O seu tamanho geralmente possui relação com a duração entre as refeições e a natureza da dieta. Em espécies que se alimentam de itens grandes como as carnívoras, o estômago é volumoso e elástico. Nessas espécies, a frequência alimentar pode ser menor (de uma a duas refeições diárias), aplicando-se maiores taxas de alimentação por refeição. O contrário ocorre com espécies herbívoras e onívoras que, por consequência, realizam um maior número de refeições diárias e consomem menor quantidade de alimento por refeição. Nas espécies de peixes detritívoras, o estômago possui capacidade de armazenamento limitada, porém é bastante musculoso, auxiliando na fragmentação do alimento. Já em algumas espécies como as carpas, o estômago inexistente.

Entre o estômago e o intestino, encontra-se o esfíncter pilórico ou piloro, estrutura que evita o refluxo do alimento e libera, de forma controlada, o alimento do estômago para o intestino. Em espécies de peixe sem estômago, não existe o piloro e o retorno do alimento do intestino é prevenido pela musculatura do esôfago.

12.3. Intestino

O intestino é o local onde predomina a digestão química e onde ocorre grande parte da absorção dos nutrientes, íons e água da dieta. A região proximal do intestino possui maior capacidade de digestão e absorção de nutrientes, enquanto a porção mais distal é relacionada com a absorção de íons e água, além de exercer importante função imunológica nos peixes.

O intestino possui uma enorme diversidade estrutural até mesmo entre espécies com o mesmo hábito alimentar. Geralmente, intestinos mais longos são característicos de espécies herbívoras ou detritívoras. Nessas espécies, a densidade nutricional e a digestibilidade do alimento são baixas. Dessa forma, o intestino longo constitui uma adaptação que permite aumentar o tempo de contato entre o alimento e as enzimas digestivas e, com isso, o aproveitamento dos nutrientes. Intestinos mais curtos, por sua vez, são encontrados em espécies carnívoras que se alimentam de itens nutricionalmente concentrados e de digestão lenta. Já em peixes onívoros, o comprimento intestinal é intermediário.

Algumas espécies apresentam cecos pilóricos no início do intestino, que são projeções em formato de saco, cuja função é aumentar a superfície de digestão e absorção de nutrientes. Estes ocorrem principalmente em peixes carnívoros e onívoros, como o pirarucu, o tambaqui e o dourado. O número, formato e tamanho dos cecos variam entre as espécies de peixe e entre indivíduos de uma mesma espécie.

12.4. Fígado, pâncreas e vesícula biliar

O fígado é o órgão produtor da bile, substância digestiva armazenada na vesícula biliar e responsável pela emulsificação das gorduras e neutralização da acidez do quimo intestinal. O fígado recebe os nutrientes absorvidos pelo trato gastrintestinal via corrente sanguínea, processando-os e distribuindo-os para outros tecidos do corpo. Localizada entre o fígado e o intestino, a vesícula biliar é um saco de parede fina e coloração que varia entre o amarelo e verde, sendo responsável por excretar a bile no intestino quando o alimento nele chega.

Na maioria dos peixes, o pâncreas não é um órgão único, sendo difícil de ser distinguido a olho nu por se encontrar espalhado no mesentério e/ou fígado (formando o hepatopâncreas). É responsável pela secreção de insulina e glucagon e pela produção de enzimas digestivas (Tabela 3) e bicarbonato, que auxiliam no processo de digestão realizado no intestino.

Tabela 3. Principais enzimas digestivas dos peixes, suas funções e características.

Enzimas digestivas	Funções e características
Amilase	- Quebra o amido em glicose e maltose; - Possui menor atividade em espécies carnívoras e de água marinha e fria, o que explica a menor capacidade de utilização de carboidratos dessas espécies.
Pepsina	- Produzida no estômago, inicia a digestão proteica.
Tripsina, quimotripsina e carboxipeptidase	- Atuam na digestão de proteínas; - Possuem maior atividade em espécies carnívoras.
Lipase e fosfolipase	- Atuam na digestão de lipídios.

13. Sistema imunológico

A estrutura e forma dos órgãos que compõem o sistema imunológico diferem entre peixes e os demais grupos de vertebrados, embora algumas células e moléculas sejam similares. Os peixes não apresentam medula óssea nem linfonodos, sendo o rim o principal órgão linfoide, seguido pelo timo, baço e tecido linfoide associado à mucosa.

13.1. Rim

Nos peixes teleósteos, o rim é um órgão único e desempenha papel semelhante ao da medula óssea dos vertebrados superiores, possuindo função hematopoiética, juntamente com o baço. Esse órgão é subdividido em rim anterior e posterior, sendo que a função hematopoiética ocorre quase exclusivamente na sua porção anterior. A região posterior é responsável por filtrar e retirar compostos tóxicos do sangue, exercendo função similar a do rim dos mamíferos.

13.2. Baço

O baço é um órgão de coloração vermelho escuro e localizado na cavidade abdominal, adjacente à parede do intestino. Trata-se do principal órgão de identificação e remoção de células sanguíneas enfraquecidas pela idade ou infecções. Um aumento no tamanho do baço pode indicar uma possível infecção sistêmica por fungos ou bactérias (ver capítulo “Princípios básicos de sanidade de peixes”). Em peixes teleósteos, além da função hematopoiética, o baço tem função imunológica similar à dos linfonodos de mamíferos, que é de remover possíveis agentes patogênicos da linfa.

13.3. Tecido linfoide associado à mucosa

A pele, o intestino e as brânquias dos peixes são estruturas constantemente em contato com o meio externo e são protegidos pelo tecido linfoide associado à mucosa, representado principalmente por leucócitos, muco e tecido epitelial. Alguns estudos demonstram que o muco produzido no epitélio dos peixes contém moléculas de ação imune, como lisozima, complemento e imunoglobulinas.

A adição de alguns micro-organismos à dieta ou ao meio aquático vem sendo utilizada devido ao papel que exercem na resposta imune no intestino. Quando

adequados, protege o hospedeiro, pois passarão a coexistir em um equilíbrio dinâmico, ou seja, os micro-organismos irão compor a microbiota intestinal e isso trará benefícios para o peixe. Esses micro-organismos são chamados de probióticos.

14. Sistema reprodutor

O sistema reprodutor dos peixes é bastante simples e composto apenas de ovários nas fêmeas e testículos nos machos.

14.1. Ovários

Os peixes possuem um par de ovários, cuja forma e dimensão são variáveis de acordo com a espécie e estágio de desenvolvimento. Em algumas espécies, um dos ovários não é funcional, encontrando-se atrofiado. Os ovários localizam-se longitudinal e ventralmente à bexiga natatória (Figura 10). Seu peso e dimensão variam conforme a idade, o estágio de desenvolvimento e a maturidade sexual dos peixes, estando ainda diretamente relacionados com a condição nutricional da fêmea. Os ovários se comunicam com o meio externo pelo oviduto, cuja dimensão e função variam de acordo com a espécie, podendo apresentar função de deposição, incubação ou simplesmente condução dos óvulos. Os ovidutos podem ainda apresentar-se degenerados em algumas espécies. Quando presente, o oviduto termina no poro urogenital.

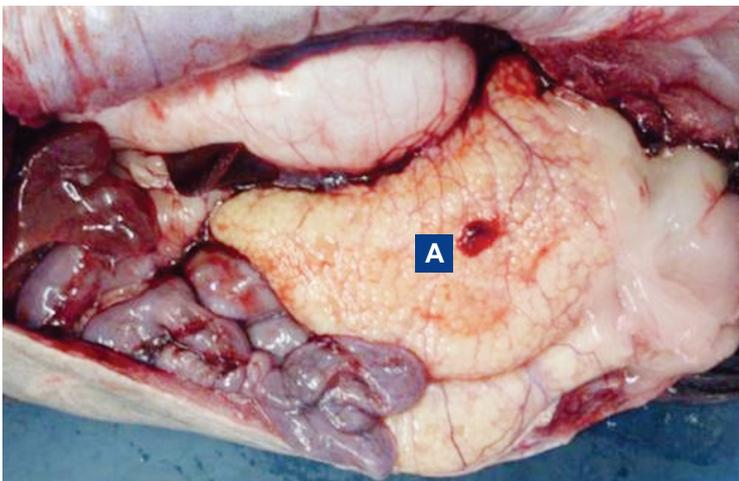


Figura 10. Ovário de carpa comum (A). Foto: Giovanni V. Moro.

Os óvulos variam em número, tamanho, forma e cor, conforme a espécie. A coloração depende principalmente da composição nutricional do vitelo, proporção de água do óvulo e diferenças entre as espécies. O vitelo constitui a fonte de nutrientes do embrião desde a fecundação até o início da alimentação exógena da larva de forma efetiva. Na face externa do óvulo, encontra-se a micrópila, orifício onde ocorre a fecundação pelo espermatozoide. O tempo de desenvolvimento dos ovários e maturação dos óvulos varia em função da espécie, condição nutricional da fêmea, temperatura da água e fotoperíodo. Esses fatores quando não adequados para o animal podem promover a atresia folicular dos óvulos, não ocorrendo a desova.

14.2. Testículos

Os testículos geralmente são em número par, mas em algumas espécies de peixes eles podem ser fundidos ou um deles atrofiado. Geralmente, são estruturas alongadas e podem ser lobulares ou tubulares. São compactos, regulares e localizados da mesma forma que os ovários (Figura 11). O seu tamanho, forma e peso variam conforme o peso do peixe e o estágio de maturação das gônadas.

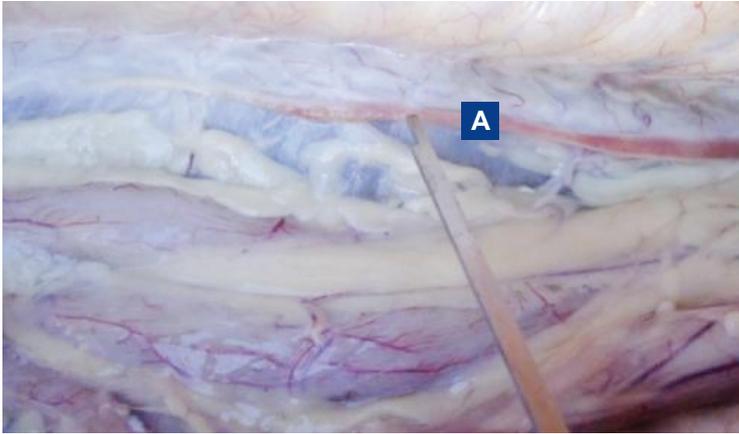


Figura 11. Testículo de pirarucu (A). Foto: Jefferson Christofoletti.

Quando os testículos estão maduros, os espermatozoides são liberados e seguem pelo ducto espermático para serem liberados para o meio externo por meio da abertura urogenital (para mais detalhes, vide capítulo de “Reprodução e alevinagem de peixes”). Ainda no ducto espermático, os espermatozoides encontram-se inativos devido à alta concentração de potássio do sêmen. Ao entrar em contato com a água,

o potássio é diluído e os espermatozoides tornam-se ativos, e apenas quando ativos irão fecundar os óvulos. Após ativos, com o passar do tempo, a motilidade diminui e a capacidade de fecundação fica reduzida.

O formato dos espermatozoides pode diferir entre as espécies. Normalmente, a forma da cabeça varia de curta a alongada com uma porção intermediária conectando-a a cauda. São liberados em grandes quantidades e podem sobreviver no meio externo de 23 segundos a 5 minutos, de acordo com a espécie e as condições do meio aquático.

Recomendações Técnicas

- 1.** É importante entender a forma corporal dos peixes para adequar os sistemas de produção e manejo alimentar de acordo com a espécie;
- 2.** Peixes que retiram o oxigênio da atmosfera não necessitam de manejo para aumentar o oxigênio dissolvido na água;
- 3.** No manejo reprodutivo das espécies migradoras, o sistema glandular não irá funcionar adequadamente quando os peixes forem mantidos em cativeiro, por isso, a utilização de hormônios externos é essencial para o sucesso reprodutivo;
- 4.** Os rastros branquiais, quando espessos, pontiagudos, afastados entre si e em menor número também auxiliam na apreensão da presa (Figura 9A). No entanto, quando longos, numerosos e próximos entre si, auxiliam na filtragem de alimento juntamente com o muco das brânquias (Figura 9B). Os rastros também protegem os filamentos branquiais contra partículas ingeridas que possam causar algum tipo de injúria;
- 5.** Conhecer o sistema digestório dos peixes e suas variações, de acordo com o hábito alimentar, é importante para que seja adequado o manejo alimentar, e o tipo e tamanho de alimento a ser fornecido. Por exemplo, peixes carnívoros normalmente se beneficiam de menos alimentações diárias do que peixes onívoros, principalmente devido ao tamanho de seu estômago. Peixes com bocas pequenas precisam receber uma dieta adequada ao tamanho de sua boca. Peixes com órgão adaptados a digerir alimentos de baixa digestibilidade podem receber uma ração composta de ingredientes menos digestíveis.

15. Bibliografia consultada e recomendada

- BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 2.ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2009. 352 p.
- BUDDINGTON, R.K.; KROGDAHL, Å; BAKKE-MCKELLEN, A.M. The intestines of carnivorous fish: structure and functions and the relations with diet. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 161, p. 67-80, 1997.
- JUTFELT, F. Barrier function of the gut. In: FARRELL, T.P. (Ed.). **Encyclopedia of fish physiology: from genome to environment**. V. 2, Gas exchange, internal homeostasis, and food uptake. Italy: Academic Press, 2011. p. 1322-1331.
- KAPOOR, B.G.; SMIT, H.; VERIGHINA, I.A. The alimentary canal and digestion in teleosts. **Advances in Marine Biology**, v. 13, p. 109-239, 1975.
- MOREIRA, H.L.M.; VARGAS, L.; RIBEIRO, R.P.; ZIMMERMANN, S. **Fundamentos da moderna aquicultura**. Canoas: Ed. Ulbra, 2001. 200 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Washington, DC, USA: The National Academic Press, 2011. 376 p.
- POWELL, D.B. Immune system. In: OSTRANDER, G.K. (Ed.). **The handbook of experimental animals**. The laboratory fish. Great Britain: Academic Press, 2000. p. 219-222.
- REIFEL, C.W.; TRAVILL, A.A. Structure and carbohydrate histochemistry of the intestine in ten teleostean species. **Journal of Morphology**, v. 162, p. 343-360, 1979.
- ROMBOUT, J.H.W.M.; ABELLI, L.; PICCHIETTI, S.; SCAPIGLIATI, G.; KIRON, V. Teleost intestinal immunology. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 31, p. 616-626, 2011.
- ROTTA, M.A. **Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 48 p. (Embrapa Pantanal – Documentos, 53).
- RUST, M.B. Nutritional Physiology. In: HALVER, J.E.; HARDY, R.W. (Ed.). **Fish Nutrition**. San Diego, CA, USA: Academic Press, 2002. p. 367-505.
- TAKASHIMA, F.; HIBIYA, T. **An atlas of fish histology** – normal and pathological features. 2.ed. Tokyo: Kodansha Ltda., 1995. 195 p.
- TIZARD, I.R. **Imunologia veterinária: uma introdução**. São Paulo: Roca, 2002. 532 p.
- VOLPATO, G.L.; TRAJANO, E. Biological rhythms. In: VAL, A.L.; ALMEIDA-VAL, V.M.F.; DAVID J. RANDALL, D.J. (Ed.). **The physiology of tropical fishes**. Fish Physiology Series, v. 21. Academic Press. 2005. p. 101-153.
- ZAPATA, A.G. Lymphoid organs of teleost fish. II. Ultrastructure of renal lymphoid tissue of *Rutilus rutilus* and *Gobio gobio*. **Developmental & Comparative Immunology**, v. 5, p. 685-690, 1981.
- ZAPATA, A.G. Ultrastructural study of the teleost fish kidney. **Developmental & Comparative Immunology**, v. 3, p. 55-65, 1979.
- ZAPATA, A.G.; CHIBA, A.; VARAS, A. Cells and tissues of the immune system of fish. In: IWAMA, G., NAKANISHI, T. **The fish immune system**. London: Academic Press, 1996. p. 1-62.