

# HISTOPATOLOGIA DE BRÂNQUIAS E FÍGADO DE TILÁPIAS *Oreochromis niloticus*, PROVENIENTES DE UM CANAL URBANO DE BELÉM

Yasmin Santana Lima<sup>1</sup>  
Renata Silva de Oliveira<sup>2</sup>  
Maria Helena Cruz de Carvalho<sup>3</sup>  
Antônio Elivelton Paiva de Oliveira<sup>4</sup>  
Juan Caldas Caldas<sup>5</sup>  
Roberto Vilhena do Espírito Santo<sup>6</sup>

## RESUMO

A poluição dos canais e córregos de Belém, resultado das intensas atividades antrópicas nas áreas urbanas, tem gerado graves impactos nos ecossistemas aquáticos da região. O lançamento descontrolado de efluentes industriais e domésticos nesses corpos d'água não apenas afeta a biota aquática e as assembleias de peixes, como também representa um risco crescente à saúde pública. Nesse contexto, o uso de peixes como organismos bioindicadores tem se mostrado uma ferramenta valiosa para avaliar a qualidade ambiental desses ecossistemas. Diante disso, este estudo tem por objetivo avaliar de saúde de tilápias *Oreochromis niloticus*, baseada em análises histopatológicas em um canal urbanos de Belém. Para isso os peixes foram imediatamente anestesiados e posteriormente submetidos a biometria, seguida de eutanásia para a obtenção de tecidos-alvo do estudo e realização das análises morfométricas da espécie para avaliar a ocorrência ou não de danos teciduais. Ainda avaliamos a qualidade da água onde esses peixes estão inseridos. A análise histopatológica das brânquias e parênquima hepático de tilápias coletadas em um canal de Belém revelou alterações significativas e essas alterações morfológicas são indicativas de estresse ambiental, possivelmente causado pela presença de poluentes na água. Esses resultados destacam a necessidade de medidas de gestão ambiental e controle da poluição para preservar a integridade ecológica desses ecossistemas e mitigar os riscos associados à poluição hídrica.

**Palavras-chave:** Ecossistemas aquáticos, peixe, atividade antropogênica, água.

## HISTOPATHOLOGY OF GILLS AND LIVER OF TILAPIA *Oreochromis niloticus*, FROM AN URBAN CHANNEL OF BELÉM

### ABSTRACT

The pollution of canals and streams in Belém, driven by intense anthropogenic activities in urban areas, has caused severe impacts on the region's aquatic ecosystems. The uncontrolled discharge of industrial and domestic effluents into these water bodies not only affects aquatic biota and fish assemblages but also poses a growing public health risk. In this context, the use of fish as bioindicator organisms has proven to be a valuable tool for assessing the environmental quality of these ecosystems. This study aimed to evaluate the health of *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia) through histopathological analyses in an urban canal in Belém. To achieve this, the fish were immediately anesthetized and subsequently subjected to biometrics, followed by euthanasia to collect target tissues for the study. Morphometric analyses were performed to assess the presence or absence of tissue damage. Additionally, water quality in the habitat of these fish was analyzed. The histopathological examination of the gills and hepatic parenchyma of tilapia collected from a canal in Belém revealed significant alterations. These morphological changes indicate environmental stress, likely caused by the presence of pollutants in the water. These findings underscore the urgent need for environmental management measures and pollution control to preserve the ecological integrity of these ecosystems and mitigate the risks associated with water pollution.

**Key-words:** Aquatic Ecosystems, fish, anthropogenic activities, water.

Recebido em 22 de abril de 2025. Aprovado em 02 de maio de 2025

<sup>1</sup> Graduada em Licenciatura em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil. yasminsantana455@gmail.com

<sup>2</sup> Doutorado em Ciência Animal pela Universidade Federal do Pará, Brasil. Professora da Secretaria de Educação, Pará, Brasil. renataoliveira58@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Graduada em Licenciatura em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil. mariacarvalhobio49@gmail.com

<sup>4</sup> Doutorando em Ecologia pela Universidade Federal do Pará, Brasil elivelton99oliveira@gmail.com

<sup>5</sup> Graduando em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Pará, Brasil. juan.caldas@icb.ufpa.br

<sup>6</sup> Doutorado em Ecologia Aquática e Pesca pela Universidade Federal do Pará, Brasil. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil. roberto.vilhena@ifpa.edu.br

## 1 INTRODUÇÃO

A água é considerada um recurso natural limitado, vital para os organismos vivos, além de exercer influência direta sobre a economia, lazer, cultura e meio social (Almeida & Souza, 2019). Contudo, esse conceito de recurso ilimitado tem sido amplamente desmistificado nas últimas décadas, à medida que os impactos da mudança climática, a urbanização descontrolada e o crescimento populacional evidenciam a vulnerabilidade dos recursos hídricos globais. Embora a água cubra cerca de 71% da superfície terrestre, a maior parte desse recurso não está diretamente disponível para o consumo humano (Du Plessis, 2023).

Belém está localizada na região Amazônica, onde a abundância de recursos hídricos contrasta com os desafios impostos pelo crescimento urbano desordenado e a falta de infraestrutura adequada. A população estimada para o Estado do Pará é cerca de 8.690.745 habitantes e apenas 5.9% da população total tem atendimento com rede de esgoto (IBGE, 2018).

A cidade de Belém é atravessada por inúmeros igarapés (pequenos cursos d'água) e circundada por rios de grande porte, como o Guamá e o Pará. Além disso, abriga diversos canais que, historicamente, têm desempenhado um papel crucial na interação entre a população e os corpos hídricos. No entanto, o avanço do processo de urbanização tem provocado a degradação significativa desses ecossistemas, especialmente nas áreas próximas a córregos e canais, onde o despejo de esgoto doméstico e industrial sem tratamento é uma prática recorrente (Caldeira & Lima, 2020).

A implantação de sistemas de macrodrenagem em vários bairros da capital paraense resultou em profundas modificações no solo natural. A substituição dessas áreas por superfícies impermeabilizadas, como asfalto e concreto, reduziu drasticamente a capacidade de infiltração da água da chuva, afetando as dinâmicas naturais dos rios e contribuindo para a intensificação das cheias, o que tem causado sérios impactos à população. Esse cenário é agravado pela poluição hídrica decorrente do despejo irregular de esgoto doméstico nas redes de drenagem pluvial, consequência da ausência de um sistema eficiente de esgotamento sanitário — uma realidade comum em muitas grandes cidades da Amazônia (Paiva et al., 2004).

Belém figura entre as cidades brasileiras com os piores índices de saneamento básico: apenas 15,91% da população urbana possui acesso à coleta de esgoto, e desse total, somente 2,82% recebe tratamento adequado (Trata Brasil, 2021). Essa deficiência estrutural favorece o lançamento de esgoto in natura nos rios, promovendo a poluição e a contaminação dos corpos hídricos, principalmente por efluentes domésticos (Novaes & Silva, 2016). Tais efluentes comprometem a qualidade da água, tornando-a prejudicial à saúde humana, aos organismos aquáticos e ao meio ambiente como um todo. A pressão contínua sobre esses sistemas aquáticos acaba por afetar diretamente as comunidades biológicas que deles dependem (Kumar et al., 2020).

Entre os organismos encontrados os peixes destacam-se por serem submetidos a uma ampla gama de doenças sob o efeito de agentes exógenos (parasitas) e endógenos (doenças degenerativas), causando alta mortalidade de espécies. Além disso, mesmo peixes com aparência saudáveis podem carregar muitos parasitas que têm causado zoonoses em diversas regiões do mundo (Ramachandra et al., 2016). Além disso, os peixes são afetados por vários estressores que incluem poluentes químicos, nutrientes, pH, oxigênio dissolvido, perturbação nos regimes de luz, temperatura e outras variáveis físicas e químicas significativamente alteradas por atividades antropogênicas (Birk et al., 2020).

Em meio a essas condições os principais órgãos afetados são as brânquias e fígado. As brânquias dos peixes desempenham múltiplas funções essenciais, incluindo respiração, equilíbrio ácido-base, osmorregulação e excreção nitrogenada (Dolenec & Kužir, 2009). Embora a sua anatomia varie entre as espécies, as células que compõem sua estrutura são bastante semelhantes (Evans, Piermarini, & Choe, 2005). Além disso, as brânquias são a principal via de absorção de poluentes aquáticos. Por essa razão, a análise de sua morfologia pode atuar como um bioindicador eficaz na avaliação ambiental (Hossain et al., 2022).

Por outro lado, o fígado é um dos órgãos mais importantes no organismo dos peixes, desempenhando funções essenciais no metabolismo, além de atuar na acumulação, transformação e excreção de substâncias tóxicas (Suchana et al., 2022). Esse órgão é altamente suscetível a danos provocados por toxinas, com respostas que variam conforme o tipo e a intensidade da exposição. Por sua função central na desintoxicação, o fígado tem um papel crucial na remoção de compostos químicos nocivos da circulação sanguínea. Assim, a análise histológica deste órgão é uma ferramenta valiosa para avaliar os impactos de agentes tóxicos. Adicionalmente, estudos histopatológicos têm demonstrado grande eficácia em identificar os efeitos de substâncias químicas no órgão-alvo de organismos aquáticos (Barhoumi et al., 2012).

Entre as espécies encontradas na região amazônica as tilápias ganham destaque. As tilápias são peixes africanos de água doce pertencentes à família Cichlidae (McAmdrew & Beveridge, 2000), uma das espécies de peixes mais importantes e apreciadas do mundo como fonte de alimento (Gebremedhn & Tsegay, 2017). *Oreochromis niloticus* é um peixe nativo do Nilo, que se estabeleceu no Brasil e tem sido um alimento básico da culinária. Além disso, apresenta importância econômica e representa uma alta porcentagem de produção, uma vez que apresenta baixo custo e sabor moderado. A tilápia do Nilo foi introduzida no Brasil em 1971 (Froese, 2010), com o objetivo de erradicar a fome na região nordeste do país (Bittencourt et al., 2014). Contudo, a espécie passou a representar 61% da aquicultura total de água doce no Brasil (FAO, 2021).

O sucesso na produção também deu lugar ao alto potencial de invasão de tilápias em comunidades nativas, associado principalmente às suas características vantajosas de história de vida. Muitas espécies apresentam como tática reprodutiva, a maturação precoce de acordo com as condições ambientais e exibem um extenso período de cuidado parental, que ocorre até que a prole se torne independente e mais resistente à predação (Lowe-McConnell, 2006). Além disso, muitas espécies de tilápias geralmente apresentam hábitos onívoros e alta plasticidade fisiológica (Martin et al., 2010), que são atributos desejáveis para povoar novos ambientes. A sua ancestralidade marinha, lhes confere tolerância à salinidade, às condições ambientais adversas (poluídas), e mostra pouca suscetibilidade a doenças (Raatz & Bibus, 2016).

Embora as tilápias apresentem relativa resistência a doenças, peixes de água doce podem atuar como hospedeiros de uma ampla variedade de parasitas, tanto oportunistas quanto obrigatórios (Ito, 2017; Chikwendu Ejere et al., 2014). Esses parasitas estão presentes em ambientes naturais e em sistemas de criação em cativeiro (Fahmy et al., 2021), e sua presença pode desencadear diversas alterações teciduais nos hospedeiros. Tais alterações incluem hiperplasia epitelial, necrose, inflamações crônicas e degradação de estruturas teciduais essenciais, como brânquias, fígado e trato gastrointestinal. Essas modificações comprometem a fisiologia dos peixes, enfraquecem seu sistema imunológico e os tornam mais suscetíveis a infecções secundárias (Ito & Ekwunyenga, 2024). Além disso, alguns parasitas podem representar risco à saúde humana, uma vez que o consumo de peixes infectados pode levar à zoonoses (Garedaghi & Pal, 2021).

A poluição do meio aquático é um fator importante que afeta os fatores físicos e químicos da água bem como o substrato, gerando impactos na abundância, disponibilidade e distribuição de organismos aquáticos. Estudos relatam que a qualidade da água afeta o comprimento e massa dos peixes e os fatores de condição, o que poderá gerar anormalidades corporais graves e aumento na taxa de mortalidade nas populações, além da prevalência de parasitas (Acosta-Pérez et al., 2022). Apesar da ocorrência de deterioração da qualidade da água em corpos hídricos de Belém, nenhum estudo documentou seus efeitos na relação da saúde das tilápias. Essa lacuna ressalta a necessidade de avaliar o efeito dos parâmetros de qualidade da água e índices morfométricos nos peixes provenientes de um canal urbano de Belém. Dessa forma, este estudo tem como objetivo avaliar a saúde de tilápias *Oreochromis niloticus* por meio da detecção, caracterização, quantificação e classificação de alterações histopatológicas no fígado e nas brânquias, incluindo a análise da prevalência e gravidade dessas alterações.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no período de agosto de 2024, no Canal da Visconde de Inhaúma (Figura 1), localizado no bairro da Pedreira e é componente da bacia hidrográfica do Una, em Belém (PA), a maior bacia urbana do estado.



**Figura 1:** Localização do ponto de amostragem. Fonte: Arquivo pessoal.

A área é marcada por ocupação intensa nas margens e sofre fortes impactos antrópicos, como o descarte de resíduos sólidos e esgoto doméstico sem tratamento (Figura 2). A impermeabilização do solo contribui para o escoamento rápido das águas pluviais, aumentando o carreamento de poluentes para os canais (Paiva et al., 2004). Apesar da importância ecológica e urbana, a região ainda carece de dados sobre suas condições ambientais e a fauna aquática.



**Figura 2:** Canal da Visconde Inhauma, Pedreira, Belém-PA. Fonte: Arquivo pessoal.

## 2.2 Análise de qualidade da água

As análises de qualidade da água foram realizadas no ponto de amostragem utilizando a sonda multiparamétrica Akso AK88. Os parâmetros obtidos foram: temperatura de 28,3°C, pH de 7,5, oxigênio dissolvido de 27,46% e condutividade elétrica de 796,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

## 2.3 Obtenção e análise das amostras

A partir da coleta, foram obtidos 20 espécimes, com auxílio de uma tarrafa e acondicionados em caixas isotérmicas contendo água do local. Posteriormente, foram conduzidos ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Belém, onde foram submetidos a biometria e imediatamente anestesiados e posteriormente eutanasiados para a obtenção de tecidos-alvo do estudo. Para isso, foram realizadas incisões ventrais para a retirada de brânquias, fígado e gônadas. Posteriormente, fragmentos dos tecidos foram fixados em solução de Bouin e processados pela técnica histológica de rotina para inclusão em parafina (Prophet et al., 1995). Secções de 5 $\mu\text{m}$  foram obtidas em micrótomo e corados em Hematoxilina & Eosina para caracterizar o sexo, fase de maturação gonadal e avaliar a possível ocorrência de danos nos tecidos alvo. A análise foi realizada com auxílio de um fotomicroscópio modelo Eclipse Ci-S (NIKON, Japan) acoplado a uma câmera digital DS-Ri1 (NIKON, Japan).

## 2.4 Análises histopatológicas

As análises histopatológicas serão avaliadas semiquantitativamente com base na proposta de Bernet et al., (1999) e Poleksić e Mitrović-Tutundžić (1994), em que um índice de alteração histológica (IAH) é calculado para cada amostra de acordo com diferentes tipos de alterações teciduais. As alterações serão agrupadas em três estágios de acordo com o grau de deterioração do tecido: I (não afeta o funcionamento do órgão), II (grave, afeta funções normais do corpo) e III (muito grave e irreversível). As alterações nas brânquias e no fígado serão classificadas em três estágios: I: brânquias (hipertrofia do epitélio; elevação epitelial; fusão incompleta de diversas lamelas); fígado (hipertrofia de hepatócitos, congestão de vasos e degeneração de hepatócitos). Estágio II: brânquias (fusão lamelar); fígado (degeneração, centros melanomacrófagos e esteatose hepática). Estágio III: brânquia e fígado (necrose focal).

O índice de alteração histológica (HAI) será calculado para cada indivíduo ( $IHA = 10 \cdot \Sigma I + 100 \cdot \Sigma II + 1000 \cdot \Sigma III$ ) onde I, II e III correspondem ao número do estágio da alteração tecidual. Valores de IHA: I (índice  $\leq 10$ ) representou estrutura normal do órgão com leves alterações histológicas; a classe II (índice 11–20) representou estrutura normal do órgão com alterações histológicas moderadas; a classe III (índice 21–30) representou modificações moderadas da estrutura normal; a classe IV (índice 31–40) representou alterações histológicas pronunciadas do órgão; a classe V (índice  $> 40$ ) representou alterações histológicas graves do órgão (Zimmerli et al., 2007).

A prevalência de cada alteração histopatológica, definida como a porcentagem de peixes exibindo aquela alteração específica, foi então determinada. A prevalência de cada alteração histopatológica ( $P$ ) foi expressa por:  $P (\%) = \frac{\text{número de peixes com a alteração } x}{\text{número total de peixes}} * 100$ .

Os diâmetros dos hepatócitos, diâmetro dos núcleos dos hepatócitos e volume do citoplasma dos hepatócitos foram testados quanto as premissas estatísticas de normalidade e homoscedasticidade utilizando os testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Para verificar possíveis diferenças nos valores de diâmetros foi utilizado o teste U de Mann-Whitney (não paramétrico), adotando-se um nível de significância de 5%.

## 2.5 Relação massa comprimento

A relação massa corporal-comprimento foi determinada separadamente, usando uma equação adaptada daquela proposta por Huxley (1925):

BM= massa corporal;  $a$ = coeficiente de proporcionalidade; TL= comprimento total;  $b$  = coeficiente alométrico.

Os resíduos proporcionais foram plotados contra o Cp para verificar possíveis diferenças nos padrões de crescimento dos machos e fêmeas. Os coeficientes foram estimados por regressão linear seguindo a transformação logarítmica dos dados de massa corporal (LogBM) e comprimento (LogTL). Uma Análise de Variância (ANOVA) unidirecional com teste *post hoc* de Tukey foi usada para determinar se a massa corporal e o comprimento total dos machos e fêmeas variaram.

## 2.6 Fator de condição relativo

O fator de condição relativo (K) foi estimado separadamente para cada sexo em cada estação dos dois períodos, com base no modelo proposto por Le Cren (1951), ou seja,

$$K = \frac{BM}{TL^b}$$

onde  $b$  = coeficiente de alometria, conforme calculado acima.

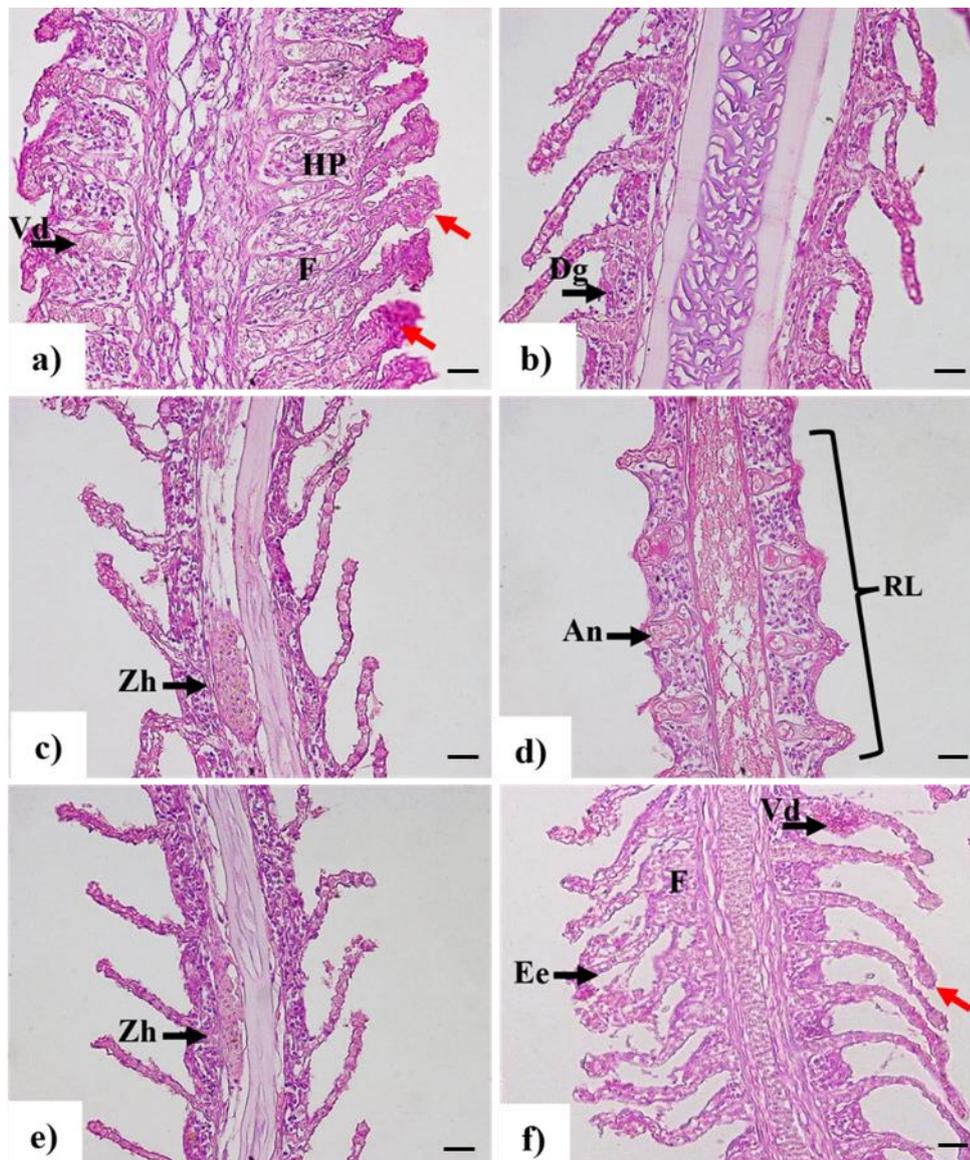
Todas as análises do presente estudo foram realizadas com auxílio do Excel, utilizando o pacote solver e do software de livre acesso R Core Team (2022), versão 4.2.2, utilizando os pacotes Car (Fox e Weisberg, 2019), Vegan (Oksanen et al., 2022) e ggplot2 (Wickham, 2016).

## 2.7 Índice Hepatosomático

Para a avaliação do Índice Hepatosomático (IHS), foram analisados 20 espécimes de tilápia. A massa do fígado de cada indivíduo foi mensurada, e os órgãos foram pesados para o cálculo do índice, utilizando a fórmula:  $IHS = (\text{peso do fígado} / \text{peso total do peixe}) \times 100$ .

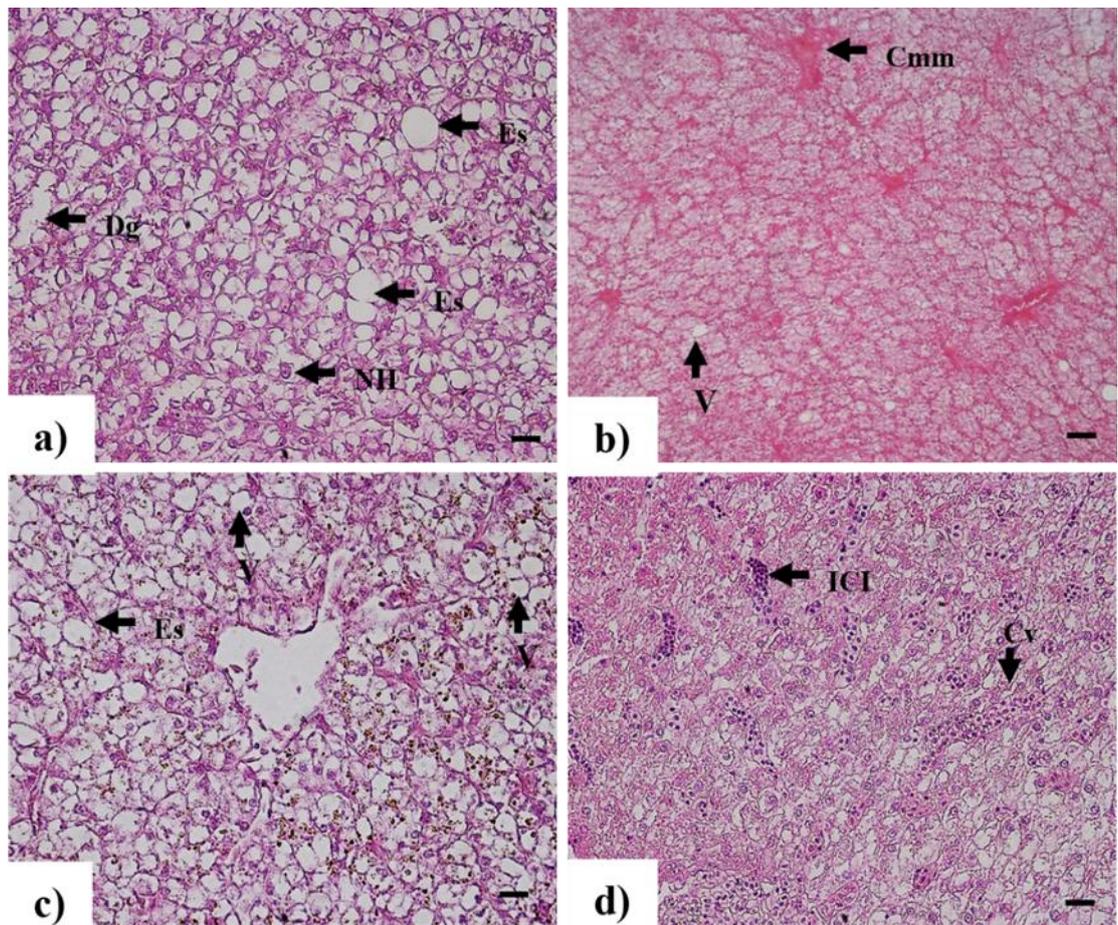
## 3 RESULTADOS

Neste estudo, foram analisadas as brânquias de 20 tilápias coletadas de um canal urbano, sendo 10 machos (comprimento médio de  $29,6 \pm 4,05$  cm e massa média de  $391 \pm 129,15$  g) e 10 fêmeas (comprimento médio de  $31,3 \pm 2,68$  cm e massa média de  $442 \pm 112,98$  g). O sexo foi determinado por análise histológica das gônadas, revelando indivíduos em fase avançada de maturação. A avaliação histopatológica das brânquias identificou alterações nos filamentos primários e lamelas secundárias. Dentre as principais alterações, destacaram-se a vasodilatação (Vd), hipertrofia do epitélio branquial e fusão lamelar (Fig. 1 a-f). Também foram observadas áreas de degeneração tecidual (Dg), zonas hemorrágicas (Zh), aneurismas e redução lamelar.



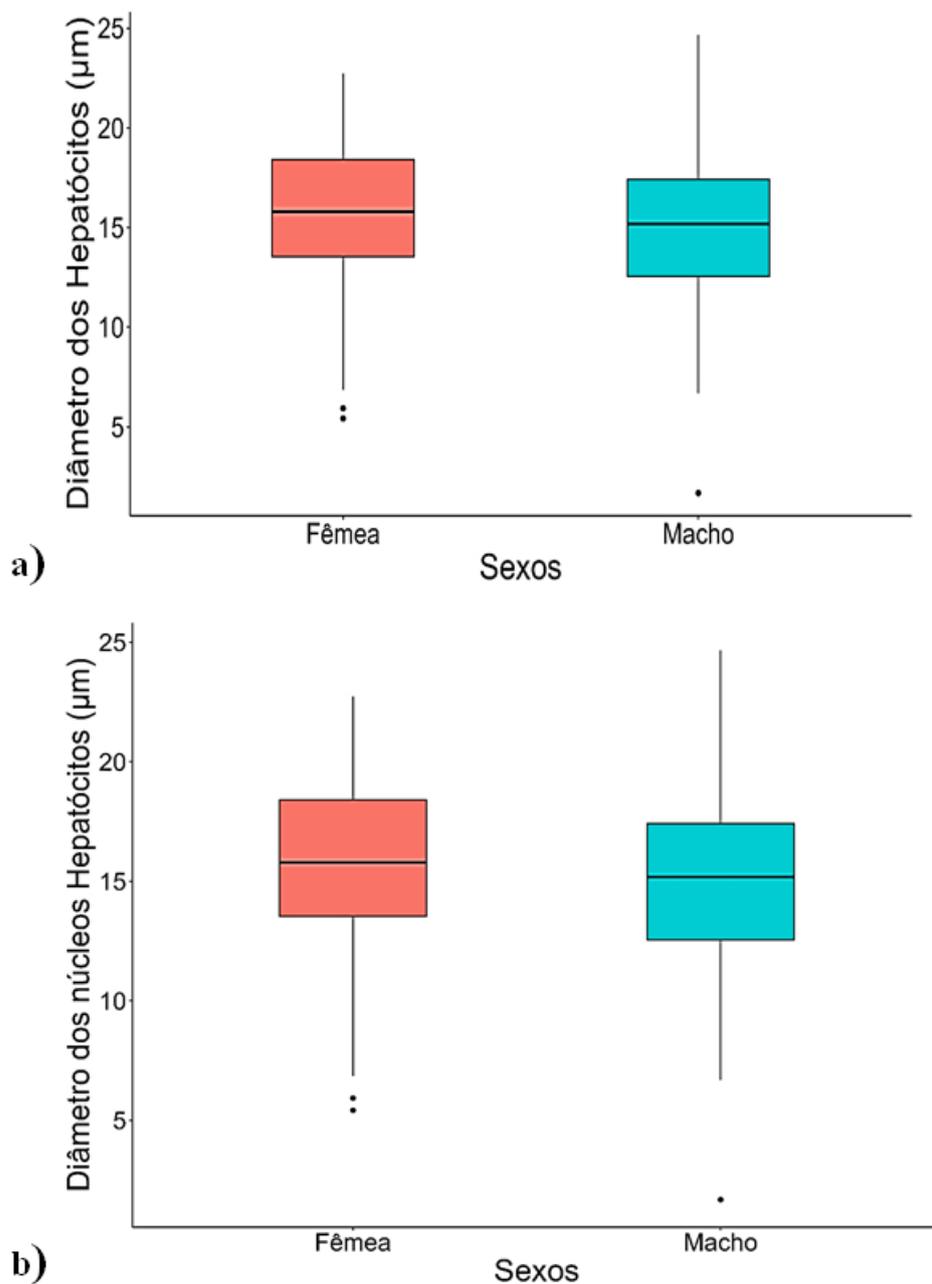
**Figura 3.** Alterações observadas no epitélio branquial: **(a)** hipertrofia do epitélio (HP); fusão lamelar (F); telangiectasia (seta vermelha) e vasodilatação (Vd); **(b)** degeneração (Dg); **(c)** zona hemorrágica (Zr); **(d)** aneurisma (An) e redução lamelar (RL); **(e)** zona hemorrágica inicial (Zh); **(f)** vasodilatação inicial; **(f)** elevação do epitélio (Ee). Objetiva de 40x.

A avaliação histopatológica hepática da tilápia evidenciou que o fígado é dividido em dois lobos, com hepatócitos dispostos histologicamente em cordões celulares. O parênquima hepático apresentou leve degeneração de hepatócitos (Dg) em função dos vacúolos que empurram os núcleos e o material citoplasmático para a periferia da célula, próximo aos vasos sinusoidais. A vacuolização (V), observada foi caracterizada por vacúolos de glicogênio e lipídios, juntamente com a ocorrência de esteatose hepática. A congestão nos vasos hepáticos (Cv), ocorreu nas veias porta e sinusóides. Os centros de melanomacrófagos (Cmm), também conhecidos como agregados de macrófagos, ocorreram perto dos vasos sanguíneos. Além disso, foram observadas infiltrações de células do sistema imunológico e alterações nucleares (Fig. 2 a-d).



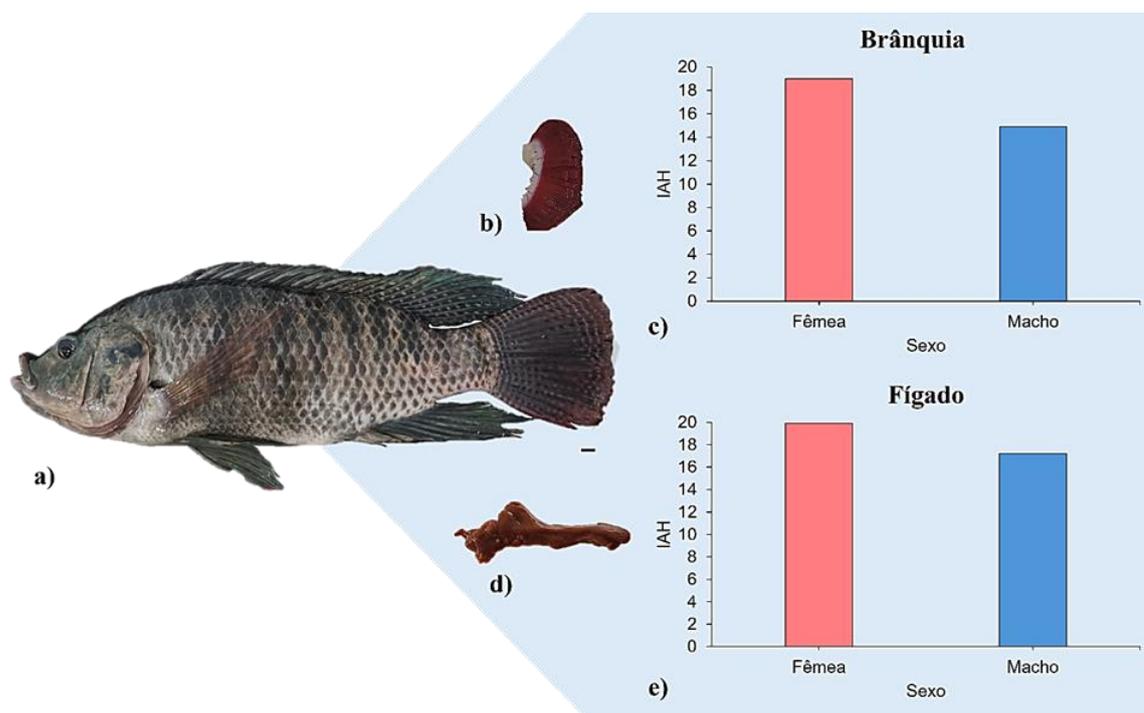
**Figura 4.** Parênquima hepático contendo alterações: **a)** degeneração de hepatócitos (Dg), esteatose (Es) e núcleo hipertrófico (NH); **b)** centro de melanomacrófagos (Cmm) e vacuolização (V); **c)** intensa vacuolização (V) e esteatose moderada (Es); **d)** infiltração de células do sistema imunológico (ICI) e congestão de vasos (Cv). Objetiva de 40x.

A análise morfométrica evidenciou diferenças nos diâmetros dos hepatócitos (Fig. 3a) entre fêmeas e machos ( $W_{(1,2023)}= 585, p<0.05$ ), onde os maiores diâmetros foram observados nos hepatócitos de fêmeas. Ainda foi possível evidenciar diferenças nos diâmetros dos núcleos hepatócitos (Fig. 3b) entre fêmeas e machos ( $W_{(1,2023)}= 607, p<0.05$ ), o que resultou em maiores diâmetros nos núcleos dos hepatócitos de fêmeas.



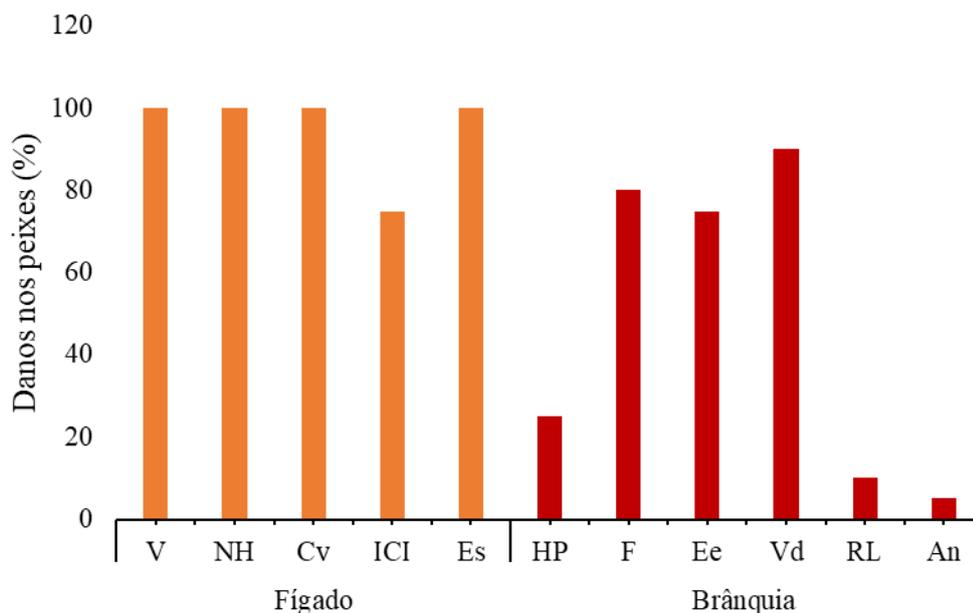
**Figura 5.** Análise morfométrica do diâmetro do citoplasma e do núcleo de hepatócitos para fêmeas e machos.

A análise da gravidade das alterações nos órgãos-alvo (brânquias e fígado) mostrou que os peixes avaliados apresentaram valores médios do índice de alterações entre 11 e 20, correspondendo à classe II de alterações histológicas. Essa classificação indica que a estrutura normal dos órgãos apresenta alterações moderadas. No entanto, os índices de alterações foram mais elevados tanto nas brânquias quanto no fígado das fêmeas, sugerindo uma maior susceptibilidade desse grupo às condições ambientais a que esses peixes são submetidos (Fig. 4 c,e).



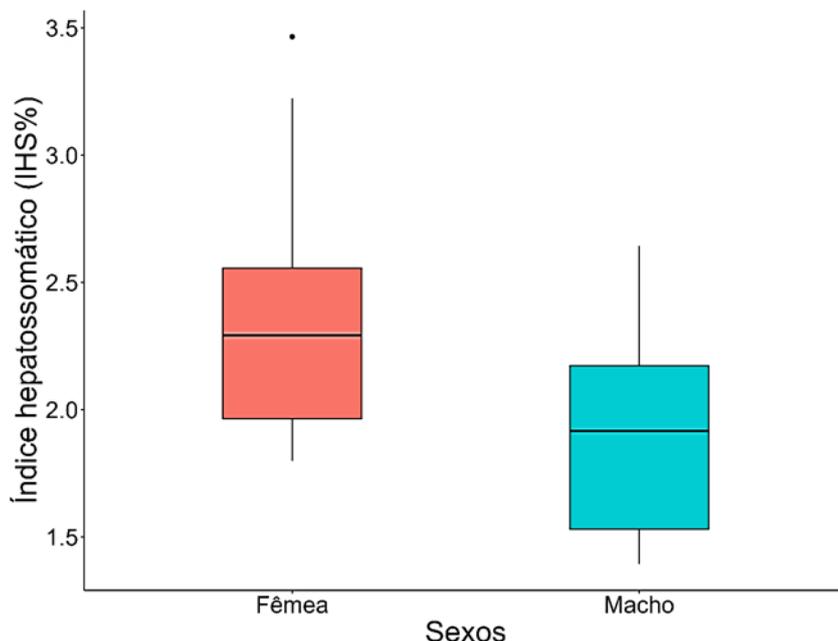
**Figura 6.** a) Exemplo de tilápia *Oreochromis niloticus* (b); imagem macroscópica da brânquia evidenciando os arcos branquiais e filamentos branquiais (Fb) (c); análise de índice de alterações histológicas em brânquias para fêmeas e machos; d) imagem macroscópica do fígado; e) análise de índice de alterações histológicas em fígado para fêmeas e machos.

Os resultados revelaram a prevalência percentual de alterações histológicas específicas nos diferentes órgãos-alvo analisados (Fig. 5), destacando o impacto de possíveis estressores ambientais na saúde dos peixes estudados. Nas brânquias, 90% dos peixes apresentaram vasodilatação, 75% exibiram elevação epitelial, e 80% mostraram fusão lamelar. No fígado, todas as amostras (100%) apresentaram vacuolização, alterações nucleares (como núcleo hipertrófico), congestão vascular e esteatose hepática. Além disso, 75% dos peixes exibiram infiltração por células do sistema imunológico.



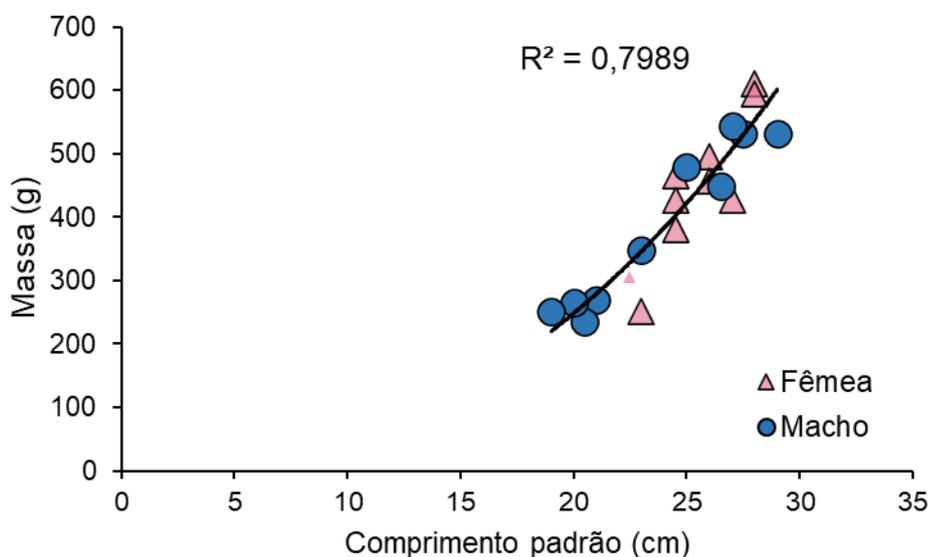
**Figura 7.** Análise da prevalência de danos nas brânquias e fígados dos peixes avaliados. vacuolização (V); núcleo hipertrófico (NH); congestão de vasos (Cv); infiltração de células do sistema imunológico (ICI); esteatose (Es); hipertrofia do epitélio (HP); fusão lamelar (F); elevação do epitélio (Ee); vasodilatação (Vd); redução lamelar (RL) e aneurisma (An).

Observou-se uma diferença significativa no índice hepatossomático entre fêmeas e machos ( $T_{(1,16.13)}=562, p<0.05$ ). Os resultados indicaram que os hepatócitos do fígado das fêmeas apresentaram volumes significativamente maiores em comparação aos dos machos.



**Figura 8.** Análise do índice hepatossomático para fêmeas e machos.

Em relação às características morfológicas dos peixes, ambas as espécies apresentaram um padrão monofásico de crescimento. A relação massa-comprimento apresenta um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,7989, indicando que aproximadamente 79,89% da variação na massa pode ser explicada pela variação no comprimento dos indivíduos analisados. O coeficiente alométrico ( $b$ ) de 2,38 sugere uma relação alométrica negativa. Não foi evidenciado diferenças no  $K$  entre fêmeas e machos ( $T_{(1,15.58)}= -0,258, p>0.05$ ).



**Figura 9.** Análise de relação massa-comprimento entre fêmeas e machos.

#### 4 DISCUSSÃO

Atividades antrópicas em áreas urbanas intensificam o lançamento de efluentes industriais e domésticos em corpos d'água (Sahani et al., 2022), o que provoca impactos negativos tanto na biota aquática quanto nas assembleias de peixes, além de elevar os riscos à saúde humana (Rani et al., 2022). Nesse contexto, o uso de organismos bioindicadores, como os peixes, é essencial para proporcionar uma avaliação mais ampla da qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos.

Neste estudo a determinação do sexo por meio da análise histológica das gônadas revelou indivíduos de ambos os sexos em fase de maturação avançada como estágios em maturação e maduros, indicando que o canal urbano analisado pode oferecer condições mínimas para o desenvolvimento gonadal. Estudos anteriores indicam que poluentes aquáticos podem afetar diretamente o ciclo reprodutivo de peixes, interferindo na produção hormonal e na maturação das gônadas (Sally et al., 2019). Nesse contexto, a preservação da fase de maturação em peixes expostos a ambientes impactados é um dado relevante, sugerindo uma tolerância relativa da espécie aos estressores ambientais presentes (Costa, 2018).

As brânquias apresentaram tecido cartilaginoso distribuído por todo o órgão, desempenhando função protetora (Américo-Pinheiro et al., 2020). O filamento branquial é composto por células epiteliais, macrófagos, granulócitos, células de cloreto e células mucosas, que estão distribuídas por toda a lamela, além de vasos sanguíneos que dão origem às lamelas secundárias (Azevedo et al., 2015).

De forma geral, o estudo revelou alterações histopatológicas significativas nas brânquias, incluindo vasodilatação que corresponde à dilatação dos vasos sanguíneos presentes nos filamentos branquiais, a hipertrofia epitelial que consiste no aumento do volume das células epiteliais que revestem os filamentos e as lamelas branquiais, além da fusão lamelar, que ocorre quando as lamelas secundárias, que normalmente são estruturas finas e bem separadas para maximizar a área de troca gasosa, tornam-se aderidas umas às outras. Essas modificações sugerem um mecanismo de defesa do organismo diante de estressores ambientais (Shahid et al., 2022), como metais pesados, hidrocarbonetos e outros poluentes possivelmente presentes no canal. As alterações observadas, como zonas hemorrágicas, aneurismas e degeneração tecidual, destacam os impactos negativos dos poluentes na integridade estrutural das brânquias. Esses danos comprometem a eficiência funcional das brânquias, afetando diretamente a saúde geral dos peixes. Isso pode levar a disfunções digestivas, respiratórias, reprodutivas e fisiológicas, comprometendo a sobrevivência e o equilíbrio dos organismos aquáticos (Abdel et al., 2016).

Além disso, o desconforto respiratório causado por mudanças ambientais e pela presença de poluentes na água pode resultar em vasodilatação, edema, descolamento do epitélio branquial (Steckert et al., 2018) e aneurismas que podem comprometer significativamente a eficiência respiratória, especialmente em condições de temperaturas elevadas, onde os níveis de oxigênio dissolvido são reduzidos e a demanda metabólica por oxigênio é acentuada (Abalaka, 2017). Estudos realizados em ambientes urbanos corroboram esses achados, reforçando que alterações morfológicas nas brânquias são indicadores confiáveis de poluição aquática e desempenham um papel crucial como bioindicadores ambientais (Abdel Rahman et al., 2019).

O fígado, um órgão central no metabolismo e na detoxificação (Abiona et al., 2019), apresentou alterações morfológicas que indicam comprometimento funcional. Em um tecido saudável, os hepatócitos são geralmente arredondados ou poliédricos, com núcleo esférico basófilo centralizado e citoplasma claro, contendo grânulos (Américo-Pinheiro et al., 2020). Alterações na morfologia dos hepatócitos, incluindo mudanças no núcleo, estão frequentemente associadas a processos patológicos, que podem comprometer a função celular hepática (Raskovic et al., 2011).

Foram observadas vacuolização, esteatose hepática, congestão vascular e alterações nucleares, como núcleos hipertróficos. Essas alterações são frequentemente associadas à presença de contaminantes como pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e metais pesados (Ghamdi et al., 2014). A infiltração por células do sistema imunológico também foi observada em 75% dos peixes, sugerindo uma resposta inflamatória decorrente de exposição a substâncias tóxicas (Younis et al., 2015). Centros de melanomacrófagos, são um subtipo de macrófagos pigmentados encontrados em diferentes órgãos, principalmente no fígado, baço e, ocasionalmente, nas brânquias e gônadas (Steckert et al., 2018), geralmente associados à degradação celular e patógenos que podem gerar estresse fisiológico nos organismos (Abdel et al., 2016).

A análise morfométrica revelou diferenças significativas nos diâmetros dos hepatócitos e de seus núcleos entre machos e fêmeas, com maiores valores observados nas fêmeas. Essas diferenças podem ser atribuídas às demandas metabólicas relacionadas à maturação gonadal, uma vez que as fêmeas requerem maior síntese de lipídios e proteínas para a produção de oócitos (Panda et al., 2022). Além disso, é possível que as fêmeas sejam mais suscetíveis aos estressores ambientais devido às diferenças fisiológicas entre os sexos.

As diferenças nos diâmetros dos hepatócitos refletem-se no índice hepatossomático (IHS), que foi maior nas fêmeas, conforme observado no estudo. O IHS é um indicador do estado da reserva de energia em peixes. O fígado desempenha um papel crucial na preparação reprodutiva e na desova (McBride et al., 2015), sendo especialmente relevante para as fêmeas durante a vitelogênese. Esse processo, que ocorre dentro da oogênese, é caracterizado pelo acúmulo progressivo de vitelo no ooplasma, o qual serve como fonte materna de alimento e nutrição para os embriões em desenvolvimento e as larvas iniciais (Grier et al., 2009).

Essas diferenças descritas para machos e fêmeas também são observadas na descrição dos índices de alterações histopatológicas observados nos órgãos-alvo. Os índices ficaram entre 11 e 20, classificados como alterações moderadas (classe II). Essa classificação reflete uma condição intermediária entre saúde normal e comprometimento severo, indicando que os organismos estão sob estresse ambiental significativo (Getnet et al., 2024). Contudo, a permanência e proliferação dos animais no local sugere que estes ainda possuem capacidade adaptativa.

Por outro lado, a maior incidência de alterações tanto nas brânquias quanto no fígado das fêmeas sugere uma maior vulnerabilidade desse grupo. Essa observação corrobora estudos anteriores que indicam uma maior susceptibilidade das fêmeas a ambientes poluídos, possivelmente devido a diferenças no metabolismo de detoxificação (Martel et al., 2017). Além disso, os dados de prevalência revelaram que 90% dos peixes apresentaram vasodilatação, 75% exibiram elevação epitelial e 80% demonstraram fusão lamelar. No fígado, todas as amostras apresentaram vacuolização e esteatose hepática, indicando um alto nível de estresse ambiental. A infiltração imunológica observada em 75% das amostras também sugere uma resposta do organismo à presença de agentes tóxicos no ambiente (Younis et al., 2015).

Além das análises histopatológicas realizadas, foi verificada a relação massa-comprimento nos peixes. Esta análise é essencial na avaliação de estoques, fornecendo informações sobre o estado de saúde das populações e orientando planos de manejo (Logan et al., 2018). O coeficiente alométrico ( $b$ ) de 2,38 sugere uma relação alométrica negativa. Isso indica que o crescimento em massa ocorre em um ritmo mais lento do que o crescimento em comprimento, caracterizando um padrão de crescimento onde os indivíduos tendem a se alongar mais do que ganhar massa proporcionalmente.

O fator de condição, por sua vez, avalia a condição nutricional ou aptidão de um indivíduo ou população (Tesch, 1968). Peixes com maior massa corporal para um dado comprimento são considerados mais saudáveis (Froese, 2006). Essa análise, baseada na relação entre massa corporal e comprimento, é uma ferramenta simples para investigar a saúde dos peixes, fornecendo dados sobre o estado fisiológico, características fenotípicas, estado reprodutivo e hábitos alimentares (Le Cren, 1951). Um fator de condição ( $K$ ) de 0,27, ou seja,  $K < 1$  é baixo e reflete um estado corporal crítico.

Esse valor indica que o organismo apresenta uma massa significativamente abaixo do esperado para seu comprimento, sugerindo problemas como desnutrição, estresse ambiental, doenças ou condições adversas em seu habitat. Valores reduzidos de  $K$  refletem reservas de energia severamente limitadas, o que pode comprometer a sobrevivência do animal, geralmente como resultado de escassez alimentar ou de um ambiente desfavorável. Esse cenário é comum em locais poluídos, onde a poluição pode aumentar o parasitismo ao enfraquecer os mecanismos de defesa do hospedeiro, tornando-o mais suscetível a infecções. Além disso, a poluição pode reduzir a aptidão do organismo em diversas respostas patológicas, imunológicas e fisiológicas (Sures & Nachev, 2022).

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos reforçam o uso de tilápias como bioindicadores para monitoramento ambiental, especialmente em regiões urbanas onde os corpos d'água estão expostos a fontes difusas de poluição. As alterações histopatológicas identificadas nas brânquias e no fígado são indicativos de degradação ambiental e ressaltam a necessidade de medidas de controle da poluição e gestão ambiental para proteger esses ecossistemas e os organismos que neles habitam.

## 6 REFERÊNCIAS

- Abalaka, S.E. (2017): Histopathological evaluation of *Oreochromis mossambicus* gills and liver as biomarkers of earthen pond water pollution. *Sokoto Journal of Veterinary Sciences*, 15(1), Pp.57
- Abdel, A.M., Essawy, A.E., Badr, K. and El-Naggar, N.M. (2016): Biochemical and histopathological changes in liver of the Nile tilapia from Egyptian polluted lakes. *Toxicology and Industrial Health*, 32(3), Pp.457–467
- Abdel Rahman, A.N., ElHady, M., Hassanin, M.E. and Mohamed, A.A.-R. (2019): Alleviative effects of dietary Indian lotus leaves on heavy metals-induced hepato-renal toxicity, oxidative stress, and histopathological alterations in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 509, Pp.198–208.
- Abiona, O.O., Anifowose, A.J., Awojide, S.H., Adebisi, O.C., Adesina, B.T. and Ipinmoroti, M.O. (2019): Histopathological bio marking changes in the internal organs of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and catfish (*Clarias gariepinus*) exposed to heavy metals contamination from Dandarù pond, Ibadan, Nigeria. *Journal of Taibah University for Science*, 13(1), Pp.903–911.
- Acosta-Pérez, V.-J., Vega-Sánchez, V., Fernández-Martínez, T.-E., Zepeda-Velázquez, A.-P., Reyes-Rodríguez, N.-E., Ponce-Noguez, J.-B., Peláez-Acero, A., de-la-Rosa-Arana, J.-L., & Gómez-De-Anda, F.-R. (2022). Physicochemical Water Quality Influence on the Parasite Biodiversity in Juvenile Tilapia (*Oreochromis* spp.) Farmed at Valle Del Mezquital in the Central-Eastern Socioeconomic Region of Mexico. *Pathogens*, 11(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/pathogens11101076>
- Almeida, W. R. F. de, & Souza, F. M. de. (2019). Análise Físico-Química da Qualidade da Água do Rio Pardo no Município de Cândido Sales – BA. *ID on line. Revista de psicologia*, 13(43), 353–378. <https://doi.org/10.14295/idonline.v13i43.1534>
- Américo-Pinheiro, J. H. P.; Machado, A. A.; Cruz, C.; Aguiar, M. M.; Ferreira, L. F. R.; Torres, N. H.; Machado-Neto, J. G. Histological changes in targeted organs of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to sublethal concentrations of the pesticide carbofuran. *Water Air Soil Pollut*, p. 228-231, 2020.
- Azevedo, R. V.; de Oliveira, K. F.; Flores-Lopes, F.; Teixeira-Lanna, E. A.; Takishita, S. S.; Tavares-Braga, L.G. (2015) Responses of Nile tilapia to different levels of water salinity. *Latin American Journal of Aquatic Research*, v. 43, p. 828–835.
- Barhoumi, S., Messaoudi, I., Gagné, F., & Kerkeni, A. (2012). Spatial and seasonal variability of some biomarkers in *Salarias basilisca* (Pisces: Blennidae): Implication for biomonitoring in Tunisian coasts. *Ecological Indicators*, 14(1), 222-228.
- Bernet, D., Schmidt, H., Meier, W., Burkhardt-Holm, P. and Wahli, T. (1999): Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. *Journal of Fish Diseases*, 22(1), Pp.25-34.
- Birk, S., Chapman, D., Carvalho, L., Spears, B. M., Andersen, H. E., Argillier, C., Auer, S., Baatrup-Pedersen, A., Banin, L., Beklioglu, M., Bondar-Kunze, E., Borja, A., Branco, P., Bucak, T., Buijse, A. D., Cardoso, A. C., Couture, R.-M., Cremona, F., de Zwart, D., ... Hering, D. (2020). Impacts of multiple stressors on freshwater biota across spatial scales and ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 4(8), 1060–1068. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1216-4>

- Bittencourt, L. S., Pinheiro, D. A., Cárdenas, M. Q., Fernandes, B. M., & Tavares-Dias, M. (2014). Parasites of native Cichlidae populations and invasive *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) in tributary of Amazonas River (Brazil). *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 23, 44–54. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612014006>
- Caldeira, L. A. C., & Lima, D. P. (2020). Drenagem urbana: Uma revisão de literatura. *Engineering Sciences*, 8(2), Artigo 2. <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.002.0001>
- Chikwendu Ejere, V., Aguzie, O. I., Ivoke, N., Ekeh, F. N., Ezenwaji, N. E., Onoja, U. S., & Eyo, J. E. (2014). PARASITOFUNA OF FIVE FRESHWATER FISHES IN A NIGERIAN FRESHWATER ECOSYSTEM. *Croatian Journal of Fisheries: Ribarstvo*, 72(1), 17–24. <https://hrcak.srce.hr/119843>
- Costa, P.M. (2018): *The handbook of histopathological practices in aquatic environments: guide to histology for environmental toxicology*. London: Academic Press, an imprint of Elsevier.
- Dolenec, M., & Kužir, S. (2009). Anatomy and histology of bony fish gills as a basis of their multiple roles.
- Du Plessis, A. (2023). Water Resources from a Global Perspective. Em A. du Plessis (Org.), *South Africa's Water Predicament: Freshwater's Unceasing Decline* (p. 1–25). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24019-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24019-5_1)
- El-Khayat, H. M. M., Sayed, S. S. M., Mohammed, W. A., & Sadek, A.-S. M. (2024). Protozoan and helminths infestation of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* and its correlation with certain water quality variables along river Nile in the area of Greater Cairo. *Environmental Pollution*, 345, 123459. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123459>
- 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.
- Fahmy, M., Mahmoud, N., Mousa, M., Zaki, M., Ismael, E., & Abuowarda, M. (2021). Influence of Parasite Infestation and Water Quality Deterioration During Mass Fish Mortality Event in Manzala Lake and its Corresponding Fish Farms. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 10. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.5.955.966>
- FAO Fisheries & Aquaculture. <https://www.fao.org/fishery/en/statistics/global-aquaculture-production/query/en>
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of applied ichthyology*, 22(4), 241-253.
- Froese. (2010). Fish Base. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org). <https://cir.nii.ac.jp/crid/1574231874766939904>
- Fox, J, Weisberg. S. An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. 2019. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Gensemer, R. W; Playle, R C. The bioavailability and toxicity of aluminum in aquatic environments. *Critical reviews in environmental science and technology*. v. 29, n. 4, p. 315-450, 1999.
- Ghamdi, F., El-Kasheif, M., Gaber, H. and Ibrahim, S. (2014): Structural alterations in Gills, Liver and Ovaries of Tilapia Fish (*Saratherodon galilaeus*) as a Biomarker for Environmental Pollution in Ismalia Canal. *Catrina: The International Journal of Environmental Sciences*, 9(1), Pp.7–14.
- Garedaghi, Y., & Pal, M. (2021). *Opisthorchiasis: An Emerging Foodborne Helminthic Zoonosis of Public Health Significance*. <https://doi.org/10.34172/ijmpes.2020.27>
- Gebremedhn, H. G., & Tsegay, A. K. (2017). Review on distribution of endo-parasites of fish in Ethiopia. *Parasite Epidemiology and Control*, 2(4), 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.parepi.2017.10.002>
- Getnet, M. A., Mekonnen, M. Y., Yimam, H. M., Berihun, A. M., & Malede, B. A. (2024). Histopathology based study of Nile tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) as a biomarker for water

- pollution evaluation in the southern gulf of Lake Tana, Ethiopia. *BMC Veterinary Research*, 20(1), 409.
- Grier, H. J., Aranzabal, M. C. U., & Patiño, R. (2009). The ovary, folliculogenesis, and oogenesis in teleosts. In *Reproductive biology and phylogeny of fishes (agnathans and bony fishes)* (pp. 25-84). CRC Press.
- Hossain, F., Islam, S. M., Islam, M. S., & Shahjahan, M. (2022). Behavioral and histopathological indices of striped catfish (*Pangasionodon hypophthalmus*) exposed to different salinities. *Aquaculture Reports*, 23, 101038.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama. População estimada para 2018. 2017
- Ito, E. E. (2017). Survey of parasites of two fish species (*Tilapia zillii* and *Clarias gariepinus*) in Ase River Catchment, Delta State, Nigeria. *Journal of Coastal Life Medicine*, 5(10), 417–421. <https://doi.org/10.12980/jclm.5.2017J7-126>
- Ito, E. E., & Egwunyenga, A. O. (2024). Impact of water quality and morphometric indices on the spatio-temporal prevalence of fish endo-parasites and diversity in the Ase River, Niger-Delta, Nigeria. *Journal of Parasitic Diseases*, 48(3), 439–449. <https://doi.org/10.1007/s12639-024-01668-0>
- kumar, N, K., T, P., J, S., & P, K. (2020). Advances in Environmental Pollution Management: Wastewater Impacts and Treatment Technologies. In *Advances in Environmental Pollution Management: Wastewater Impacts and Treatment Technologies* (p. 1–244). Agro Environ Media - Agriculture and Environmental Science Academy, Haridwar, India. <https://doi.org/10.26832/aesa-2020-aepm>
- Le Cren, E. D. (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *The Journal of Animal Ecology*, 201-219.
- Logan, R. K., White, C. F., Winkler, C., Jorgensen, S. J., O'Sullivan, J. B., Lowe, C. G., & Lyons, K. (2018). An evaluation of body condition and morphometric relationships within southern California juvenile white sharks *Carcharodon carcharias*. *Journal of fish biology*, 93(5), 842-849.
- Lowe-McConnell, R. (2006). *The tilapia trail: The life story of a fish biologist*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/647396963ed73003714cd3ce>
- Marcogliese, D.L., (2011). Parasitology module steering committee PMSC. Protocols for measuring biodiversity: parasites of fishes in freshwater update. Protocols manual for water quality sampling in Canada. Ecological monitoring and assessment network EMAN, Canada
- Martel, P. H., O'Connor, B. I., Kovacs, T. G., Van Den Heuvel, M. R., Parrott, J. L., McMaster, M. E., ... & Hewitt, L. M. (2017). The relationship between organic loading and effects on fish reproduction for pulp mill effluents across Canada. *Environmental Science & Technology*, 51(6), 3499-3507.
- Martin, Valentine, & Valentine. (2010). *Competitive Interactions between Invasive Nile Tilapia and Native Fish: The Potential for Altered Trophic Exchange and Modification of Food Webs / PLOS ONE*. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0014395>
- McAndrew & Beveridge. (2000). *McAndrew: Tilapias: Biology and exploitation—Google Scholar*. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?hl=en&publication\\_year=2000&pages=1-32&author=BJ+McAndrew&title=Tilapias%3A+Biology+and+Exploitation](https://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2000&pages=1-32&author=BJ+McAndrew&title=Tilapias%3A+Biology+and+Exploitation)
- McBride, R. S., Somarakis, S., Fitzhugh, G. R., Albert, A., Yaragina, N. A., Wuenschel, M. J., ... & Basilone, G. (2015). Energy acquisition and allocation to egg production in relation to fish reproductive strategies. *Fish and Fisheries*, 16(1), 23-57.
- Novaes & Silva. (2016). *VALORAÇÃO DO RECURSO “ÁGUA” A PARTIR DA DISPOSIÇÃO A PAGAR DOS USUÁRIOS: ESTUDO APLICADO NAS ÁREAS ATENDIDAS PELA COSANPA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM*. <https://www.ce.unesp.org.br/holos/article/view/10406/7838>

- Oksanen, J; Blanchet, F. G; friendly, M; kindt, R; legendre, P; Mc Glinn, D. et al., *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-4. 2022. <https://CRAN.Rproject.org/package=vegan>
- Paiva, R, Melo, N, Gouvêa, P, Ramos, C & Costa, S. (2004). A Ocupação Urbana como fonte Poluidora dos Corpos d'água na Região Amazônica. Estudo de Caso: Composição e Biomassa Primária da Foz do Igarapé Tucunduba (Belém-Pará). In: Uhly, S., Souza, E. L. A, (org). *A Questão da Água na Grande Belém*, Belém, 247.
- Panda, B., Nayak, S., Mishra, G., Patra, S., Gopikrishna, O., Radhakrishnan, K., ... & Routray, P. (2022). Thermal stress response of different age group of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) exposed to various temperature regimes.
- Poleksić, V., & Mitrović-Tutundžić, V. (1994). Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution. *Sublethal and chronic effects of pollutants on freshwater fish*, 339-352.
- Pouder, D.B., Curtis E.W., Yanong R.P.E., (2011). Common freshwater fish parasites pictorial guide: Sessile ciliates. Available at: <http://edis.ifas.ufl.edu/FA-107>.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>
- Raatz, S., & Bibus, D. (2016). *Fish and Fish Oil in Health and Disease Prevention*. Academic Press.
- Rani R, Sharma P, Kumar R, Hajam YA (2022) Effects of heavy metals and pesticides on fish. In: *Bacterial fish diseases*. Academic, New York, pp 59–86.
- Raskovic, B.S.; Stankovic, M. B.; Markovic Z. Z.; Poleksic, V. D. (2011). Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish. *J. Agricult. Sci.*, v. 56, n. 1, p. 87-100.
- Ramachandra, T. V., Varghese, S., K. S., A., Bhat, S., & Rahaman, M. (2016). *RECURRING FISH MORTALITY EPISODES IN BANGALORE LAKES: SIGN OF IRRESPONSIBLE AND FRAGMENTED GOVERNANCE*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3150.4248>
- Sahani S, Sharma YC, Kim TY (2022) Emerging contaminants in wastewater and surface water. In: *New trends in emerging environmental contaminants*. Springer, Singapore, pp 9–30. *Biological Trace Element Research*, 199, 3869-3885.
- Sally A Elgaml, Talat T Saad, Mohamed F Hamed and Viola H Zaki (2019): Effects of heavy metal pollutants on the reproduction of Nile tilapia. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7(5), Pp. 542-547.
- Shahid, S., Sultana, T., Sultana, S., Hussain, B., Al-Ghanim, K.A., Al-Bashir, F., Riaz, M.N. and Mahboob, S. (2022): Detecting Aquatic Pollution Using Histological Investigations of the Gills, Liver, Kidney, and Muscles of *Oreochromis niloticus*. *Toxics*, [online], 10(10), Pp.564.
- Steckert, L.D., Cardoso, L., Jerônimo, G.T., Pádua, S.B. de and Martins, M.L. (2018): Investigation of farmed Nile tilapia health through histopathology, 486, Pp.161–169.
- Suchana, S. A., Ahmed, M. S., Islam, S. M., Rahman, M. L., Rohani, M. F., Ferdusi, T., ... & Shahjahan, M. (2021). Chromium exposure causes structural aberrations of erythrocytes, gills, liver, kidney, and genetic damage in striped catfish *Pangasianodon*
- Sures, B., & Nachev, M. (2022). Effects of multiple stressors in fish: How parasites and contaminants interact. *Parasitology*, 149(14), 1822–1828. <https://doi.org/10.1017/S0031182022001172>
- Trata Brasil. Belém comemora 403 anos, porém com deficiências em saneamento. 2019. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/01/15/belem-comemora-403-anos-porem-com-deficiencias-em-saneamento/>.
- Tesch, F. W. (1998). Age and growth rates of North Atlantic eel larvae (*Anguilla* spp.), based on published length data. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 52, 75-83.
- Wickham, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag, New York, 2016. <https://ggplot2.tidyverse.org/>
- Younis, E., Abdel-Warith, A.-W., Al-Asgah, N. and Ebaid, H. (2015): Histopathological alterations in the liver and intestine of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* exposed to long-term

sub lethal concentrations of cadmium chloride. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 33(4), Pp.846–852.

Zimmerli, S., Bernet, D., Burkhardt-Holm, P., Schmidt-Posthaus, H., Vonlanthen, P., Wahli, T. and Segner, H. (2007): Assessment of fish health status in four Swiss rivers showing a decline of brown trout catches. *Aquatic Sciences*, 69(1), Pp.11–25.