

**Uso de biomarcador histopatológico em brânquias de *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1972) na avaliação da qualidade da água do Parque Ecológico Laguna da Jansen, São Luís - MA**

[Using histopathological biomarker in gills of *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1972) in assessing the water quality at Ecological Park Laguna da Jansen, São Luís -MA]

S.M. Cantanhêde, A.M. Medeiros, F.S. Ferreira, J.R.C. Ferreira, L.M.C. Alves, M.V.J. Cutrim, D.M.S. Santos

Universidade Estadual do Maranhão – São Luís, MA

**RESUMO**

Com o objetivo de analisar a intensidade das alterações histológicas em brânquias de *Centropomus undecimalis* para avaliar a qualidade da água do Parque Ecológico Laguna da Jansen, em São Luís, Estado do Maranhão, coletaram-se exemplares de peixes no período chuvoso de 2012 e amostras de água nos períodos seco de 2011 e chuvoso de 2012 para análises físico-química e bacteriológica. Os resultados mostraram que a maioria dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos estava de acordo com os valores estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 357 de 2005. As alterações histológicas observadas foram: elevação do epitélio lamelar; proliferação excessiva de células dos epitélios filamentos e lamelar causando fusão total ou parcial das lamelas; alteração da estrutura das lamelas; hiperplasia das células mucosas; ruptura do epitélio lamelar; espessamento descontrolado do tecido proliferativo filamentos e lamelar e aneurismas de vários tamanhos. Também foi observada a presença de parasito em alguns exemplares. O Índice de Alteração Histológica (IAH) por indivíduo variou de 2 a 114. O valor médio do IAH obtido foi de 40,3, demonstrando que as brânquias dos indivíduos amostrados da espécie *C. undecimalis* apresentaram alterações de moderadas para severas no tecido. As alterações histológicas encontradas indicam que esses indivíduos desenvolveram mecanismos de defesa contra a ação de estressores presentes na água da laguna e a um provável desequilíbrio parasito-hospedeiro-ambiente associado à baixa qualidade do ambiente.

Palavras-chave: lesões branquiais, *Centropomus undecimalis*, ambiente aquático

**ABSTRACT**

Aiming to analyze the intensity of the histological changes in the gills of *Centropomus undecimalis* to assess the water quality at Ecological Park of the Laguna da Jansen, in São Luís, State of Maranhão, specimens of fish were collected during the rainy season of 2012 and water samples during the dry season in 2011 and rainy season in 2012 for physical-chemical and bacteriological analyses. The results showed that most of the physical-chemical and bacteriological parameters analyzed agreed with the values established by CONAMA Resolution nº 357 of 2005. The histological changes were elevation of the lamellar epithelium, excessive cell proliferation of the filamentum and lamellar epithelium causing total or partial melting of the lamellar; changing the structure of the lamellar, hyperplasia of mucous cells, disruption of the lamellar epithelium, uncontrolled proliferative tissue filamentum thickening and lamellar and aneurysms in various sizes. We noted the presence of parasites in some samples. The Index Histological Amendment (IAH) per individual ranged from 2 to 114. The mean IAH obtained was 40.3, demonstrating that the gills of the individuals of the *C. undecimalis* species showed moderate to severe changes in the tissue. The histological findings indicate that these individuals have developed defense mechanisms against the action of stressors present in the water of the Laguna da Jansen and a probable parasite-host-environment imbalance associated with the environment's low quality.

Keywords: gill lesions, *Centropomus undecimalis*, Aquatic environment

---

Recebido em 26 de outubro de 2012

Aceito em 21 de outubro de 2013

E-mail: sildymartins@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

O ecossistema aquático é considerado dentre os ecossistemas o mais suscetível à poluição. A poluição aquática está comumente associada à liberação indiscriminada de agentes poluidores, tais como efluentes domésticos, industriais ou agrícolas (Araújo *et al.*, 2001), resultando em efeitos negativos, como diminuição das espécies, comprometimento na qualidade da água ou da saúde humana (Kennish, 1997, citado por Batista-Neto *et al.*, 2008).

O uso da biota aquática é uma importante ferramenta na avaliação da qualidade da água (Buss *et al.*, 2003), em que os peixes constituem um grupo de grande importância nas avaliações de toxicidade, pois, além de estarem presentes em vários ambientes e apresentarem ampla distribuição geográfica, participam ainda de diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar (Jesus e Carvalho, 2008), sendo considerados como excelentes modelos biológicos de estudo.

As alterações histológicas em tecidos de peixes são consideradas como Biomarcadores de Efeito a exposição de estressores do meio ambiente, sendo reconhecidas cada vez mais como uma ferramenta valiosa para a avaliação do campo de poluentes ambientais (Teh *et al.*, 1997). As lesões em tecidos de brânquias são frequentemente estudadas em peixes coletados em ambientes naturais poluídos para avaliar a degradação do ambiente aquático ou validadas em peixes expostos a substâncias em testes de laboratório.

Nogueira *et al.* (2008) utilizaram as brânquias de *Pimelodus maculatus* como biomarcadores para avaliar a presença de poluentes em ambientes naturais através do cálculo das lesões histológicas no tecido branquial.

Garcia-Santos *et al.* (2007) identificaram os efeitos agudos causados pelo cádmio em brânquias de tilápias (*Oreochromis niloticus*) sob condições laboratoriais, sendo detectadas alterações histológicas nos peixes expostos ao poluente.

Considerando a importância dos estudos com modelos biológicos para avaliar a qualidade dos ambientes aquáticos com ênfase em análises de efeitos de estressores ambientais em órgãos de

peixes, o presente trabalho analisou a intensidade das alterações histológicas em brânquias de *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1972) para avaliar a qualidade da água do Parque Ecológico Laguna da Jansen, em São Luis, Maranhão.

## MATERIAL E MÉTODOS

Baseado nos critérios de seleção de um bioindicador, a espécie escolhida foi *Centropomus undecimalis* (Bloch 1972) (Perciformes, Centropomidae), conhecido popularmente por camurim. Os exemplares foram coletados no Parque Ecológico Laguna da Jansen, localizado em uma área metropolitana, em São Luís, Estado do Maranhão.

Utilizaram-se 33 exemplares de *C. undecimalis*, coletados no período chuvoso de 2012, dos quais foi retirado o primeiro arco branquial direito. Este foi fixado em formalina a 10% por 24 horas e posteriormente descalcificado em ácido nítrico a 10%, desidratado em concentrações crescentes de alcoóis, diafanizado em xilol, impregnado e incluso em parafina. Os cortes de espessura de 5µm foram corados com hematoxilina e eosina (Luna, 1968) para descrição histológica.

As alterações histológicas branquiais foram avaliadas semiquantitativamente pelo cálculo do Índice de Alteração Histológica (IAH), adaptado de Poleksic e Mitrovic – Tutundzic (1994), baseado na severidade de cada lesão. As alterações foram classificadas em fases progressivas de danos nos tecidos: alterações de estágio I, que não comprometem o funcionamento do órgão; de estágio II, mais severas e que prejudicam o funcionamento normal do órgão; e de estágio III, muito severas e irreversíveis.

Para cada peixe foi calculado o valor do IAH através da fórmula:  $IAH = 1 \times \sum I + 10 \times \sum II + 100 \times \sum III$ , sendo que *I*, *II* e *III* correspondem respectivamente ao número de alterações de estágio I, II e III. O valor médio do IAH foi dividido em cinco categorias: 0-10 = funcionamento normal do tecido; 11-20 = danificação leve para moderada do tecido; 21-50 = modificação moderada para severa do tecido; 51-100 = modificação severa do tecido; >100 = danificação irreparável do tecido.

Para a análise bacteriológica da água da Laguna da Jansen, foram coletadas 6 amostras entre os períodos seco de 2011 e o chuvoso de 2012. As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia de Água e Alimentos do curso de Medicina Veterinária da Universidade Estadual do Maranhão. Nas análises foi determinado o número mais provável (NMP) de Coliformes termotolerantes das amostras através da técnica convencional dos tubos múltiplos, série de 5 tubos (Apha, 1998).

Para a determinação dos parâmetros físico-químicos (pH, oxigênio dissolvido, temperatura e salinidade) da água da Laguna da Jansen, foram

realizadas quatro coletas de água, sendo duas no período seco de 2011 e duas no período chuvoso de 2012, em cinco pontos – identificados como P1, P2, P3, P4 e P5. Os dados foram cedidos pelo Laboratório de Botânica Aquática da Universidade Federal do Maranhão; os mesmos foram medidos *in situ* com a utilização do aparelho Multiparâmetro HANNA com GPS HI 9828.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos valores dos parâmetros físico-químicos da água da Laguna da Jansen estão representados na Tab. 1.

Tabela 1. Valores dos parâmetros físico-químicos da água da Laguna da Jansen, São Luis, Maranhão, referentes aos períodos seco/2011 e chuvoso/2012

| Pontos | Período seco |      |      |      |      |       |       |       | Período chuvoso |      |       |      |       |       |       |       |
|--------|--------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-----------------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
|        | pH           |      | OD   |      | T    |       | S%    |       | pH              |      | OD    |      | T     |       | S%    |       |
|        | 1ªc          | 2ªc  | 1ªc  | 2ªc  | 1ªc  | 2ªc   | 1ªc   | 2ªc   | 1ªc             | 2ªc  | 1ªc   | 2ªc  | 1ªc   | 2ªc   | 1ªc   | 2ªc   |
| P1     | 9.44         | 8.41 | 5.34 | 6.09 | 28.7 | 26.86 | 27.03 | 36.11 | 8,37            | 9    | 11,83 | 4.62 | 28,09 | 29,21 | 19,76 | 17,06 |
| P2     | 9.60         | 8.75 | 5.91 | 6.08 | 28.9 | 26.70 | 27.07 | 36.51 | 7,70            | 8,94 | 11,05 | 5.6  | 28,17 | 29,42 | 19,20 | 16,81 |
| P3     | 9.22         | 8.70 | 5.32 | 4,78 | 30,7 | 26,55 | 26,10 | 36,40 | 7,71            | 8,84 | 11,83 | 4,38 | 28,22 | 30,24 | 19,78 | 17,05 |
| P4     | 9.35         | 8.95 | 5.26 | 4,5  | 30,6 | 27,05 | 28,60 | 36,49 | 8,37            | 8,75 | 7,49  | 4,98 | 29,45 | 31,45 | 21,12 | 17,28 |
| P5     | 9.90         | 8.61 | 6.03 | 7.01 | 29,3 | 26,41 | 27,03 | 37,05 | 8,32            | 8,69 | 7,89  | 6,82 | 29,01 | 31,08 | 19,44 | 17,22 |

pH: potencial hidrogeniônico; OD: oxigênio dissolvido; T: temperatura; S: salinidade; c: coleta.

A análise de parâmetros físicos e químicos da água constitui importante ferramenta para monitorar a qualidade hídrica do ecossistema aquático (Matsuzaki *et al.*, 2004).

Para corpos aquáticos destinados à proteção das comunidades aquáticas (classe 1), a Resolução do CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) estabelece uma variação do pH entre 6,5 a 8,5, e a quantidade de oxigênio dissolvido não deve ser inferior a 5mg/L. Os resultados mostraram que somente as amostras da primeira coleta do período chuvoso apresentaram os valores de acordo com a resolução, nas demais amostras o pH foi alcalino.

O pH é um fator de grande importância para o ambiente aquático, pois influencia as reações e fenômenos químicos que acontecem na água (Ostrensky e Boeger, 1998). Quando o pH do meio aquático é mais alcalino, ocorre uma maior perda de nitrogênio para o meio (Sipaíba-Tavares, 1994), pois há uma maior transformação do íon amônio (NH<sub>4</sub>) em amônia livre e gasosa (NH<sub>3</sub>), o que pode influenciar no desenvolvimento da biota aquática.

A maioria dos valores de oxigênio dissolvido estava de acordo com os valores determinados pela resolução, somente os pontos P1 a P3 da primeira coleta do período chuvoso apresentaram níveis de supersaturação provavelmente ao aumento da taxa de fotossíntese. Todas as coletas foram realizadas pela manhã, quando a taxa fotossintética é maior; a primeira coleta foi no início do período de chuvas e os pontos referidos ficam próximos de residências e restaurantes. A precipitação possivelmente aumentou a quantidade de matéria orgânica e, consequentemente, a proliferação do fitoplâncton.

A temperatura em ambos os períodos permaneceu estável, em média 26°C a 31°C, visto que no Maranhão não há estações. A porcentagem de salinidade no período de chuva foi bem menor, pois com a precipitação a água torna-se mais diluída.

Os resultados das análises bacteriológicas da água da Laguna da Jansen estão representados na Tab. 2. O NMP de Coliformes termotolerantes variou de 110 a  $\geq 1.600$ /mL, e a maior concentração foi obtida no período chuvoso.

Tabela 2. Número Mais Provável (NMP) de Coliformes termotolerantes por 100 mL das amostras de água da Laguna da Jansen, São Luis, Maranhão, coletadas nos períodos seco/2011 e chuvoso/2012

| Estação         | Amostras | NMP/100mL |
|-----------------|----------|-----------|
| Período seco    | A1       | 500/mL    |
|                 | A2       | 110/mL    |
|                 | A3       | ≥1600/mL  |
| Período chuvoso | A1       | ≥1600/mL  |
|                 | A2       | ≥1600/mL  |
|                 | A3       | 900/mL    |

A crescente urbanização em torno do Parque Ecológico da Laguna da Jansen aumenta o volume de dejetos lançados no curso d'água, e muitas vezes sem tratamento adequado, resultando na elevação do teor de cargas orgânicas e multiplicação de microrganismos (Bastos *et al.*, 2006).

De acordo com a Resolução do CONAMA Nº 357 (Brasil, 2005), em corpos aquáticos de água salobra destinados a proteção das comunidades aquáticas, não deve exceder um limite de 1.000 Coliformes termotolerantes por 100mL em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante um período de um ano.

Das amostras coletadas, somente 50% excederam o limite permitido. Entretanto, os altos índices de contaminação por Coliformes nas amostras do período chuvoso apontam que a água da Laguna da Jansen recebe esgotos direta ou indiretamente, visto que a maioria das bactérias desse grupo habita no trato gastrointestinal de seres humanos e outros animais homeotérmicos, e sua presença na água possui uma relação direta com o grau de contaminação fecal (Brasil, 2006; Funasa, 2009).

A alta concentração de Coliformes termotolerantes no período chuvoso está associada também à grande quantidade de resíduos sólidos na margem e no corpo aquático da laguna, pois aumenta a quantidade de matéria orgânica e consequentemente a carga microbiana.

A espécie *C. undecimalis* apresenta grande abundância em ambiente estuarino, onde se constitui o local ideal para a sua procriação (Rivas, 1986). A estrutura do arco branquial e filamentos branquiais dessa espécie possui o mesmo padrão das brânquias de outros peixes teleosteos. Cada arco branquial tem uma

estrutura cartilaginosa e possui uma fileira dupla de filamentos branquiais que se subdividem em lamelas branquiais, onde ocorre o processo de trocas gasosas (Fig. 1A). Os filamentos branquiais possuem um epitélio estratificado, constituído por diversos tipos de células, como as células de muco e de cloro; já o epitélio de revestimento das lamelas é constituído por uma única camada de células pavimentosas, cuja lâmina basal está apoiada no sistema de células pilares.

Devido ao fato de o epitélio respiratório branquial estar em contato direto com o meio externo e possuir uma grande área de superfície, é altamente susceptível às alterações ambientais (Poleksic e Mitrovic-Tutundzic, 1994).

As lesões observadas nos espécimes de *C. undecimalis* coletados foram: elevação do epitélio lamelar com redução da distância interlamelar e hiperplasia do epitélio filamentar e lamelar, causando fusão total ou parcial das lamelas; alteração da estrutura das lamelas; hiperplasia das células de muco e de cloro; ruptura do epitélio lamelar; espessamento descontrolado do tecido proliferativo filamentar e lamelar e aneurismas de vários tamanhos nas lamelas. Também foi observada a presença de parasito monogenético em alguns exemplares (Fig. 1B – F).

A classificação das alterações quanto ao grau de severidade e comprometimento da função branquial está representada na Tab. 3. O Índice de Alteração Histológica (IAH) por indivíduo variou de 2 a 114, e o valor médio do IAH obtido foi de 40,3, demonstrando que as brânquias dos indivíduos amostrados de camurim apresentaram alterações de moderadas para severas no tecido.

Das alterações de estágio I, o levantamento do epitélio lamelar foi a lesão mais frequente, observada em todas as brânquias analisadas dos camurins amostrados, seguido de fusão completa de várias lamelas com 82% e hiperplasia do epitélio lamelar com 70% (Fig. 2). Essas alterações, consideradas lesões leves, permitem a recuperação da estrutura e da função dos tecidos branquiais em caso de melhoria das condições ambientais. Mas tais alterações podem progredir para o segundo estágio sob condições ambientais inalteradas e exposição dos peixes em longo prazo a poluentes e contaminantes (Poleksic e Mitrovic – Tutundzic, 1994).

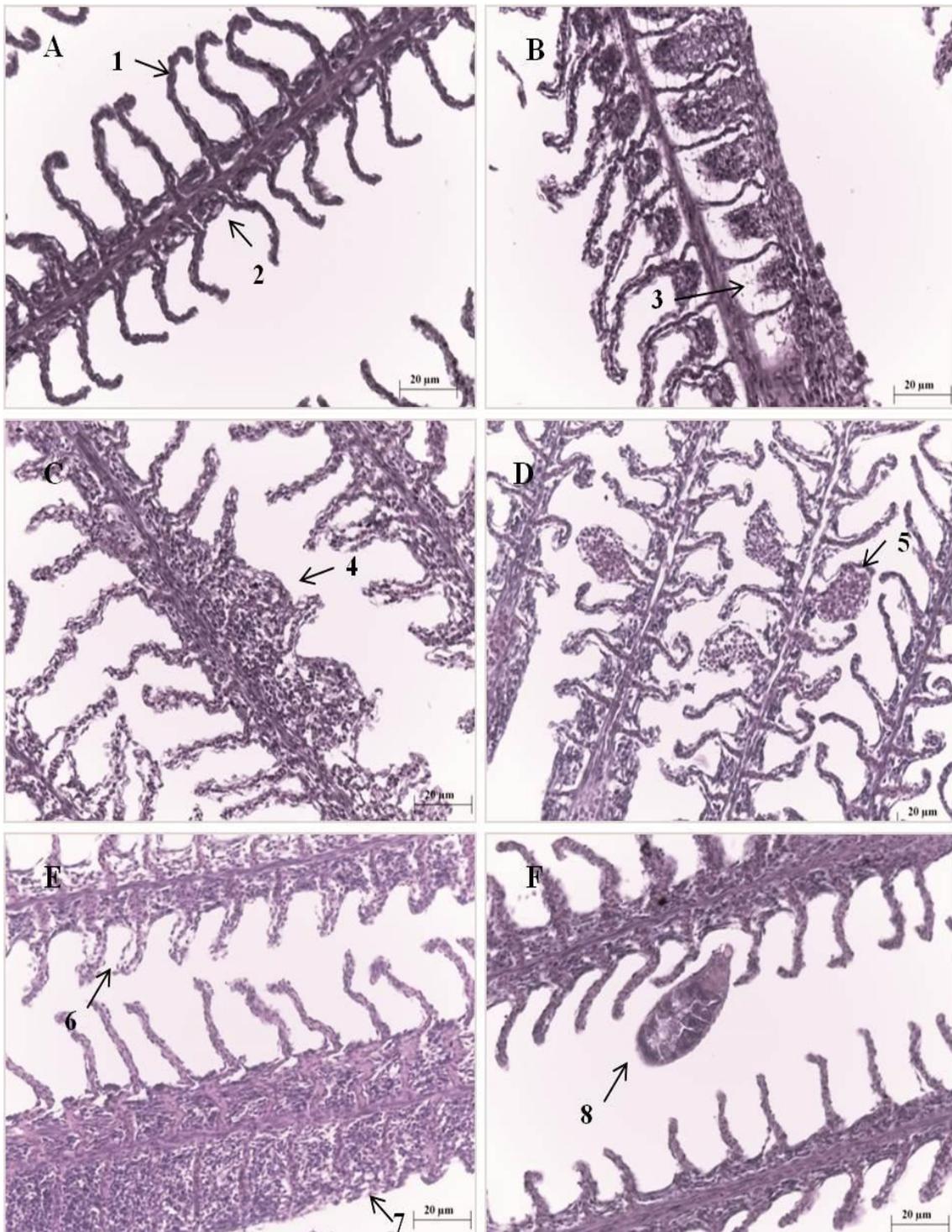


Figura 1. Cortes de filamentos branquiais da espécie *Centropomus undecimalis*. A) Brânquias normais: 1. lamela branquial, 2. filamento branquial. B – F: brânquias com alterações; B) 3. espessamento descontrolado do tecido proliferativo filamental e lamelar; C) 4. hiperplasia do epitélio filamental e lamelar; D) 5. aneurisma lamelar; E) 6. levantamento do epitélio lamelar, 7. fusão total das lamelas; F) 8. parasito. Aumento: 40X. Coloração HE.

Tabela 3. Classificação das alterações histológicas das brânquias de *Centropomus undecimalis*, coletados na Laguna da Jansen, São Luís, Maranhão

| Alterações histológicas branquiais  | Estágio |
|---|---------|
| Hiperplasia do epitélio lamelar<br>Levantamento do epitélio lamelar<br>Desorganização das lamelas<br>Fusão incompleta de várias lamelas<br>Fusão completa de várias lamelas<br>Presença de parasito | I       |
| Ruptura do epitélio lamelar<br>Hiperplasia e hipertrofia das células de muco<br>Espessamento descontrolado do tecido proliferativo filamental e lamelar   | II      |
| Aneurisma lamelar   | III     |

O levantamento do epitélio lamelar é considerado como o primeiro sinal de patologia branquial e caracteriza-se pela elevação de uma lâmina contínua do epitélio de revestimento das lamelas para longe do sistema de células pilares, aumentando assim a distância entre o meio externo e o sangue (Thophon *et al.*, 2003), comprometendo a função respiratória do órgão.

Outra lesão importante e frequente nas brânquias de *C. undecimalis* observados foi a fusão lamelar. A fusão das lamelas é decorrente da hiperplasia das células epiteliais das lamelas e filamentos branquiais. O grau da fusão depende da intensidade e localização da hiperplasia. A fusão será parcial se a hiperplasia se restringir à

base do filamento ou somente a uma porção das lamelas. Porém, se a hiperplasia estiver presente ao longo dos filamentos, a fusão será total (Meletti *et al.*, 2003); tal alteração prejudica a passagem da água entre as lamelas, o que dificulta a função respiratória do órgão.

O levantamento do epitélio lamelar e a proliferação do epitélio filamental e lamelar que resulta em fusão parcial ou total das lamelas, observados nas brânquias de *C. undecimalis* em grande quantidade, são alterações histológicas que funcionam como mecanismos de defesa, pois diminuem a área de superfície das brânquias e aumentam a barreira de difusão ao poluente (Erkmen e Kolankaya, 2000); no entanto, prejudica o processo de trocas gasosas.

Dos peixes coletados, 24% apresentaram alterações parasitárias. Os parasitos podem ser encontrados em todos os órgãos de peixes, entre eles as brânquias, podendo causar danos estruturais graves, como cistos entre as lamelas e inflamação (Schalch *et al.*, 2006; Campos *et al.*, 2011). Segundo Moraes e Martins (2004), infecção em peixes causada por parasitos ocorre devido ao desequilíbrio parasito-hospedeiro-ambiente, geralmente associado a ambiente de baixa qualidade.

Campos *et al.* (2011) também encontraram alterações causadas por parasitos em brânquias de *Piaractus mesopotamicus* e de *Prochilodus lineatus* oriundos do Rio Aquidauana, município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul.

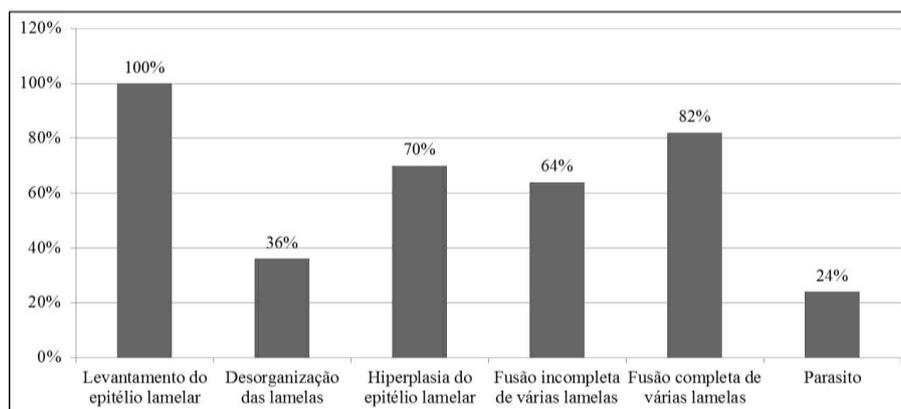


Figura 2. Frequência de alterações histológicas de estágio I encontradas nas brânquias de *Centropomus undecimalis* coletados na Laguna da Jansen, São Luís, Maranhão.

O espessamento do tecido proliferativo filamentar e lamelar foi a alteração de estágio II mais frequente, observada em 45% das brânquias analisadas (Fig. 3). As alterações de estágio II são mais severas e comprometem a função da brânquia; em caso da melhoria da qualidade da água, essas lesões podem ser reparáveis, mas, se o nível de poluição aumentar, podem progredir para o terceiro estágio (Poleksic e Mitrovic – Tutundzic, 1994).

O espessamento do epitélio filamentar e lamelar ocorre devido à proliferação de células de cloro e de células indiferenciadas (Dang *et al.*, 1999). As células de cloro desempenham papel crucial na regulação do equilíbrio ácido-base e na osmorregulação dos peixes teleósteos (Evans *et al.*, 1999); provavelmente essa lesão é uma resposta adaptativa dos indivíduos para aprimorar essas funções branquiais.

As lamelas branquiais dos espécimes de *C. undecimalis* coletados também apresentaram alterações vasculares, como aneurisma, única alteração de estágio III encontrada, com frequência de 30%. As alterações de estágio III não permitem a restauração da estrutura branquial, mesmo em caso de melhoria da qualidade da água.

O aneurisma geralmente resulta do colapso do sistema de células pilares, que prejudica a integridade vascular com a liberação de grande quantidade de sangue, empurrando o epitélio lamelar para fora (Hinton e Laurén, 1990), o que pode causar a ruptura do epitélio e consequentemente hemorragia. Essa alteração vascular pode estar associada a contaminantes químicos, lesões parasitárias ou resíduos metabólicos. Resultados similares foram obtidos por Stentiford *et al.* (2003) em espécimes capturados em áreas contaminadas.

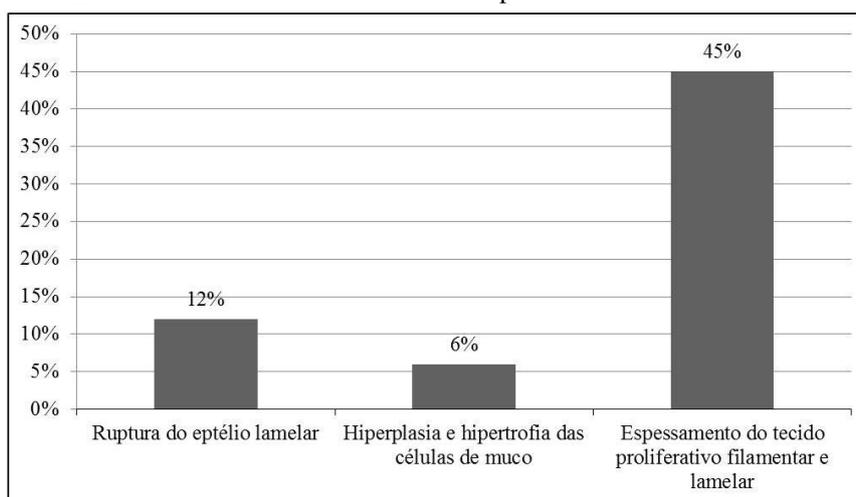


Figura 3. Frequência de alterações histológicas de estágio II encontradas nas brânquias de *Centropomus undecimalis* coletados na Laguna da Jansen, São Luis, Maranhão.

Winkaler *et al.* (2001) observaram várias das alterações encontradas neste trabalho, como aneurisma lamelar e elevação do epitélio lamelar, em brânquias de lambari (*Astyanax jacuhiensis*) provenientes de córregos poluídos por esgoto doméstico em Londrina, Estado do Paraná.

Meletti *et al.* (2003) também encontraram a maioria das alterações em brânquias de *Serrapinnus notomelas* e *Danio rerio*. Os autores utilizaram as alterações histológicas em

brânquias, fígado e rim como ferramenta na avaliação da degradação ambiental na bacia do rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo.

As lesões observadas no tecido branquial de *C. undecimalis*, por prejudicarem o fluxo sanguíneo e aumentar a distância entre a água e o sangue, comprometem a função primordial das brânquias – o processo de trocas gasosas –, além de prejudicar a manutenção do equilíbrio ácido-base e osmótico do animal.

## CONCLUSÃO

A maioria dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos estava de acordo com os valores estabelecidos pela resolução do CONAMA nº357. No entanto, as altas concentrações de coliformes termotolerantes nas amostras de água do período chuvoso indicam que a água da Laguna da Jansen recebe esgotos direta ou indiretamente. As alterações histológicas encontradas nas brânquias da espécie *C. undecimalis* foram classificadas de moderadas para severas, podendo ser reversíveis se houver melhoria nas condições ambientais do Parque Ecológico da Laguna da Jansen. As alterações histológicas observadas indicam ainda que os peixes coletados desenvolveram mecanismos de defesa contra a ação de estressores presentes na água da laguna e a um provável desequilíbrio parasito-hospedeiro-ambiente.

## REFERÊNCIAS

- APHA – American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC: APHA, 1998.
- ARAÚJO, E.J.; MORAIS, J.O.R.; SOUZA, P.R.; SABOIA-MORAIS, S.M.T. Efeito de poluentes químicos cumulativos e mutagênicos durante o desenvolvimento ontogenético de *Poecilia vivipara* (Cyprinodontiformes, Poeciliidae). *Acta Scientiarum*, v.23, p.391-399, 2001.
- BASTOS, I.C.O.; LOVO, I.C.; ESTANISLAU, C.A.M.; SCOSS, L.M. Utilização de bioindicadores em diferentes hidrossistemas de uma indústria de papéis reciclados em Governador Valadares-MG. *Eng. Sanit. Amb.*, v.11, p.203- 211, 2006.
- BATISTA-NETO, J.A.; WALLNER-KERSANACH, M.; PATCHINEELAM, S.M. (Ed.). *Poluição Marinha*. Rio de Janeiro: EDITORA INTERCIÊNCIA, 2008. p.20.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília: DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2006.
- BUSS, D.F.; BAPTISTA, D.F.; NESSIMIAN, J.L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. *Cad. de Saúde Pub.*, v.19, p.465-473, 2003.
- CAMPOS, C.M.; MORAES, J.R.E.; MORAES, F.R. Histopathology of gills of *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) and *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) infested by monogenean and myxosporea, caught in Aquidauana River, State of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.*, v.20, p.67-70, 2011.
- DANG, Z.; LOCK, R.; FLIK, G. Metallothionein response in gills of *Oreochromis mossambicus* exposed to copper in fresh water. *Am. J. Physiol.*, v.277, p.320-331, 1999.
- ERKMEN, B.; KOLANKAYA, D. Effects of water quality on epithelial morphology in the gill of Capoeta tinca living in two tributaries of Kizilirmak River, Turkey. *Bull. of Environm. Contam. and Toxicol.*, v.64, p.418-425, 2000.
- EVANS, D.H.; PIERMARINI, P.M.; POTTS, W.T.W. Ionic transport in the fish gill epithelium. *J. Experimental Zool.*, v.238, p.641-652, 1999.
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. *Manual prático de análise de água*. 3.Ed. Brasília: FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2009.145p.
- GARCIA-SANTOS, S.; MONTEIRO, S.M.; CARROLA, J.; FONTAINHAS-FERNANDES, A. Alterações em brânquias de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* causadas pelo cádmio. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.59, p.376-381, 2007.
- HINTON, D.E.; LAUREN, D.J. *Integrative histopathological approaches to detecting effects of environmental stressors on fishes*. In: S. M. ADAMS (Ed) *Biological Indicators of Stress in Fish*. Bethesda, Maryland: AMERICAN FISHERIES SOCIETY SYMPOSIUM, 1990. p.51-66.
- JESUS, T.B.; CARVALHO, C.E.V. Utilização de biomarcadores em peixes como ferramenta para avaliação de contaminação ambiental por mercúrio. *Oecol. Bras.*, v.12, p.680-693, 2008.

- LUNA, L.G. *Manual of histologic staining methods of the Armed Forces Institute of Pathology*. 3.Ed. New York: MC GRAW-HILL BOOK COMPANY, 1968. 258p.
- MATSUZAKI, M.; MUCCI, J.L.N.; ROCHA, A.A. Comunidade fitoplanctônica de um pesqueiro na cidade de São Paulo. *Saúde Públ.*, v.38, p.679- 686, 2004.
- MELETTI, P.C.; ROCHA, O.; MARTINEZ, C.B.R. Avaliação da degradação ambiental na bacia do rio Mogi-Guaçu por meio de testes de toxicidade com sedimento e de análises histopatológicas em peixes. In: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E.L.G. (Ed.). *Limnologia Fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu*. São Paulo: SÃO CARLOS, 2003. p.149-180.
- MORAES, F.R.; MARTINS, M.L. Condições pré-disponentes e principais enfermidades de teleósteos em piscicultura intensiva. In: CYRINO, J.E.P. (Ed.). *Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva*. São Paulo: TEC ART, 2004. p.343-386.
- NOGUEIRA, D.J.; CASTRO, S.C; SÁ, O.R. Avaliação da qualidade da água no reservatório UHE Furnas - MG, utilizando as brânquias de *Pimelodus maculatus* (LACÈPÈDE, 1803) como biomarcador de poluição ambiental. *Cienc. Praxis*, v.1, p.15-20, 2008.
- OSTRENSKY, A.; BOEGER, W. *Piscicultura: fundamentos e técnicas de manejo*. Guaíba: AGROPECUÁRIA, 1998. 211p.
- POLEKSIC, V.; MITROVIC-TUTUNDZIC, V. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution. In: MULLER, R.; LLOYD, R. (Ed.). *Sublethal and chronic effects of pollutants on freshwater fish*. Oxford: FISHING NEWS BOOKS, 1994. p.339-352.
- RIVAS, L.R. Systematic review of the genus *Centropomus* commonly known as snook. *Quat. j. of the Florida Acad. of Scie.*, v.25, p.53-64, 1986.
- SCHALCH, S.H.C.; MORAES, F.R.; MORAES, J.R.E. Efeitos do parasitismo sobre a estrutura branquial de *Leporinus macrocephalus* GARAVELLO E BRITSK, 1988 (Anastomidae) e *Piaractus mesopotamicus* HOLMBERG, 1987 (Osteichthyes: Characidae). *Rev. Bras. de Parasitol. Vet.*, v.15, p.110-115, 2006.
- SIPAÚBA-TAVARES, L.H. *Limnologia aplicada à aquicultura*. São Paulo: FUNEP, 1994. 72p.
- STENTIFORD, G.D.; LONGSHAW, M.; LYONS, B.P. *et al.* Histopathological biomarkers in estuarine fish species for the assessment of biological effects of contaminants. *Marine Environm. Resea.*, v.55, p.137-159, 2003.
- TEH, S.J.; ADAMS, S.M.; HINTON, D.E. Histopathologic biomarkers in feral freshwater fish populations exposed to different types of contaminant stress. *Aquatic Toxicol.*, v.37, p.51-70, 1997.
- THOPHON, S.; KRUAETRACHUE, M.; UPATHAM, E.S. *et al.* Histological alterations of white seabass, *Lates calcarifer*, in acute and subchronic cadmium exposure. *Environm. Pollut.*, v.121, p.307-320, 2003.
- WINKALER, E.U.; SILVA, A.G.; GALINDO, H.C.; MARTINEZ, C.B.R. Biomarcadores histológicos e fisiológicos para o monitoramento da saúde de peixes de ribeirões de Londrina, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum*, v.23, p.507-514, 2001.