

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS-UFAL
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO ZOOTECNIA**

LUCAS DE OLIVEIRA ARRUDA

**ESTUDO HISTOLÓGICO DO FÍGADO E BRÂNQUIAS DE *Cichla monoculus*
(PERCIFORMES, CICHLIDAE) E *Serrasalmus brandtii* (CHARACIFORMES,
SERRASALMIDAE) DO BAIXO SÃO FRANCISCO**

**RIO LARGO
2023**

LUCAS DE OLIVEIRA ARRUDA

**ESTUDO HISTOLÓGICO DO FÍGADO E BRÂNQUIAS DE *Cichla monoculus*
(PERCIFORMES, CICHLIDAE) E *Serrasalmus brandtii* (CHARACIFORMES,
SERRASALMIDAE) DO BAIXO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Zootecnia do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Zootecnia.

Orientador(a): Profa. Dra. Themis de Jesus da Silva

RIO LARGO
2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

A779e Arruda, Lucas de Oliveira.

Estudo histológico do fígado e brânquias de *Cichla monoculus* (perciformes, cichlidae) e *Serrasalmus brandtii* (characiformes, serrasalmidae) do baixo São Francisco / Lucas de Oliveira Arruda. – 2023.

32f.: il.

Orientador(a): Themis de Jesus da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Graduação em Zootecnia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2023.

Inclui bibliografia

1. Histopatologia. 2. Contaminação. 3. Tucunaré. 4. Pirambeba. I. Título.

CDU: 639.3

Folha de aprovação

LUCAS DE OLIVEIRA ARRUDA

ESTUDO HISTOLÓGICO DO FÍGADO E BRÂNQUIAS DE *Cichla monoculus* (PERCIFORMES, CICHLIDAE) E *Serrasalmus brandtii* (CHARACIFORMES, SERRASALMIDAE) DO BAIXO SÃO FRANCISCO

Trabalho de Conclusão de Curso submetida ao corpo docente do Curso de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, e aprovado em: 26 de maio de 2023.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 THEMIS DE JESUS DA SILVA
Data: 20/06/2023 13:31:34-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dra. Themis de Jesus da Silva
(Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 EMERSON CARLOS SOARES E SILVA
Data: 20/06/2023 13:33:35-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Emerson Carlos Soares
(Examinador Interno)

Documento assinado digitalmente
 PRISCYLLA COSTA DANTAS
Data: 12/06/2023 15:50:24-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dra. Priscylla Costa Dantas
(Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por me permitir possuir condições e pessoas que me auxiliaram em toda minha vida acadêmica, aos meus pais e avós por terem me apoiado e aos professores que sempre estiveram presentes e dispostos a ensinar um pouco de todo esse mundo que existe na área da pesquisa, em especial a senhorita Priscylla que foi mais do que uma professora, uma verdadeira amiga me ensinando, ajudando e puxando minha orelha quando necessário (quase sempre) e a professora Themis que me apoiou desde o primeiro dia que cheguei no laboratório, além delas agradeço também aos professores Emerson e Elton que sempre se dispuseram a ensinar, principalmente o professor Emerson e essa enciclopédia que ele leva na cabeça para esclarecer qualquer dúvida, todos a sua maneira se tornaram um exemplo a serem seguidos por mim, como se fossem um régua para medir o patamar de qualquer outro profissional. Além deles também agradeço a todos os amigos do LAQUA, graças a eles os momentos no laboratório foram os mais proveitosos e memoráveis possíveis e sem eles não teria conseguido aprender tanto sobre esse mundo da água e organismos aquáticos como aprendi.

RESUMO

A região do Baixo São Francisco está localizada na divisa entre Sergipe e Alagoas, indo de Paulo Afonso (BA). Ela apresenta uma ictiofauna rica, e apesar dos inúmeros problemas existentes na região, em decorrência principalmente da degradação, represamento e poluição do rio, a pesca ainda é uma das mais importantes atividades de subsistência. Por serem sensíveis à exposição a produtos químicos e acumularem poluentes diretamente através da água, torna-se importante a realização de estudos histológicos em órgãos de peixes do Baixo São Francisco. O fígado e as brânquias podem ser avaliados em estudos histopatológicos e utilizados como indicadores de contaminação de ecossistemas aquáticos. Diante do exposto, o projeto teve como objetivo analisar a morfologia das células do fígado e brânquias de *Cichla monoculus* e *Serrasalmus brandtii* através de análises histopatológicas. Os peixes utilizados foram coletados na IV Expedição Científica do Baixo São Francisco, e dissecados para retirada de fragmentos de fígados e brânquias, e então fixados em formol a 10% e após 24 horas fixados em álcool 70% e levados para o Laboratório Aquicultura e Análise de Água, onde estudos histológicos foram realizados. Para realização das análises, foram utilizados procedimentos padrões dos protocolos para técnicas histopatológicas. Em seguida, o material foi analisado e fotografado em microscópio. Todos os espécimes avaliados apresentaram alterações histopatológicas nas brânquias e fígados como vacuolização citoplasmática, infiltração de leucócitos, núcleo na periferia celular, dilatação de vasos sinusoides e necrose no fígado, enquanto nas brânquias foi evidenciada hipertrofia, deslocamento do epitélio lamelar, hiperplasia do epitélio lamelar, fusão lamelar completa e incompleta, as alterações em ambos os órgãos representam processos inflamatórios em uma tentativa do próprio organismo de se defender de agentes agressores. Foi utilizado o protocolo para avaliação de poluição aquática padronizado por Bernet para quantificar as alterações histopatológicas, neste as lesões patológicas são classificadas em cinco padrões de acordo com sua importância, sendo assim possível desenvolver um gráfico que mostra a média de histopatologias de acordo com as cidades. O resultado revelou uma maior frequência de alterações na cidade de Pão de Açúcar, isso pode ter relação com o descarte precário de esgoto da cidade como visto na expedição, também foi possível verificar que a pirambeba apresentou um maior índice de alterações, o que pode estar associado aos seus hábitos carnívoro e bentopelágico. Os resultados podem estar relacionados com as atividades antrópicas como a poluição do rio por meio de diversas fontes como despejo de dejetos e a utilização de agrotóxicos pela agropecuária que são lixiviados para o rio, além da degradação da mata ciliar e períodos de baixa vazão, dificultando a diluição de contaminantes presentes na água. A importância da minimização do uso de agroquímicos, a conscientização da população e um tratamento eficaz dos efluentes das cidades, ao exemplo de Pão de açúcar, uma cidade com um sistema de tratamento de esgoto precário, mostram-se cada vez mais necessárias à medida que estudos científicos comprovam aumento da degradação ambiental.

Palavras-chave: histopatologia; contaminação; tucunaré; pirambeba.

ABSTRACT

The Lower São Francisco region is located on the border between Sergipe and Alagoas, going from Paulo Afonso (BA). It has a rich ichthyofauna, and despite the numerous problems in the region, mainly due to degradation, damming, and river pollution, fishing is still one of the most important subsistence activities. Because they are sensitive to exposure to chemical products and accumulate pollutants directly through the water, it is important to carry out histological studies on fish organs from Lower São Francisco. The liver and gills can be evaluated in histopathological studies and used as indicators of contamination of aquatic ecosystems. Given the above, the project aimed to analyze the morphology of cells in the liver and gills of *Cichla monoculus* and *Serrasalmus brandtii* through histopathological analysis. The fish used were collected in the IV Scientific Expedition of Baixo São Francisco, and dissected to remove fragments of livers and gills, and then fixed in 10% formaldehyde and after 24 hours fixed in 70% alcohol and taken to the Aquaculture and Analysis Laboratory. de Água, where histological studies were performed. To perform the analyses, standard protocol procedures for histopathological techniques were used. Then, the material was analyzed and photographed under a microscope. All specimens evaluated showed histopathological alterations in the gills and livers, such as cytoplasmic vacuolation, leukocyte infiltration, the nucleus in the cell periphery, dilation of sinusoidal vessels, and necrosis in the liver, while in the gills, hypertrophy, displacement of the lamellar epithelium, hyperplasia of the lamellar epithelium, complete and incomplete lamellar fusion, the alterations in both organs represent inflammatory processes in an attempt by the organism itself to defend itself against aggressive agents. The protocol for assessing water pollution standardized by Bernet was used to quantify the histopathological changes, in which the pathological lesions are classified into five patterns according to their importance, thus making it possible to develop a graph that shows the average of histopathologies according to the cities. The result revealed a higher frequency of changes in the city of Pão de Açúcar, this may be related to the precarious disposal of sewage in the city as seen in the expedition, it was also possible to verify that the pirambeba presented a higher rate of changes, which may be associated with its carnivorous and benthopelagic habits. The results may be related to anthropic activities such as river pollution through various sources such as the dumping of waste and the use of pesticides by agriculture and livestock that are leached into the river, in addition to the degradation of the riparian forest and periods of low flow, making it difficult to the dilution of contaminants present in the water. The importance of minimizing the use of agrochemicals, public awareness, and effective treatment of city effluents, such as Pão de Açúcar, a city with a precarious sewage treatment system, is becoming increasingly necessary as scientific studies prove an increase in environmental degradation.

Keywords: histopathology, contamination, tucunaré; pirambeba.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Regiões fisiográficas da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco	15
Figura 2 – Tucunaré (<i>Cichla monoculus</i>).....	17
Figura 3 – Pirambeba (<i>Serrasalmus brandtii</i>)	18
Figura 4 – Separação das amostras de fígado e brânquias pelo grupo de pesquisa do LAQUA.	19
Figura 5 – Micrótomo Rotativo com navalhas de aço inox.	20
Figura 6 – Fotomicrografias do tecido hepático do tucunaré e pirambeba. A, B e C) Tucunarés coletados em Propriá, Pão de Açúcar e Traipu respectivamente, apresentando dilatação dos vasos sinusoides (ponta de seta), necrose (círculo), núcleo na periferia celular (seta vermelha), degeneração do citoplasma (seta preta) infiltração leucocitária (IF) e vacuolização (*). D, E e F) Pirambebas coletadas em Propriá, Pão de Açúcar e Traipu respectivamente, apresentando dilatação dos vasos sinusoides (ponta de seta), necrose (círculo), núcleo na periferia celular (seta vermelha), degeneração do citoplasma (seta preta) infiltração leucocitária (IF) e vacuolização (*)......	25
Figura 7 – Fotomicrografias de brânquias de tucunaré e pirambeba. A, B e C) Tucunarés coletados em Propriá, Pão de Açúcar e Traipu respectivamente, apresentando hipertrofia (seta vermelhas), deslocamento do epitélio lamelar (setas pretas), fusão incompleta das lamelas secundárias (F) hiperplasia (HP). D, E e F) Pirambebas coletados em Propriá, Pão de Açúcar e Traipu respectivamente, apresentando hipertrofia (seta vermelhas), deslocamento do epitélio lamelar (setas pretas), fusão incompleta das lamelas secundárias (F) hiperplasia (HP).....	28

SUMÁRIO

1	Introdução	12
2	Revisão de literatura	14
2.1	Rio São Francisco.....	14
2.1.1	Desequilíbrio ambiental no Rio São Francisco.....	15
2.2	Tucunaré (<i>Cichla monoculus</i>).....	17
2.3	Pirambeba (<i>Serrasalmus brandtii</i>).....	18
3	Materiais e métodos	19
3.1	Captura dos animais	19
3.2	Preparo das amostras.....	19
3.3	Análise histopatológica.....	19
4	Resultado e discussão	22
4.1	Fígado	23 23
4.2	Brânquias	26 26
5	Considerações finais.....	30
	Referências	31

1 INTRODUÇÃO

O Rio São Francisco possui grande importância econômica e social para o país, possuindo uma extensão de aproximadamente 2.700 km, indo de Minas Gerais, até Alagoas e Sergipe, onde deságua. O Baixo São Francisco é uma região do Velho Chico que vai de Paulo Afonso, na Bahia, até a foz, margeando a divisa entre os Estados de Sergipe e Alagoas, que apresenta uma rica e diversificada ictiofauna, com espécies de peixes endêmicos de importância econômica (BRASIL, 2006). Apesar dos inúmeros problemas existentes na região, em decorrência principalmente de severa degradação, represamento, poluição e assoreamento do rio, a pesca ainda é uma das atividades de subsistência mais importantes (REZENDE e OLIVEIRA, 2015).

Entre as espécies encontradas no Baixo São Francisco está a *Serrasalmus brandtii* (pirambeba) espécie nativa do rio e o *Cichla monoculus* (tucunaré), espécie introduzida presente em vários trechos do rio (BARBOSA e SOARES, 2009), o tucunaré é uma espécie utilizada na alimentação humana e ambos são alvo de pesca intensiva (REZENDE e OLIVEIRA, 2015). Nas últimas décadas, com o crescimento populacional e a crescente industrialização, compostos químicos foram sendo despejados no meio ambiente de maneira cotidiana, alguns com potencial citotóxico (ZILIO et al., 2015). Estas substâncias são movidas para rios, lagos e outros corpos d'água, como o Rio São Francisco que sofre com a poluição por rejeitos oriundos da agricultura e das cidades que ficam à sua margem (ZELLHUBER e SIQUEIRA, 2007).

Os peixes podem apresentar respostas biológicas aos poluentes ambientais de diversas formas, apresentando alterações moleculares, genéticas e comportamentais, afetando suas dinâmicas e estruturas de guildas alimentares (SILVA, 2017). Por serem sensíveis à exposição a produtos químicos e acumularem poluentes diretamente através da água, torna-se importante a realização de estudos em órgãos de peixes do Baixo São Francisco.

O fígado é um órgão de grande importância para verificar a ação de compostos químicos nos peixes, é primeiro órgão atuando na biotransformação de xenobióticos e na excreção de metais (DANTAS et al., 2020). As brânquias são uns dos principais órgãos acometidos pela presença de poluentes, pois sofrem uma exposição direta aos contaminantes do meio ambiente (CARVALHO et al., 2020). Ambos podem ser avaliados em estudos histopatológicos e utilizados como indicadores de contaminação de ecossistemas aquáticos (DA SILVA et al., 2022).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo analisar a morfologia das células de fígado e brânquias de *Cichla monoculus* (tucunaré) e *Serrasalmus brandtii* (pirambebe) do Baixo Rio São Francisco através de análises histopatológicas.

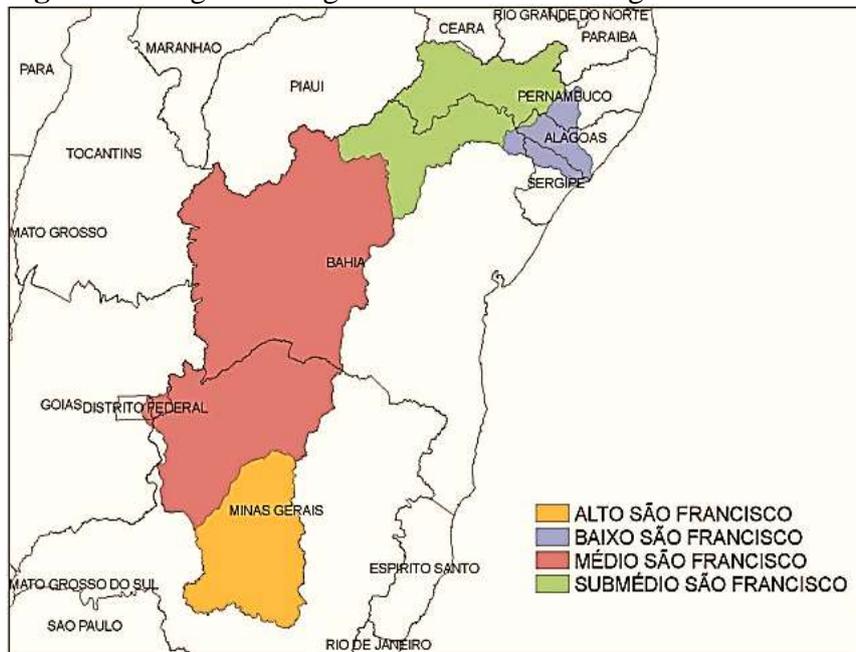
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Rio São Francisco

O Rio São Francisco também conhecido como Velho Chico, é visto como um dos rios essenciais para o curso de águas do Brasil e da América do Sul. Tem origem na Serra da Canastra, localizada no estado de Minas Gerais e perpassa os estados de Alagoas, Distrito Federal, Bahia, Goiás, Sergipe e Pernambuco (CARVALHO et al., 2020).

Dispondo de uma área de drenagem de cerca de 639.219 km², no qual caracteriza 7,5% do território brasileiro. Por conta de sua dimensão, se divide em quatro grandes áreas (Figura 1): Alto São Francisco apresentando cerca de 19% da bacia, Médio São Francisco no qual possui cerca de 55% da bacia, Submédio São Francisco com cerca de 24% da bacia e por fim, o Baixo São Francisco com cerca de 7% da bacia (CARVALHO et al., 2020).

Figura 1 – Regiões fisiográficas da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco



Fonte: Matos e Becker (2020)

O Rio São Francisco abrange segmentos de vários biomas, no qual há um maior predomínio do cerrado e caatinga, que envolvem os Estados de Minas Gerais e Bahia. Nesses dois biomas, as circunstâncias climáticas e seus relevos são mais diversos e rigorosos de

maneira determinante no desenvolvimento de erosão e fabricação de sedimentos que chegam até a calha do rio (SOARES et al, 2020). Há também um percentual de região da Mata Atlântica, assolado pela utilização agrícola e pelos pastos, no Alto São Francisco, especialmente nas cabeceiras. Enquanto nas margens dos rios, no qual a umidade é mais alta, é possível verificar regiões mais secas (SOARES et al, 2020).

O desenvolvimento populacional e a crescente urbanização causam o despejo de diversos compostos químicos no meio ambiente. Dentre as regiões que mais correm risco ambiental, destacam-se os arredores dos cursos de água, por onde elementos com capacidade citotóxica são levados para os rios, tais como o Rio São Francisco, ampliando assim, a poluição por conta dos resíduos da agricultura e/ou das localidades próximas a sua calha, como os agrotóxicos que ao serem utilizados sobre os campos de cultivo, chegam os corpos límnicos por meio da água da chuva, irrigação ou por percolação no solo, ocasionando eutrofização e envenenamento da comunidade aquática (SOARES et al., 2020).

Ao longo dos seus quase 2.800 km de extensão, mais de 500 municípios e com uma bacia hidrográfica de cerca de 640 mil km², o Velho Chico recebe uma carga gigantesca de todos os tipos de materiais e sedimentos, de diferentes origens e natureza. Toda essa carga tem sido dispersada e depositada ao longo da calha principal do rio e de seus reservatórios de barramento, sem que se tenha a real dimensão dos impactos ambientais e humanos causados pelos mesmos (SOARES et al, 2020). Verificada no ano de 2017, sua população era de aproximadamente 14,3 milhões de habitantes, no qual 77,2% são referentes à população urbana (SOUSA et al., 2020).

2.1.1 Desequilíbrio ambiental no Rio São Francisco

O Baixo São Francisco estende-se entre os estados de Alagoas, Pernambuco, Bahia e Sergipe, onde encontra-se parte do bioma da caatinga, mata natural do nordeste brasileiro (SILVA et al., 2018). É possível observar diversas alterações ambientais ocorridas nesta região do São Francisco, que são causadas devido a diferentes práticas antrópicas, que tem se desenvolvido na região, expondo a urgência em se determinar formas de utilização e manipulação apropriada do rio como fonte de energia devido as hidrelétricas e para os sistemas de irrigação, buscando melhorar a qualidade de vida, a isonomia social e a preservação dos sistemas naturais (SILVA, 2017).

As políticas públicas de progresso regional preferem a utilização das águas do rio para a irrigação e geração de energia, o que acaba agravando as demais utilizações. Os projetos hidrelétricos acarretam grandes mudanças na bacia do Rio São Francisco, as quais ocasionam um desequilíbrio ambiental do sistema fluvial (DA SILVA et al., 2022).

O equilíbrio ambiental da área do Rio São Francisco vem sendo alterado de maneira constante, isso se deve a fatores como operações para a geração de energia e a extinção de vegetação ciliar, implicando na descarga de sólidos no rio. A erosão acelerada nas margens pode ser vista como consequência de um desequilíbrio ambiental tornando perceptível a existência de problemas ambientais, o que coloca em risco a biodiversidade local e regional, causando consequências ambientais negativas em toda a extensão do rio, principalmente no Baixo São Francisco, que demonstra maior fragilidade hidroambiental (DA SILVA et al., 2022).

Apesar de sua importância econômica e social é importante salientar os danos ocasionados aos ecossistemas depois da inserção da Usina Hidrelétrica de Xingó, sendo a estabelecida no Baixo São Francisco. Os prejuízos ao meio ambiente têm causado instabilidade na região, e podem ser percebidos constantemente pelos moradores, tais como o aumento das temperaturas, modificação de padrão das chuvas na região e baixa do nível do rio, características essas que afetam principalmente a fauna terrestre e aquática (SILVA, 2017).

2.2 Tucunaré (*Cichla monoculus*)

A família Cichlidae, é considerada uma das mais diversas no ecossistema de água doce, possui cerca de 1.707 espécies. O tucunaré, pertencente a esta família, atinge o maior tamanho, tem preferência por ambientes lânticos, é um peixe carnívoro, alimenta-se principalmente de peixes pequenos, camarões e insetos aquáticos, originário da bacia amazônica, se reproduzem mais durante os meses quentes através de desova parcelada. (CAS, 2017).

O tucunaré (figura 2), um peixe mimético, adapta-se às condições ambientais em que vive, começando pelo ocelo específico de sua cauda que possui a função de confundir e espantar predadores. Em estágio mais jovem é possível verificar as pintas brancas, podendo ser confundidos com cascalhos no fundo do rio (JUNIOR, 2022). É muito utilizado na

alimentação da população ribeirinha devido a sua carne de excelente qualidade, além de apresentar características que o qualificam para a prática da pesca esportiva (NASCIMENTO et al., 2001), o resultado é uma espécie com uma grande importância econômica.

Figura 2: Tucunaré (*C. monoculus*)



Fonte: O autor (2021)

2.3 Pirambeba (*Serrasalmus brandtii*)

A família Serrasalminidae possui espécies exclusivamente dulcícolas, a exemplo das piranhas (eventualmente perigosas por conta dos ataques aos seres humanos) e pirambebas. Contém 16 gêneros e aproximadamente 92 espécies, sendo bastante diversa, muitas espécies são largamente utilizadas em aquários além de possuírem comportamento social bastante diversificado (LOPES e OLIVEIRA-SILVA, 2019).

S. brandtii, também conhecida como pirambeba, chega a cerca de 22 centímetro de comprimento, é bentopelágica e encontra-se na bacia do Rio São Francisco (figura 3). São os únicos Characiformes que apresentam dentes e mandíbulas bem localizados, para que possam se alimentar com pedaços de carne de peixes maiores ou mamíferos (LOPES e OLIVEIRA-SILVA, 2019).

Figura 3 - Pirambeba (*S. brandtii*)



Fonte: O autor (2021)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Captura dos animais

Os peixes foram capturados durante as coletas realizadas na IV Expedição Científica do São Francisco, em outubro de 2021 (MMA/ICMBio Número: 75591).

Os animais avaliados foram capturados durante o período de 30 de novembro a 10 de dezembro de 2021. Os espécimes de tucunaré e pirambeba foram coletados em Pão de Açúcar, Traipu e Propriá, situados nos estados de Alagoas e Sergipe, respectivamente.

3.2 Preparo das amostras

Foi realizada a biometria dos animais, onde foi registrado peso, comprimento total e padrão. Foram coletados brânquias e fígado para análise histológica, fixados em formol a 10% e após 48 horas fixados em álcool 70% (figura 4). Posteriormente os tecidos foram levados para o Laboratório Aquicultura e Análise de Águas (LAQUA) do Campus de Engenharias e Ciências agrárias (CECA-UFAL), onde os estudos histológicos foram desenvolvidos.

Figura 4 - Separação das amostras de fígado e brânquia.



Fonte: O autor

3.3 Análise Histopatológica

Os fragmentos de fígado e brânquias foram colocados em tubos de 2mL tipo eppendorf. Em seguida foi feita a desidratação através de série alcoólica crescente de 80 e 90% cada uma durando 10 minutos e três banhos de 10 minutos, em álcool etílico a 99%. Após a série alcoólica foi realizada a infiltração das amostras, em temperatura ambiente, primeiro em um

banho de 24h com uma mistura de historesina e álcool na proporção de (1:1) e depois mantidas imersas em historesina pura por 24h. O material foi colocado em historesina + endurecedor, transferido para moldes de polietileno e mantidos em um dessecador com sílica gel, com o objetivo da retirada da umidade da amostra, o dessecador foi mantido em temperatura ambiente até os blocos polimerizarem.

Foram realizados cortes com 5µm de espessura em micrótomo rotativo com navalhas de aço inox (Figura 5), as secções foram aderidas a lâminas histológicas e colocadas em placa aquecedora na temperatura de 40°C durante 15 minutos para distensão dos cortes. Após isso, os cortes foram corados com hematoxilina de Harris, por 2 horas, lavados em água corrente por 2 minutos, corados com eosina por 50 segundos e por fim lavados rapidamente em água corrente. Na confecção das lâminas foi utilizado bálsamo do Canadá como meio de montagem, para proteção das amostras as lamínulas foram sobrepostas nas lâminas e colocadas para secar em temperatura ambiente. Em seguida, o material foi fotografado em microscópio de luz com câmera digital seguindo o protocolo vigente do laboratório de microscopia/CECA.

Figura 5 - Micrótomo rotativo com navalhas de aço inox.



Fonte: O autor (2021)

Foi utilizado o protocolo para avaliação de poluição aquática proposto e padronizado por Bernet et al. (1999) para quantificar as alterações histopatológicas. Nesse protocolo os autores classificam as lesões patológicas de cada órgão em cinco padrões de reação: distúrbios

circulatórios (padrão de reação 1), alterações regressivas (padrão de reação 2), alterações progressivas (padrão de reação 3), inflamação (padrão de reação 4), e o neoplasma (padrão de reação 5).

Para cada alteração é atribuído uma variável (w) chamada fator de importância, esse varia de 1 (alteração mínima) a 3 (máxima importância), isso aponta sua importância patológica e sua relevância, que está diretamente relacionada com a forma como ela afeta a função do órgão e o grau de reversibilidade. A distribuição dos fatores é classificada em: 1- A alteração é facilmente reversível ao fim da exposição à substância tóxica. Possui importância patológica mínima; 2- A alteração é potencialmente reversível se a exposição ao agente causador for interrompida. Possui importância patológica moderada; 3- A lesão é grave, geralmente irreversível, levando à perda parcial ou total da função do órgão. Possui importância patológica acentuada.

Somado a isso, também se utiliza o elemento **pontuação** representado por (α), no qual é dado um valor que varia de 0 a 6 para cada amostra, em relação com a extensão ou ocorrência de cada alteração. As pontuações são: (0) sem alteração, (1-2) ocorrência leve, (3-4) ocorrência moderada e (5-6) ocorrência severa. Através do produto de w e α foi possível obter o índice de alteração histopatológica (IH) para cada alteração e a soma do total de alteração para cada amostra, assim podendo alcançar um valor médio para cada espécime avaliado por cada ponto separadamente.

Quando a análise foi realizada em apenas um órgão, foi utilizado o seguinte índice:

Índice do órgão (I org) – representa o grau de dano a um órgão. Um alto índice indica um grau de dano elevado.

$$I \text{ org} = \sum_{pr} \sum_{alt} (a_{org \text{ pr alt}} \times w_{org \text{ pr alt}})$$

Onde: org = órgão (constante); pr = padrão de reação; alt = alteração; a = pontuação; w = fator de importância.

Depois de obter o resultado da equação, foi realizada uma lista com os índices de cada órgão analisado. Com esses dados quantitativos foi então possível realizar a comparação das médias de IH entre as cidades onde os peixes foram capturados.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Foram analisadas 24 lâminas, um total de 12 lâminas para cada espécie de peixe capturada, cada lâmina continha quatro secções de amostras dos tecidos para análise da morfologia dos tecidos e possíveis alterações histopatológicas nos fígados e brânquias dos peixes.

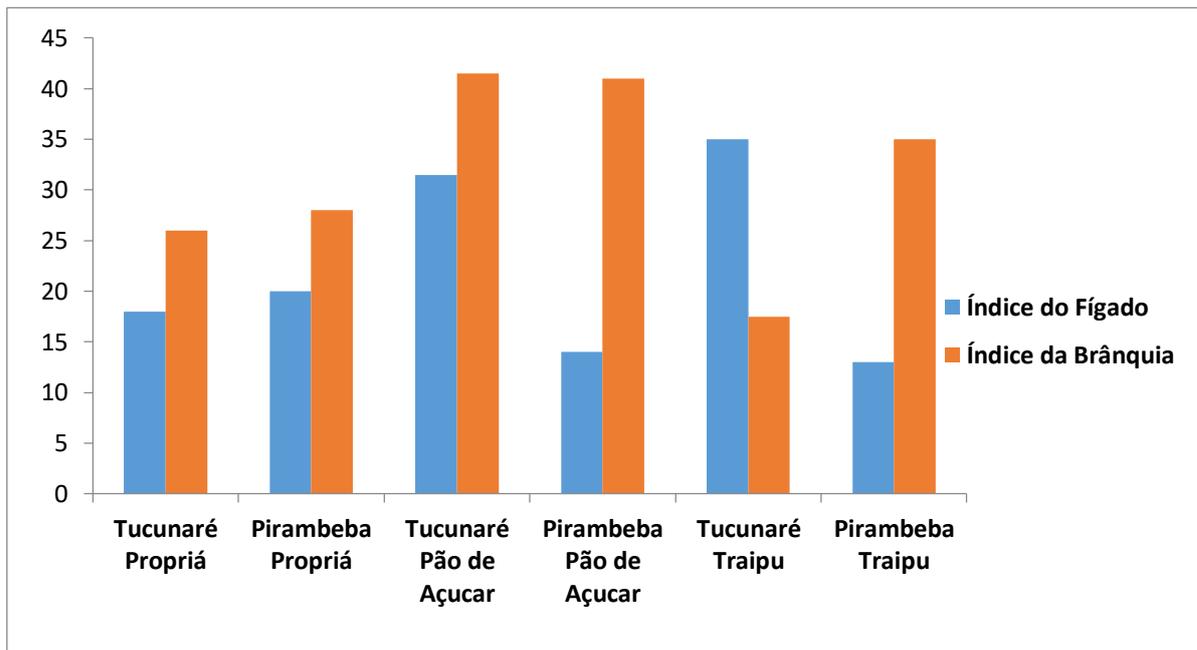
Foi observado que todos os peixes possuíam algum tipo de alteração morfológica, no fígado ou nas brânquias. Alterações no fígado como dilatação dos vasos sinusoides, necrose, núcleo na periferia celular, degeneração do citoplasma, infiltração leucocitária e vacuolização, entre outros, foram encontrados em ambas as espécies analisadas. Já nas brânquias as alterações mais evidentes foram hipertrofia, deslocamento do epitélio lamelar, fusão incompleta das lamelas secundárias e hiperplasia. Com a utilização do índice de Bernet foi possível quantificar as alterações observadas e comparar médias de IH entre as cidades onde os peixes foram capturados (Gráfico 1).

Efluentes industriais, processos de drenagem agrícola, despejo de resíduos químicos e esgotos domésticos, têm um papel significativo na contaminação de corpos d'água pelo elevado número de agentes tóxicos, como metais, pesticidas, além de outros compostos orgânicos e inorgânicos, que impactam diretamente os organismos aquáticos que vivem no meio contaminado. Além disso, esses agentes agressores influenciam no aparecimento de alterações morfológicas e, por consequência, dificultam a realização de funções biológicas uma vez que os órgãos que desenvolvem essas alterações muitas vezes têm suas funções comprometidas quando em contato por períodos mais prolongados com poluentes, ou até mesmo podem resultar na morte do indivíduo (TANAKA, 2018).

De acordo com os resultados encontrados através do índice de Bernet (Gráfico 1) é observado que a cidade Pão de Açúcar onde, foi observado maior despejo de esgoto doméstico é o local que corresponde ao maior índice de alterações, na mesma cidade, é possível ver uma diferença no valor de alterações entre fígado e brânquia, com brânquias tendo um maior índice de alterações na maioria dos casos (Gráfico 1), isso pode ter relação com o fato das brânquias estarem em contato direto com o meio contaminado pelo agente agressor (FONTAÍNHAS-FERNANDES et al. 2008), uma vez que alterações como hiperplasia e hipertrofia surgem como forma de defesa do organismo para reduzir a área vulnerável das brânquias (LEONARDO et al. 2001), pode existir relação com essa defesa do organismo e o maior índice de alterações encontrados encontrado.

Em relação as espécies, as pirambebas apresentaram uma maior média de alterações, que pode estar relacionado com seu comportamento carnívoro e bentopelágico, deixando-a exposta a maiores quantidades e concentrações de agentes agressores como mostrado por Lopes e Oliveira-silva (2019).

Gráfico 1. Comparação das alterações patológicas médias de fígado e brânquias de Tucunaré e Pirambeba dos pontos Propriá, Pão de Açúcar e Traipu de acordo com o índice de patologias proposto por Bernet et al. (1999).



4.1 Fígado

Através da análise do tecido hepático, constatou-se que todos os indivíduos apresentaram mais de uma alteração histopatológica. As alterações mais evidentes foram: dilatação dos vasos sinusoides, necrose, núcleo na periferia celular, degeneração do citoplasma, infiltração leucocitária e vacuolização citoplasmática (Figura 6).

A presença de necrose (Figura 6 C, D e E), como observado no tecido do tucunaré e da pirambeba, pode causar problemas na função do órgão (STENTIFORD et al., 2003). Quando a necrose está presente em grande parte do tecido pode causar prejuízos à saúde, além de falha no funcionamento do órgão (RABITTO et al., 2005). Se o estímulo agressor causador da necrose cessar, o tecido danificado consegue se recuperar, uma vez que o tecido celular mesmo agredido e com a presença de necrose mantem-se vivo, isso faz com que a ela seja

considerada uma alteração reversível, ainda que a célula sofra alterações funcionais e morfológicas (KUMAR et al., 2015).

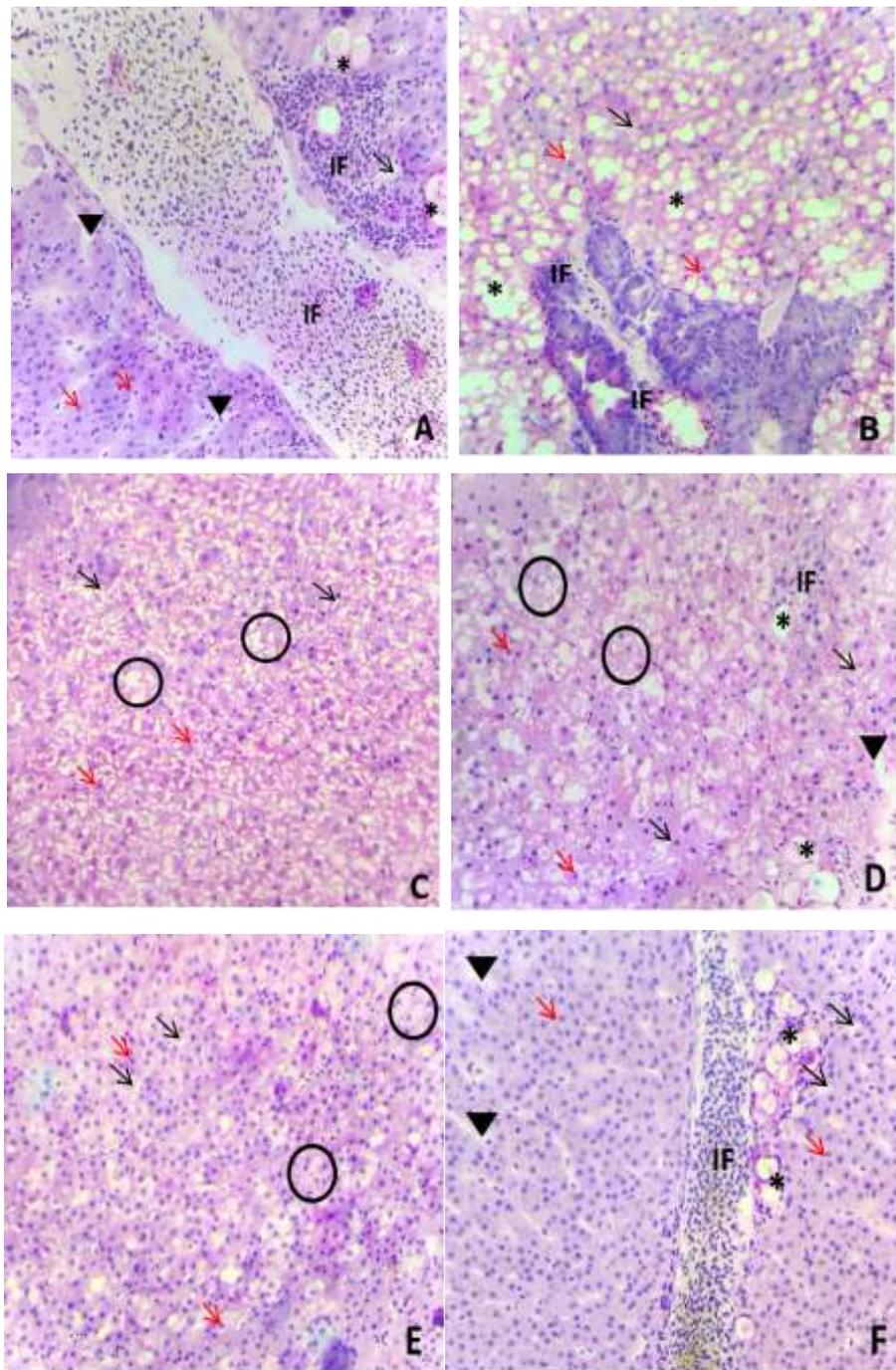
Alguns contaminantes que provêm do petróleo ao entrar em contato com indivíduos podem resultar na perda do limite celular (Figura 6 A, B, C, D, E e F), como observado por Akaishi (et al., 2004) com *Astyanax sp*, que assim como a pirambeba também é um Characiforme, isso pode ocasionar graves consequências para as funções hepáticas devido a alteração na distribuição de organelas. As causas de necrose podem ser variadas, uma delas é o processo de conversão de contaminantes em substâncias danosas reativas ao metabolismo, levando assim à necrose por lesões peroxidativas dos lipídios. Resultados semelhantes encontrados em espécimes de *Brachyplatystoma rousseauxii* que foram coletados na Baía do Guajará, uma região que assim como o Rio São Francisco, também possui uma grande influência antrópica (ROCHA et al., 2010).

A vacuolização (Figura 6 A, B, D e E) é um fenômeno morfológico observado comumente em células animais após exposição a patógenos bacterianos, virais, e também vários compostos naturais e artificiais, ele se dá coma formação de vacúolos *in vivo* ou em cultura, podendo ser reversível ou não. A vacuolização frequentemente acompanha a morte celular desde que o estímulo citotóxico continue presente (SHUBIN et al., 2016).

A infiltração leucocitária (Figura 6 A e F) no fígado estava presente em todos os indivíduos analisados. Substâncias nocivas externas e/ou patogênicas geralmente estão associadas à presença dessa alteração, uma vez que a mesma é uma forma de resposta de defesa do organismo, podendo ser caracterizada pela presença de um ou mais tipos de leucócitos (MELO et al., 2019). Como visto por Melo et al. (2019) no trabalho com *Prochilodus argenteus*, onde observou a influência de herbicidas utilizados em áreas de plantio nas margens do Rio São Francisco, foi observado que a influência de agroquímicos comuns nas plantações causam alterações como infiltração leucocitária, isso corrobora para acreditar que as alterações encontradas em todos os peixes foi influenciada pela presença de agroquímicos que são encontrados nas plantações que margeiam o rio e são lixiviados através das chuvas.

Quando o tecido é exposto a estímulos físico ou químicos que possam comprometer a sua integridade, ocorre a tentativa de manter a mesma através da liberação de líquido e células dos vasos na região levando assim ao processo de infiltração leucocitária (PINHEIRO et al., 2017). Sua presença em todas as amostras analisadas pode significar que os peixes coletados no Baixo São Francisco passaram por períodos de exposição a agentes físicos ou químicos que causaram estresse a esses animais.

Figura 6 – Fotomicrografias do tecido hepático do tucunaré e pirambeba. **A, B e C)** Tucunarés coletados em Propriá, Pão de Açúcar e Traipu respectivamente, apresentando dilatação dos vasos sinusoides (ponta de seta), necrose (círculo), núcleo na periferia celular (seta vermelha), degeneração do citoplasma (seta preta) infiltração leucocitária (IF) e vacuolização (*). **D, E e F)** Pirambebas coletadas em Propriá, Pão de Açúcar e Traipu respectivamente, apresentando dilatação dos vasos sinusoides (ponta de seta), necrose (círculo), núcleo na periferia celular (seta vermelha), degeneração do citoplasma (seta preta) infiltração leucocitária (IF) e vacuolização (*).



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

4.2 Brânquias

As alterações observadas nas brânquias dos peixes coletados no Baixo São Francisco consistiram principalmente em hipertrofia e hiperplasia das células epiteliais (Figura 7 A, B, C, D, E e F), que em algumas amostras ocasionou fusão lamelar completa ou incompleta das lamelas secundárias (Figura 7 A, B, C, D, E e F), que pode resultar na dificuldade ou até mesmo impedimento da passagem de água e causar dificuldade na respiração. A hiperplasia é uma forma de defesa do organismo contra essas substâncias nocivas, uma vez que aumenta a distância que os compostos presentes na água precisam percorrer para chegar à corrente sanguínea (ERKEM e KOLANKAYA, 2000).

Alterações semelhantes às encontradas nos peixes do Baixo São Francisco foram relatadas em trabalhos em regiões onde ocorre atividades como a agropecuária ou atividades recorrentes da urbanização e falta de planejamento sobre o descarte de esgoto doméstico e industrial (LEONARDO 1999; CAVICHILO 2000; CERQUEIRA e FERNANDES, 2002; FIGUEIREDO-FERNANDES et al. 2007; GARCIA-SANTOS et al. 2007; FONTAÍNHAS-FERNANDES et al. 2008).

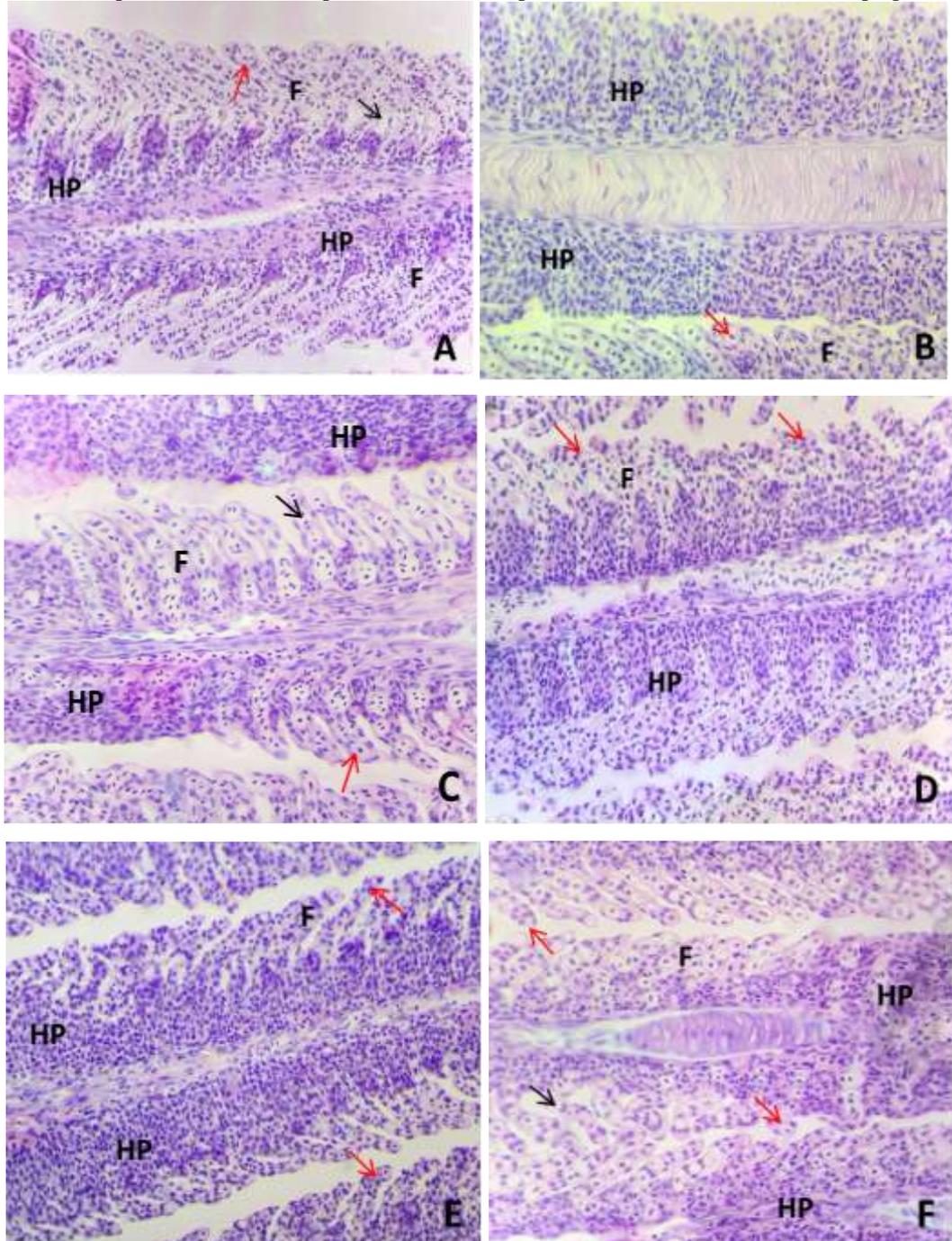
Condições como o contato com agroquímicos, dejetos de residências e indústrias descartados nos corpos d'água podem levar ao comprometimento da estrutura das brânquias, isso ocorre como uma forma de defesa a infecções causadas por bactérias, vírus ou agentes químicos. Levando ao aparecimento de alterações histológicas como edema e hiperplasia epitelial das lamelas secundárias, infiltração de células epiteliais, fusão lamelar, assim como a morte de células mucosas (Figura 7 A, B, C, D, E e F) (LEONARDO 1999; CAVICHILO 2000; FIGUEIREDO-FERNANDES et al. 2007; GARCIA-SANTOS et al. 2007; FONTAÍNHAS-FERNANDES et al. 2008).

A fusão lamelar, por acarretar a diminuição da superfície vulnerável da brânquia, pode ser classificada como de caráter protetor (DANTAS et al., 2020; PEREIRA et al., 2020 e SHAHID et al., 2021), no entanto, pode dificultar o processo de troca de substâncias do indivíduo com o meio. Esse tipo de alterações morfológicas são uma tentativa do organismo de se defender, impedindo a passagem de substâncias nocivas ao interior do organismo, até mesmo impedindo maiores danos devido à exposição à substância causadora do estresse (CERQUEIRA e FERNANDES, 2002).

A hiperplasia e a hipertrofia (Figura 7 A, B, C, D, E e F) são alterações comumente observadas em situações em que o peixe passa por um momento de contato prolongado com um agente estressor, ambas são resultado de proliferação e hipersecreção de células mucosas, sendo vistas como um mecanismo de defesa em função de uma resposta defensiva crônica.

Fracácio et al. (2003), estudando espécies da família Cyprinidae e Leonardo et al. (2001) estudando *Oreochromis niloticus*, encontraram alterações nas brânquias como hiperplasia e fusão lamelar, tais alterações podem comprometer a função branquial e conseqüentemente a sobrevivência do organismo afetado.

Figura 7. Fotomicrografias de brânquias de tucunaré e pirambeba. **A, B e C)** Tucunarés coletados em Propriá, Pão de Açúcar e Traipu respectivamente, apresentando hipertrofia (seta vermelhas), deslocamento do epitélio lamelar (setas pretas), fusão incompleta das lamelas secundárias (F) hiperplasia (HP). **D, E e F)** Pirambebas coletados em Propriá, Pão de Açúcar e Traipu respectivamente, apresentando hipertrofia (seta vermelhas), deslocamento do epitélio lamelar (setas pretas), fusão incompleta das lamelas secundárias (F) hiperplasia (HP).



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Considerando que a área de estudo está localizada em uma região com grande atividade agropecuária e onde há despejo de efluentes não tratados no rio, é possível relacionar as patologias encontradas nos espécimes estudados à presença de substâncias tóxicas agressoras no rio. Além das reduções das vazões no rio que ocasiona menor diluição dos poluentes químicos solúveis (SOARES et al., 2020; RAMOS, 2020).

A soma desses fatores produz um grande impacto ambiental, responsável por alterações histopatológicas nos peixes, além da degradação da qualidade de água e a possibilidade de eliminar espécies da fauna e flora presentes no rio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram a existência de alterações histopatológicas em todos os peixes analisados, indicando que a saúde desses animais está sofrendo influência de agentes agressores presente no rio.

As patologias observadas podem estar relacionadas com a contaminação produzida pelos efluentes domésticos e industriais e pelos agroquímicos utilizados nos cultivos da região, pois através da chuva e da degradação de mata ciliar são lixiviados para o rio e até mesmo para os lençóis freáticos.

É importante ressaltar a necessidade da utilização de produtos ecologicamente viáveis para produção agropecuária na região, levando em consideração a existência de pequenos e grandes produtores, que usam agrotóxicos em muitos plantios e pode influenciar de maneira negativa a qualidade de vida dos peixes analisados.

Uma vez que a relação entre qualidade de água e saúde dos animais já foi demonstrada de forma ampla em diversos estudos, os resultados do presente trabalho demonstram a necessidade do tratamento dos resíduos que são despejados nas águas, de forma a reduzir o impacto no rio e em suas comunidades.

REFERÊNCIAS

- AKAISHI, F. M. et al. Morphological and neurotoxicological findings in tropical freshwater fish (*Astyanax* sp.) after waterborne and acute exposure to Water Soluble Fraction (WSF) of Crude Oil. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 46, p. 244–253, 2004.
- BARBOSA, J. M. e SOARES, E. C. Perfil da ictiofauna da bacia do São Francisco: estudo preliminar. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 4, n. 1, p. 155-172, 2009.
- BERNET, D.; SCHMIDT, H.; MEIER, W.; BURKHARDT-HOLM, P.; WAHLI, T. – Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of Fish Diseases**, n. 22, p. 22-34, 1999.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco**. Brasília – DF: MMA, 2006.
- CARVALHO, K. M. et al. Rio abaixo, rio acima: o pescador, o rio e os riscos no Baixo São Francisco. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, 2020.
- CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES (CAS). **Catalog of fishes**. Disponível em <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp>, acessado em novembro de 2022.
- CAVICHIOLO F. Efeito da vitamina C (ácido ascórbico) na ocorrência de ectoparasitas e nas alterações histológicas em alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Dissertação de Mestrado em Zootecnia**, Universidade Estadual de Maringá, Paraná. 61p., 2000.
- CERQUEIRA, C.C.C. e FERNANDES, M. N. Gill tissue recovery after copper exposure and blood parameter responses in the tropical fish *Prochilodus scrofa*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 52, p. 83- 91, 2002.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **A Bacia**. CBHESF. 2014. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.
- COSTA REZENDE, P. e MATA OLIVEIRA, I. Descrição socioeconômica dos pescadores no Baixo São Francisco, Nordeste-Brasil. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, 2015.
- DA SILVA, M. R. S. et al. Análise da variação temporal da carga de fósforo no Baixo Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 02, p. 872-885, 2022.
- DANTAS, P. C. et al. Caracterização morfológica do intestino, fígado e brânquias de peixes do Baixo São Francisco: estudo histopatológico e histoquímico. *In*: SOARES, E.C. et al. **O Baixo São Francisco: características ambientais e sociais**. Maceio, Edufal. 2020. 140p.
- ERKEM, B. e KOLANKAYA, D. Effects of water quality on epithelial morphology in the gill of *Capoeta tinca* living in two tributaries of Kizilirmak River, Turkey. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 64, p. 418- 425, 2000.

FIGUEIREDO-FERNANDES, A. et al. Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, exposed to waterborne copper. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 27, p. 103–109, mar. 2007a.

FONTAÍNHAS-FERNANDES, A. et al. Gill histopathological alterations in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* exposed to treated sewage Water. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, p. 1057–1063, out. 2008.

FRACÁCIO, R. et al. Alterations on growth and gill morphology of Danio rerio (Pisces, Ciprinidae) exposed to the toxic sediments. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, p. 685–695, dez. 2003.

GARCIA-SANTOS S. et al. Alterações histológicas em brânquias de tilápias nilóticas *Oreochromis niloticus* causadas pelo cádmio. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** 59:376-381, 2007.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco**. Brasília: MMA, 2017.

JUNIOR, R. F. da S. C. A INTRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO TUCUNARÉ-AZUL E DO TAMBAQUI NO PANTANAL CORUMBAENSE. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 19, n. 1, pág. 01-15, 2022.

KUMAR, V. et al. **Robbins e Cotran: Patologia – Bases Patológicas das Doenças**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

LEONARDO J.M.L.O. 1999. Efeito da Vitamina C em larvas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de origem tailandesa. **Dissertação de Mestrado em Zootecnia**, Universidade Estadual de Maringá, Paraná. 55p.

LEONARDO J.M.L.O. et al. **Histologia das Brânquias de larvas de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.) de origem tailandesa, submetidas a diferentes níveis de vitamina C**. Acta Sci. 23:863-870, 2001.

LOPES, P. R. D. e OLIVEIRA-SILVA, J. T.. Nota Sobre a Alimentação da Pirambeba *Serrasalmus Brandti* (Lütken, 1875) (*Actinopterygii: Serrasalminidae*) no Estado da Bahia, Região Nordeste do Brasil. **Revista Mosaicum** - Ano 15, v. 29, n. 1 - Jan./Jun. 2019.

MALLATT J. **Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritantes: a statistical Review**. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42:630-648, 1985.

MATOS, S. M. S. e BECKER, E. B. Privatização, Poluição e Lucro na Região do Baixo São Francisco-Se: Uma Abordagem Sob a Perspectiva da Ética Socioambiental. **PROMETHEUS** – N. 34 – September / December - August 2020 - E-ISSN: 2176-5960

MELO, W. S. **Avaliação do efeito inibitório do metribuzin na atividade de catalase hepática de *Prochilodus Argenteus***. 2019. 51 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Química: Licenciatura) - Instituto de Química e Biotecnologia, Curso de Graduação em Química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

MURLI K. M. D. Patterns of Necrosis in Liver Disease. **Clinical liver disease**, v. 10, no 2, august 2017.

NASCIMENTO, F. L.; CATELLA, A. C.; MORAES, A. S. **Distribuição espacial do tucunare, *Cichla sp* (Pisces, cichlidae), peixe amazônico introduzido no Pantanal, Brasil.** 2001.

OLIVEIRA, K. K. C. **Estrutura Genética e Manejo Reprodutivo Para Recuperação Do Piau-Verdadeiro, *Leporinus Obtusidens*, No Rio São Francisco.** 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

PEREIRA, N. J. et al. Biomarcadores histológicos em brânquias de peixes na avaliação da contaminação ambiental do Rio Mearim, Nordeste brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 68063-68079, 2020.

PINHEIRO, K. B. S. et al. Histopatologia do fígado de *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 proveniente de área sobre influência de mineração na Amazônia Oriental, Brasil. **Biota Amazonia**, v. 7, n. 3, p. 74-78, 2017.

RABITTO, I. S. et al. - Effects of dietary Pb (II) and tributyltin on neotropical fish, *Hoplias malabaricus*: histopathological and biochemical findings. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 60, n. 147-156, 2005.

RAMOS, L. P. N. et al. Evaluation of the cytotoxic and genotoxic effect of *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae) root cells after exposure in water samples of five lakes of Alta Floresta, State of Mato Grosso. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, n. 1, 2020.

REIS NETO, J. et al. Manejo alimentar para Curimatã-pacu *Prochilodus argenteus* (SPIX e AGASSIZ, 1829) envolvendo ciclos curtos de restrição alimentar e realimentação. 2019. **Revista Principia**. João Pessoa, v. 59, n. 1, p. 222-233, mar. 2022.

REZENDE, P. C. OLIVEIRA, I. M. **Descrição socioeconômica dos pescadores no baixo São Francisco, Nordeste-Brasil.** 2015. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rde/article/view/4030/2752>. Acesso em: 15 abr. 2020.

ROCHA, R. M. et al. Avaliação histopatológica do fígado de *Brachyplatystoma rousseauxii* (castelnau, 1855) da baía do Guajará, Belém, Pará. **Ciência Animal Brasileira.**, v. 11, n. 1, p. 101-109, 2010.

SANTOS, A. E. et al. (2016). Development of the digestive system in larvae of the Neotropical fish *Prochilodus argenteus* (Characiformes, Prochilodontidae). *Acta Scientiarum*, **38**, 9–16.

SANTOS, G. M. e SANTOS, C. M. Sustentabilidade da pesca na Amazônia. Dossiê Amazônia Brasileira II, São Paulo. **Estudos Avançados**. v. 19, n. 54, 2005.

SEDEÑO-DÍAZ, J. E. e LÓPEZ-LÓPEZ, E. Fresh water fish as sentinel organism: from the molecular to the population level, a Review. **New advances and contributions to fish biology**, 2013.

SHAHID, S. et al. Alterações histopatológicas em brânquias, fígado, rim e músculos de *Ictalurus punctatus* coletados em áreas poluídas do rio. **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, n. 3, p. 814-821, 2021.

- SHUBIN, A. V. et al. Cytoplasmic vacuolization in cell death and survival. **Oncotarget**, v. 7, n. 34, p. 55863–55889, 17 jun. 2016.
- SILVA, J. et al. Biomonitoramento ambiental. In: Silva J, Erdtmann B and Henriques J (eds) **Genética Toxicológica**. Alcance, Porto Alegre, p. 167- 178, 2003.
- SILVA, L. M. S. **Formação de coleção de referência para o Baixo São Francisco: os peixes**. 2017. Universidade Federal de Sergipe - Pró-reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - Coordenação de Pesquisa (Dissertação de pós-graduação). Laranjeiras, SE. 2017.
- SILVA, J. V. et al. Matas ciliares, assoreamento e educação ambiental no Baixo São Francisco. **Expedição Científica do Rio São Francis**, 2018.
- SOARES, E. C. et al. O Baixo São Francisco: características ambientais e sociais. Maceió, AL: **EDUFAL**; 2020. 401 p.
- SOUSA, I. F. et al. Olhar dos recursos e do meio ambiente do estado de Sergipe. Belo Horizonte–MG: **Poisson**, 2020.
- STENTIFORD, G.D. et al. Histopathological biomarkers in estuarine fish species for the assessment of biological effects of contaminants. **Marine Environmental Research**, n. 55.2, p.17 – 159, 2003.
- THOPHON, S. M et al. Histopathological alterations of white seabass, *Lates calcarifer* in acute and subchronic cadmium exposure. **Environmental Pollution, Barking**, v. 121, p. 307-320, 2003.
- TANAKA, R. A. Digestibilidade aparente de ingredientes, parâmetros bioquímicos sanguíneos e morfometria intestinal de Piapara (*Leporinus obtusidens*). 2018.
- ZELHUBER, A. e SIQUEIRA, R. Rio São Francisco em descaminho: degradação e revitalização. **Cadernos do CEAS: Revista Crítica de Humanidades CEAS**. UCSal UNICAP, 2007.
- ZILIO, B. L. et al. USO DE PEIXES COMO BIOINDICADORES DE POLUIÇÃO AMBIENTAL NO LAGO SÃO BERNARDO, SÃO FRANCISCO DE PAULA, RS. In: **V Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão & Ia Jornada de Pós-graduação da UERGS**. 2015.