

A MORFOLOGIA E FUNÇÃO DA BRÂNQUIA DE PEIXES TELEÓSTEOS

A brânquia dos peixes é um órgão complexo que desempenha diversas funções vitais, tais como a respiração, a osmorregulação, a manutenção do equilíbrio ácido-base, mas também a excreção de compostos azotados. Nos peixes teleósteos, este órgão é composto por quatro arcos branquiais, que são estruturas ósseas que conferem suporte à duas fileiras de filamentos branquiais. Em cada filamento estão presentes uma artéria filamental aferente e uma eferente que irrigam as lamelas onde ocorrem as trocas gasosas – hematose branquial. As lamelas são estruturas que permitem a respiração dos peixes, realizando trocas gasosas entre a água e o sangue através do mecanismo de contracorrente. Devido à sua elevada superfície, ao contacto direto com a água, e epitélio fino as brânquias são bastante sensíveis aos stresses ambientais, e as respostas ao nível do epitélio branquial são considerados biomarcadores precoces da poluição. Desta forma, neste artigo de revisão é feita uma introdução à morfologia dos peixes teleósteos e à caracterização da estrutura básica da brânquia. Posteriormente, é feita uma abordagem ao mecanismo de contracorrente, terminando com referência às principais características que tornam este órgão um excelente biomarcador da qualidade da água.

Palavras-chave

ictiofauna
peixes teleósteos
brânquia
biomarcador

Ondina Ribeiro^{1,2}

Mónica Quelhas Pinto¹

Sandra Mariza Monteiro^{1,2,3}

João Soares Carrola^{1,2,3*}

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Vila Real, Portugal.

² Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas (CITAB), UTAD, Vila Real, Portugal.

³ Inov4Agro – Instituto de Inovação, Capacitação e Sustentabilidade da Produção Agro-Alimentar, CITAB, Vila Real, Portugal.

* joao@utad.pt

ISSN 1647-323X

Artigo em acesso aberto sob [licença CC-BY](#)

© 2021 Autores

INTRODUÇÃO

Os peixes teleósteos pertencem à classe Osteichthyes (do grego *osteos* = osso, e *ichthys* = peixe). Estes animais possuem duas brânquias, cada uma delas localizada na parte lateral da cabeça, inseridas na câmara branquial e protegidas por uma placa óssea denominada de opérculo, que cobre a fenda opercular (Figura 1) (Evans *et al.*, 2005).

A brânquia é um órgão complexo, tanto a nível morfológico como fisiológico, e a sua estrutura é extremamente organizada (Santos *et al.*, 2016; Machado, 1999). Desempenha diversas funções vitais para os peixes, nomeadamente a respiração, osmorregulação, manutenção do equilíbrio ácido-base, mas também a excreção de compostos azotados. Possui uma superfície de contacto extensa de forma a facilitar as várias funções, estando 90% deste órgão em constante contato direto com o ambiente externo (Monteiro *et al.*, 2005).

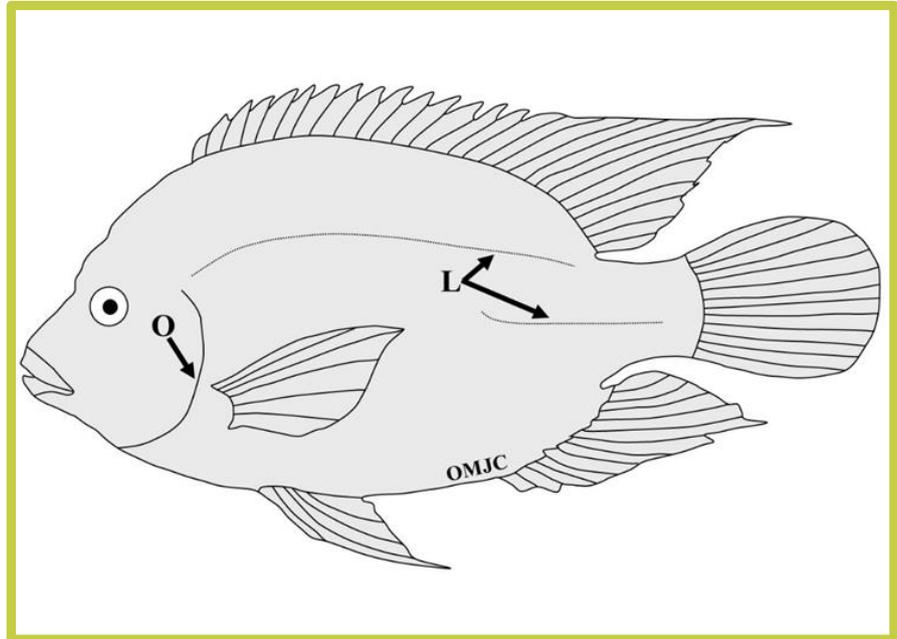


Figura 1: Morfologia de uma tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Pode-se observar o opérculo (O), placa óssea que cobre a câmara branquial e protege a brânquia, controla o fluxo de água que entra pela cavidade bucal, atravessa a brânquia e sai pela fenda branquial. Também é possível observar a linha lateral (L) que se estende longitudinalmente ao longo do corpo. A linha lateral desta espécie é constituída por duas linhas descontínuas de escamas com poros, com células sensoriais que captam as vibrações da água e respetivos movimentos (Voronina e Hughes, 2013).

Cada brânquia é composta por quatro estruturas ósseas curvas denominadas de arcos branquiais (Figura 2), e cada um destes confere suporte a duas fileiras de filamentos branquiais de onde se projetam as lamelas transversais.

Na maioria das espécies, os filamentos são projeções longas e estreitas, que afunilam na sua extremidade tendo uma forma hidrodinâmica. Em cada filamento está presente uma artéria aferente que transporta o sangue em todo o comprimento do filamento e uma artéria eferente que transporta sangue rico em oxigénio, proveniente dos capilares lamelares, graças ao sistema de contracorrente. A forma, tamanho e densidade dos filamentos branquiais e das lamelas varia de acordo com as diferentes espécies de peixes (Evans *et al.*, 2005).

As lamelas estão distribuídas uniformemente e numa posição perpendicular ao longo dos filamentos (Figura 2). Estão densamente irrigadas por capilares sanguíneos e revestidas por um epitélio fino o que facilita as trocas gasosas. O comprimento e número de lamelas determina a área respiratória total, a qual varia de acordo com os hábitos alimentares, habitat, comportamento e biologia de cada espécie, bem como de

fatores filogenéticos. De uma maneira geral, quanto mais ativa for a espécie, maior será o número de filamentos por arco branquial e maior o número de lamelas por filamento (Prein e Kunzmann, 1987).

Na parte anterior de cada arco branquial existem as branquispinhas ou rastilhos branquiais, com forma, tamanho e densidade muito diferentes em função das dietas alimentares. A sua função principal é evitar a passagem de partículas suspensas na água as quais poderiam danificar o tecido epitelial que reveste os filamentos e as lamelas (Evans et

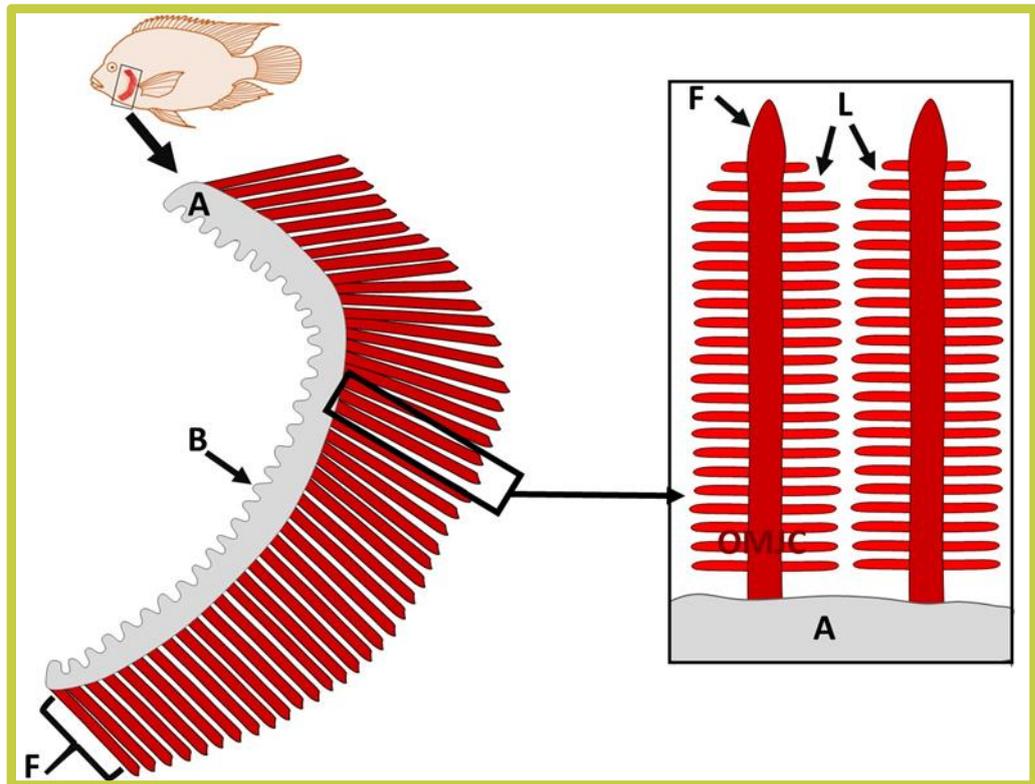


Figura 2: Estrutura básica da brânquia da tilápia do Nilo (*O. niloticus*). A parte anterior do arco branquial (A) está revestida por branquispinhas (B), e a parte posterior com uma das duas fileiras de filamentos (a outra não foi representada para facilitar a visualização). No interior do retângulo, podemos observar as lamelas (L) distribuídas perpendicularmente ao filamento (F) (Ribeiro, 2017).

al., 2005). Em algumas espécies, as branquispinhas podem ser uma segunda função, como encaminhar as partículas de alimento suspensas na água, que podem ter diferentes tamanho, diretamente para o esôfago (Elsheikh, 2013). As tilápias e tainhas apresentam uma elevada densidade de branquispinhas o que permite ingerir pequenas partículas em suspensão na água. O lúcio apresenta branquispinhas grandes, duras e cortantes, mas em baixa densidade, pois é um predador que se alimenta de peixes, anfíbios e até patos pequenos.

Os filamentos e as lamelas (Figuras 3 A e B) são revestidos por um epitélio fino, que tem como função fornecer proteção e separação contra o ambiente externo ao peixe. O epitélio filamentar é estratificado e pavimentoso, provido de células produtoras de muco e dependendo das espécies possui células que segregam NaCl (espécies de água salobra e salgada) ou células que captam NaCl (espécies de água doce). O muco produzido protege o epitélio, principalmente quando exposto a condições adversas da qualidade da água. Pode ainda observar-se a presença de células acessórias, neuroepiteliais ou indiferenciadas (Machado, 1999; Monteiro *et al.*, 2010).

O epitélio lamelar é muito fino e está disposto sobre a lâmina basal das células pilar que revestem os capilares lamelares. Este epitélio é composto por duas camadas de células, separadas por espaços intersticiais, sendo a mais interna constituída por células indiferenciadas e a mais externa por células

pavimentosas (Evans, 1987). As células pilar controlam o diâmetro dos capilares lamelares regulando, desta forma, o fluxo sanguíneo (Genten *et al.*, 2009).

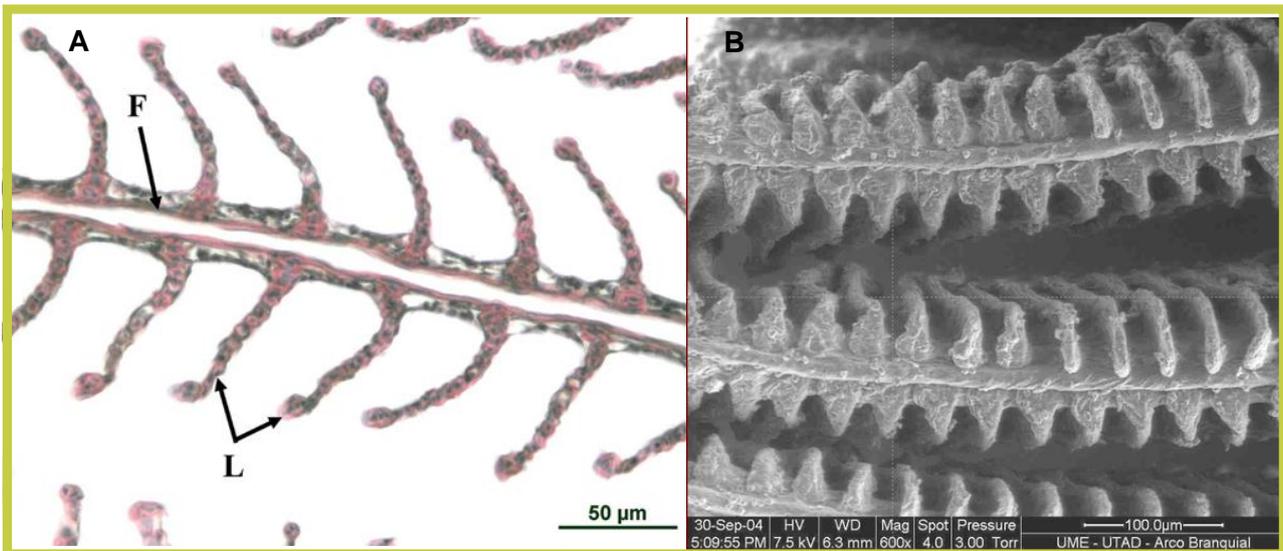


FIGURA 3: A Microfotografia de um corte histológico longitudinal de brânquia da tilápia de Moçambique *Oreochromis mossambicus* (coloração com hematoxilina e eosina). Podemos observar um filamento (F) e numerosas lamelas (L) dispostas ao longo da sua extensão (Ribeiro *et al.*, 2017). B: Microfotografia de um arco branquial de *O. niloticus* (microscopia eletrónica de varrimento, 600x). Nesta imagem podemos observar os filamentos na horizontal e com numerosas lamelas em ambos lados de cada filamento, numa posição vertical.

Durante a respiração, os opérculos do peixe fecham e a cavidade bucal abre e ao mesmo tempo, ocorre um aumento do volume das câmaras branquiais o que leva a uma pressão negativa no seu interior, e assim o fluxo de água entra na boca do peixe e atravessa os arcos branquiais e filamentos, passando pelas fendas entre as lamelas (Figura 4), através das quais circula em sentido contrário ao fluxo sanguíneo, o chamado sistema de contracorrente (Machado, 1999). Posteriormente, a boca fecha-se e há a contração das câmaras branquiais, forçando a saída da água através dos opérculos.

O mecanismo de contracorrente aumenta a eficácia das trocas gasosas entre o sangue e a água (Figura 5) (Machado, 1999). A diferença que se gera entre a tensão de oxigénio dissolvido no sangue e na água é suficiente para que a percentagem de oxigénio no sangue aumente, à medida que este circula em sentido contrário ao da água. A manutenção do coeficiente de difusão elevado permite que o sangue atinja 90% de saturação de oxigénio (Campbell *et al.*, 2009).

Tal como já foi referido, a brânquia exerce diversas funções fisiológicas. Devido ao seu contacto constante e direto com a água, bem como à sua extensa área superficial, revestida por um epitélio muito fino, a brânquia é também uma das principais vias de entrada dos compostos tóxicos (Monteiro *et al.*, 2009; Garcia-Santos *et al.*, 2005; Baiomy, 2016). Assim, a identificação e quantificação das diversas lesões e alterações branquiais causadas pela poluição são uma ferramenta importante para avaliar o grau e o efeito da contaminação dos ecossistemas aquáticos (Fontainhas-Fernandes *et al.*, 2008; Kumar *et al.*, 2017; Monteiro *et al.*, 2008). As principais alterações histopatológicas normalmente observadas na brânquia de peixes teleosteos são: a hiperplasia das células do epitélio lamelar e filamentar, o aneurisma, a necrose, a vasodilatação do eixo vascular lamelar, a hipertrofia do epitélio respiratório, o edema, o destacamento do

epitélio das lamelas e a fusão das lamelas (Santos *et al.*, 2014; Figueiredo-Fernandes *et al.*, 2007; Monteiro *et al.*, 2008; Badroo *et al.*, 2020).

Esta informação pode ainda ser complementada com o estudo de outros órgãos e de outros biomarcadores¹, o que é fundamental para fazer uma avaliação mais completa da saúde do peixe e inferir sobre a qualidade da água e os seus efeitos (Carrola *et al.*, 2009; Carrola *et al.*, 2012; Carrola *et al.*, 2014; Lança *et al.*, 2017). A investigação realizada em laboratório é fulcral para poder estudar detalhadamente aspetos específicos de importância ecotoxicológica, em condições controladas. São utilizadas diversas espécies, como a truta (*Oncorhynchus mykiss*), a carpa (*Cyprinus carpio*), a tilapia (*Oreochromis sp*), mas com predomínio dos peixes pequenos como o vairão-de-cabeça-gorda (*Pimephales promelas*), o medaka japonês (*Oryzias latipes*) e em particular o peixe-zebra (*Danio rerio*).

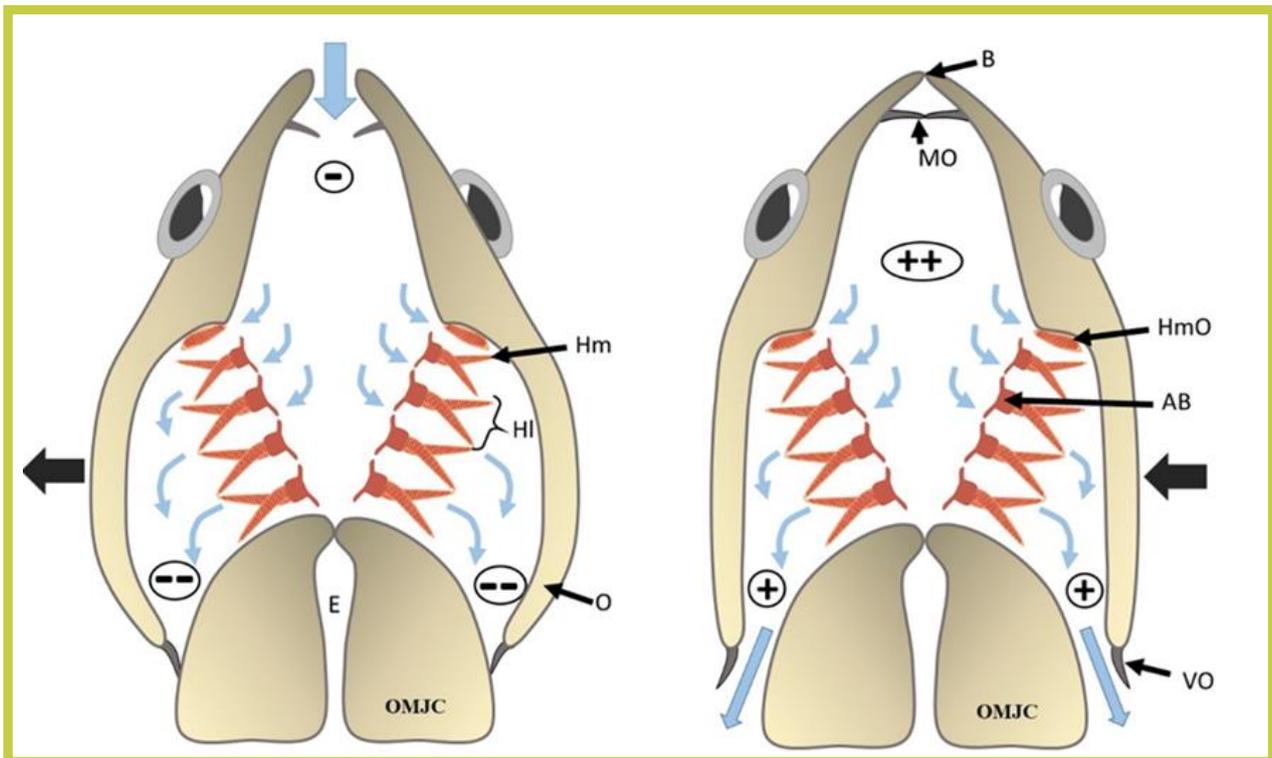


FIGURA 4: Diagrama do corte horizontal da cabeça de um peixe teleósteo. Durante a inspiração a boca abre, a cavidade opercular aumenta de volume e as válvulas operculares permanecem fechadas. Durante a exalação, a água atravessa os arcos branquiais e sai pelas fendas operculares devido à diferença de pressões entre a cavidade bucal e a cavidade opercular. AB – arco branquial; B – boca; E – esófago; Hm – hemibrânquia; HmO – hemibrânquia opercular; HI – holobrânquia; MO – membrana oral; O – opérculo; VO – válvula opercular ou membrana branquioestegal.

¹ Um biomarcador é definido como uma mudança numa resposta biológica que pode estar associada à exposição ou efeitos tóxicos de compostos químicos ambientais. Os biomarcadores podem ser divididos em três classes diferentes: efeito, exposição e susceptibilidade (Van der Oost *et al.*, 2003).

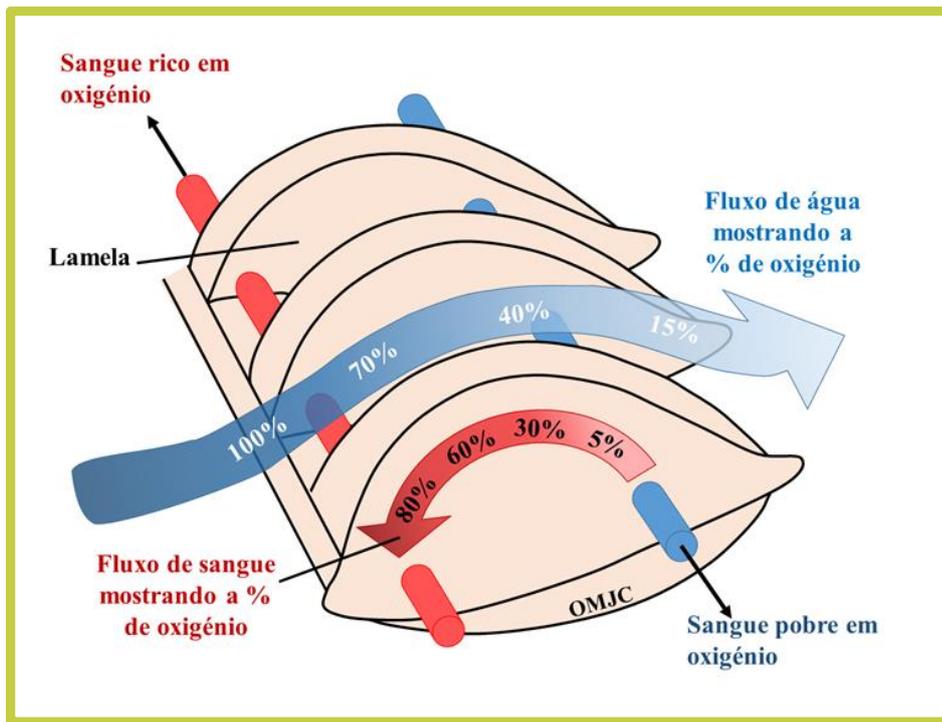


FIGURA 5: Mecanismo de contracorrente nas lamelas. Observa-se a circulação em sentido contrário entre o sangue e a água que passa pelas brânquias, o que permite a difusão de oxigênio da água para o sangue, devido à manutenção do coeficiente de difusão elevado. Ou seja, à medida que o sangue fica com uma percentagem maior de oxigênio, também entra em contacto com água com mais oxigênio dissolvido. Este mecanismo permite aumentar a eficácia das trocas gasosas e que o sangue atinja um ponto de saturação em oxigênio mais elevado [adaptado de Campbell *et al.* (2009)].

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A brânquia é um órgão importante para a sobrevivência dos peixes, uma vez que desempenha uma série de funções vitais. É um órgão extremamente organizado sendo, cada brânquia, composta por quatro arcos branquiais, os quais conferem suporte a duas fileiras de filamentos branquiais dos quais se projetam as lamelas transversais. Na parte anterior de cada arco branquial ainda é possível observar-se as branquispinhas que evitam a passagem de partículas suspensas na água de forma a proteger o tecido epitelial.

Devido à sua elevada superfície de contacto com o ambiente externo, uma vez que este órgão se encontra em contacto constante com a água, a brânquia tornou-se um excelente biomarcador da qualidade da água. Desta forma, a brânquia é considerada um excelente órgão para avaliar os possíveis efeitos que os compostos tóxicos podem exercer nos organismos aquáticos, bem como no ecossistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badroo, I. A., Nandurkar, H. P. & Khanday, A. H. (2020). Toxicological impacts of herbicide paraquat dichloride on histological profile (gills, liver, and kidney) of freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch). *Environmental Science and Pollution Research* 27(31): 39054-39067.
- Baiomy, A. A. (2016). Histopathological biomarkers and genotoxicity in gill and liver tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* from a polluted part of the Nile River, Egypt. *African Journal of Aquatic Science* 41(2): 181-191.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Taylor, M. R., Simon, E. J. & Dickey, J. (2009). *Biology: concepts & connections*. Pearson/Benjamin Cummings.
- Carrola, J., Fontainhas-Fernandes, A., Pires, M. J. & Rocha, E. (2014). Frequency of hepatocellular fibrillar inclusions in European flounder (*Platichthys flesus*) from the Douro River estuary, Portugal. *Environmental Science and Pollution Research* 21(4): 3116-3125.
- Carrola, J. S., Fontainhas-Fernandes, A., Coelho, D., Martinho, F., Rocha, M., Ferreira-Cardoso, J., Gouveia, A. & Rocha, E. (2012). Assessment of intersex severity in grey mullets from three Portuguese estuaries—preliminary data. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 163: S37.

- Carrola, J. S., Fontainhas-Fernandes, A., Matos, P. & Rocha, E. (2009). Liver histopathology in brown trout (*Salmo trutta f. fario*) from the Tinhela River, subjected to mine drainage from the abandoned Jales Mine (Portugal). *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 83(1): 35-41.
- Elsheikh, E. (2013). Scanning electron microscopic studies of gill arches and rakers in relation to feeding habits of some fresh water fishes. *The Journal of Basic & Applied Zoology* 66(3): 121-130.
- Evans, D. H. (1987). The fish gill: site of action and model for toxic effects of environmental pollutants. *Environmental Health Perspectives* 71: 47.
- Evans, D. H., Piermarini, P. M. & Choe, K. P. (2005). The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological reviews* 85(1): 97-177.
- Figueiredo-Fernandes, A., Ferreira-Cardoso, J. V., Garcia-Santos, S., Monteiro, S. M., Carrola, J., Matos, P. & Fontainhas-Fernandes, A. (2007). Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, exposed to waterborne copper. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 27(3): 103-109.
- Fontainhas-Fernandes, A., Luzio, A., Garcia-Santos, S., Carrola, J. & Monteiro, S. (2008). Gill histopathological alterations in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* exposed to treated sewage water. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 51(5): 1057-1063.
- Garcia-Santos, S., Fontainhas-Fernandes, A., Carrola, J., Monteiro, S. & Wilson, J. (2005). Histopathological and biochemical changes in the gills of tilapia (*Oreochromis niloticus*) caused by cadmium. In *Comparative Biochemistry and Physiology A-Molecular & Integrative Physiology*, Vol. 141, S205-S205: Elsevier Science INC 360 Park Ave South, New York, NY 10010-1710 USA.
- Genten, F., Terwinghe, E. & Danguy, A. (2009). *Atlas of fish histology*.: Enfield (NH): Science Publishers.
- Kumar, N., Krishnani, K. K., Gupta, S. K. & Singh, N. P. (2017). Cellular stress and histopathological tools used as biomarkers in *Oreochromis mossambicus* for assessing metal contamination. *Environmental toxicology and pharmacology* 49: 137-147.
- Lança, M. J., Machado, M., Ferreira, A. F., Carrola, J. S., Quintella, B. R., Moore, A. & Almeida, P. R. (2017). Early-warning biomarkers to assess the exposure to atrazine in sea lamprey downstream migrants. *Ecological indicators*.
- Machado, M. R. (1999). The use of fish gills as indicators of water quality. *UNOPAR Científica Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina* 1(1): 63-76.
- Monteiro, S. M., Mancera, J. M., Fontainhas-Fernandes, A. & Sousa, M. (2005). Copper induced alterations of biochemical parameters in the gill and plasma of *Oreochromis niloticus*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* 141(4): 375-383.
- Monteiro, S. M., Oliveira, E., Fontainhas-Fernandes, A. & Sousa, M. (2010). Fine structure of the branchial epithelium in the teleost *Oreochromis niloticus*. *Journal of Morphology* 271(5): 621-633.
- Monteiro, S. M., Rocha, E., Fontainhas-Fernandes, A. & Sousa, M. (2008). Quantitative histopathology of *Oreochromis niloticus* gills after copper exposure. *Journal of Fish Biology* 73(6): 1376-1392.
- Monteiro, S. M., Rocha, E., Mancera, J. M., Fontainhas-Fernandes, A. & Sousa, M. (2009). A stereological study of copper toxicity in gills of *Oreochromis niloticus*. *Ecotoxicology and environmental safety* 72(1): 213-223.
- Prein, M. & Kunzmann, A. (1987). Structural organization of the gills in pipefish (Teleostei, Syngnathidae). *Zoomorphology* 107(3): 161-168.
- Ribeiro, O. (2017). Interação entre a temperatura e o sulfato de cobre na histologia da brânquia de tilápia, *Oreochromis mossambicus*. 42: Internship report, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Ribeiro, O., Pinto, M., Tavares, D., Ferreira-Cardoso, J. V. & Carrola, J. S. (2017). Análise histológica da brânquia de tilápia de Moçambique (*Oreochromis mossambicus*) visando a avaliação do efeito da temperatura e do sulfato de cobre. In *11^{as} Jornadas de Biologia* UTAD, Vila Real.
- Santos, D., Falcao, A., Luzio, A., Fontainhas-Fernandes, A. & Monteiro, S. M. (2016). Neuroendocrine and Eosinophilic Granule Cells in the Gills of Tilapia, *Oreochromis niloticus*: Effects of Waterborne Copper Exposure. *Archives of environmental contamination and toxicology* 69(4): 566-576.
- Santos, D. M., Melo, M. R. S., Mendes, D. C. S., Rocha, I. K. B., Silva, J. P. L., Cantanhêde, S. M. & Meletti, P. C. (2014). Histological changes in gills of two fish species as indicators of water quality in Jansen Lagoon (São Luís, Maranhão State, Brazil). *International journal of environmental research and public health* 11(12): 12927-12937.
- Van der Oost, R., Beyer, J. & Vermeulen, N. P. (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental toxicology and pharmacology* 13(2): 57-149.
- Voronina, E. P. & Hughes, D. R. (2013). Types and development pathways of lateral line scales in some teleost species. *Acta Zoologica* 94(2): 154-166.