

CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS EM FÍGADO DE PEIXES ILIÓFAGOS EM UM RIO URBANIZADO DE CLIMA SUBTROPICAL NO SUL DA AMÉRICA DO SUL

MICROPLASTIC CONTAMINATION IN THE LIVER OF ILIOPHAGOUS FISH IN AN URBANIZED RIVER IN THE SUBTROPICAL CLIMATE OF SOUTHERN SOUTH AMERICA

¹Daniela da Cunha Silveira, ²Luciana Paulo Gomes, ²Marcelo Oliveira Caetano, ³Kelly Correia de Lima, ¹Victor Hugo Valiati

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), PPG Biologia. ² Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), PPG Engenharia Civil. ³ Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Bacharelado em Biologia. danicunha.unisinos@gmail.com

RESUMO

Os microplásticos (MPs) foram detectados em uma variedade de ecossistemas, incluindo os ambientes atmosféricos, aquáticos e terrestres. São encontrados nos órgãos e sistemas dos organismos que habitam esses ambientes. Entretanto, pouco se sabe sobre os reais danos causados na saúde dos vertebrados, incluindo os humanos. Diante disso, o presente estudo investigou a presença de MPs no fígado de 54 peixes da espécie *Cyphocharax voga* do Rio dos Sinos, um rio urbano situado no sul da América do Sul. Explorou-se a relação entre a concentração de MPs e o fator de condição (K_n) dos peixes, revelando não haver associação significativa entre a concentração média de MPs por grama de tecido hepático e o fator de condição K_n . A análise destaca a complexidade das interações entre MPs e organismos aquáticos, enfatizando a necessidade de avaliações abrangentes dos riscos e impactos dos microplásticos em ecossistemas aquáticos.

PALAVRAS-CHAVE: Polímeros, Peixes de água doce, Fator de condição, Dimorfismo sexual.

ABSTRACT

Microplastics (MPs) have been detected in a variety of ecosystems, including atmospheric, aquatic, and terrestrial environments. They have also been found in the organs and systems of organisms inhabiting these environments. However, little is known about the actual health effects on vertebrates, including humans. Therefore, the present study investigated the presence of MPs in the liver of 54 *Cyphocharax voga* fish from the Rio dos Sinos, an urban river located in southern South America. It explored the relationship between MP concentration and the condition factor (K_n) of the fish, revealing no significant association between the average concentration of MPs per gram of liver tissue and the K_n condition factor. The analysis highlights the complexity of interactions between MPs and aquatic organisms, emphasizing the need for comprehensive assessments of the risks and impacts of microplastics in aquatic ecosystems.

KEYWORD: Polymers, Freshwater Fish, Condition Factor, Sexual Dimorphism.

INTRODUÇÃO

Partículas de plástico foram encontradas em sedimentos marinhos e de água doce, água subterrânea, gelo antártico, bebidas, alimentos e até mesmo em plantas¹, bem como em peixes de água doce².

Embora o mecanismo preciso de acumulação e transferência de MPs não tenha sido totalmente compreendido alguns estudos sugerem que o trato gastrointestinal é um dos principais pontos de entrada para a contaminação de outros órgãos e tecidos em animais, seja por transferência trófica ou ingestão direta de partículas de plástico presentes no ambiente¹.

O crescimento dos peixes, essencialmente avaliado pelo peso e comprimento corporal, é influenciado por fatores endógenos (herança genética e ação hormonal) e exógenos (elementos ambientais, especialmente alimentação). Índices como o fator de condição (K_n) e a relação peso-comprimento são fundamentais no estudo da biologia de peixes. Uma aptidão global para espécies de peixes é assumida quando os valores de K_n são iguais ou próximos de 1, sendo fundamental em estudos de biologia animal e pesqueira, proporcionando uma análise abrangente do bem-estar e do ciclo de vida das espécies³.

Esse fator possibilita uma análise abrangente sobre como fatores alimentares e ambientais, incluindo a poluição por microplásticos, podem impactar o ciclo de vida dessas espécies.

No estado do Rio Grande do Sul, situado na região sul do Brasil, o Rio dos Sinos se destaca como um corpo d'água de uso múltiplo que sofre consideráveis impactos a partir da extensa e diversificada atividade antrópica. Este rio desempenha um papel fundamental, fornecendo água para consumo para uma população de 1,3 milhão de habitantes e diferentes atividades industriais, agrícolas e pecuária desenvolvidas na região.

As regiões médias e baixas da bacia do Rio dos Sinos experimentam alterações ambientais substanciais. Nesses locais, os riachos que compõem a rede hidrográfica da bacia atravessam centros urbanos de alta densidade populacional e intensa atividade industrial. Os principais desafios que afetam negativamente os afluentes do Rio dos Sinos incluem a contaminação oriunda pelo lançamento de esgotos domésticos e industriais em áreas urbanas. Estudos que investigaram a presença de MPs na água do Rio dos Sinos constataram que as concentrações de MPs no Rio dos Sinos (média de 330,2 partículas/L) assemelharam-se às

de outros rios em áreas densamente povoadas. Eles atribuíram as elevadas concentrações à presença de esgoto doméstico não tratado⁴.

A espécie *Cyphocharax voga* (Hensel, 1870) é amplamente distribuída e abundante no sul da América do Sul, ocorrendo desde a bacia do rio Paraguai até os sistemas hidrográficos costeiros sul-americanos. Pertencente à família Curimatidae, essa espécie é caracterizada por ser desdentada e pertencer a um grupo de nadadores ativos que se alimentam de areia e detritos, geralmente agrupando-se próximos ao fundo em águas abertas⁵.

Os hábitos alimentares de *C. voga* são diversos, abrangendo uma dieta predominantemente detritívora que inclui cladóceros, algas filamentosas, sedimentos e microrganismos. Devido à sua alimentação especializada em lodo ou detrito, a espécie é classificada como Iliófago⁵.

Embora a presença de MPs em peixes e a relação entre seus hábitos alimentares e a ingestão de plástico sejam tópicos já abordados, poucos analisaram a presença de MPs no fígado dos peixes e sua relação com o fator K_n dessas espécies.

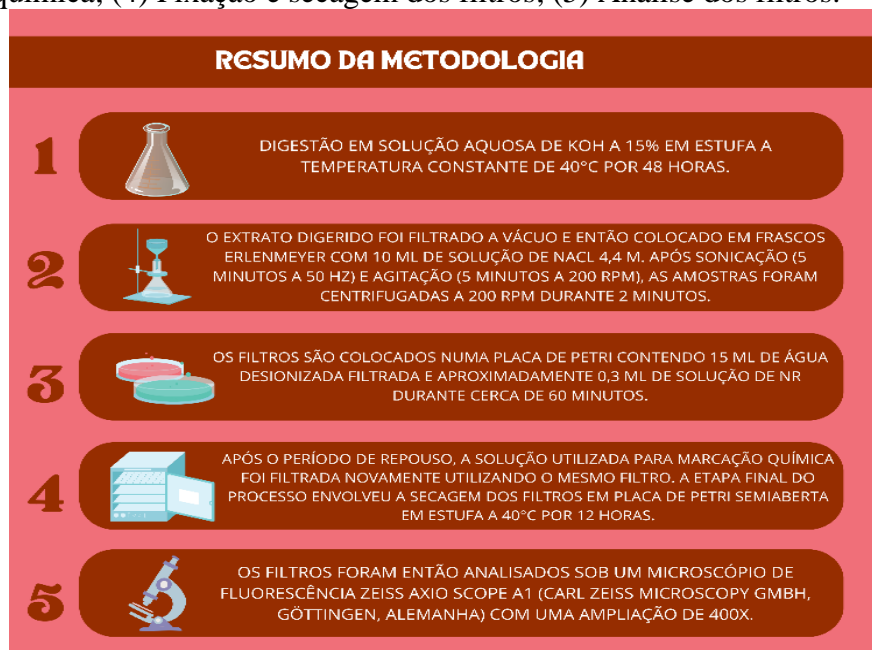
Os MPs podem seguir três possíveis caminhos ao entrarem no organismo: ser prontamente excretados de volta ao ambiente, permanecer internamente retidos, sujeitos à degradação física e química, ou ser assimilados nos tecidos e órgãos⁶. Compreender a distribuição e o acúmulo desses poluentes nos tecidos é de suma importância para avaliar os potenciais impactos na saúde dos organismos e, por consequência, na cadeia alimentar. Os MPs têm o potencial de afetar a biota em diversos níveis biológicos, desde sistemas celulares e órgãos até os níveis individuais, populacionais e ecossistêmicos⁶.

Este estudo teve como objetivo diagnosticar, analisar e quantificar a presença de MPs nos tecidos hepáticos de *C. voga* do Rio dos Sinos. A hipótese investigada buscou correlacionar a contagem de partículas por unidade de peso (MPs/g) no fígado com o fator K_n dos peixes amostrados. Essa abordagem se fundamenta em estudos sobre a fisiologia de peixes, os quais indicam que a corrente sanguínea e, posteriormente, o fígado, servem como portas de entrada de nutrientes e, possivelmente, de MPs no organismo⁷.

METODOLOGIA

Na Figura 1, apresenta-se um infográfico resumindo a metodologia aplicada no estudo, delineando os passos-chave adotados para a coleta de dados e a análise subsequente.

Figura 1. Resumo metodologia. (1) Digestão dos tecidos; (2) Extração dos MPs; (3) Marcação química; (4) Fixação e secagem dos filtros; (5) Análise dos filtros.



O Nile Red (NR) (9-dietilamino-5H-benzo(α) fenoxazinona-5-ona) tem demonstrado ser um corante adequado para análise de MPs devido à sua afinidade com uma grande variedade de polímeros, pouco tempo de incubação, alta adsorção, intensidade de fluorescência e baixo custo⁸ e vem sendo, nos últimos anos, utilizado em diversos estudos⁹.

A identificação de partículas plásticas coradas com NR foi realizada utilizando os mesmos parâmetros de estudos que investigaram técnicas de triagem rápida para detectar e quantificar MPs no mesmo microscópio de fluorescência e mesma ampliação (40x). O corante NR tem a capacidade de adsorver em superfícies plásticas, tornando-as fluorescentes e possibilitando a identificação e contagem de partículas de tamanho muito reduzido ($\leq 3 \mu\text{m}$)⁹

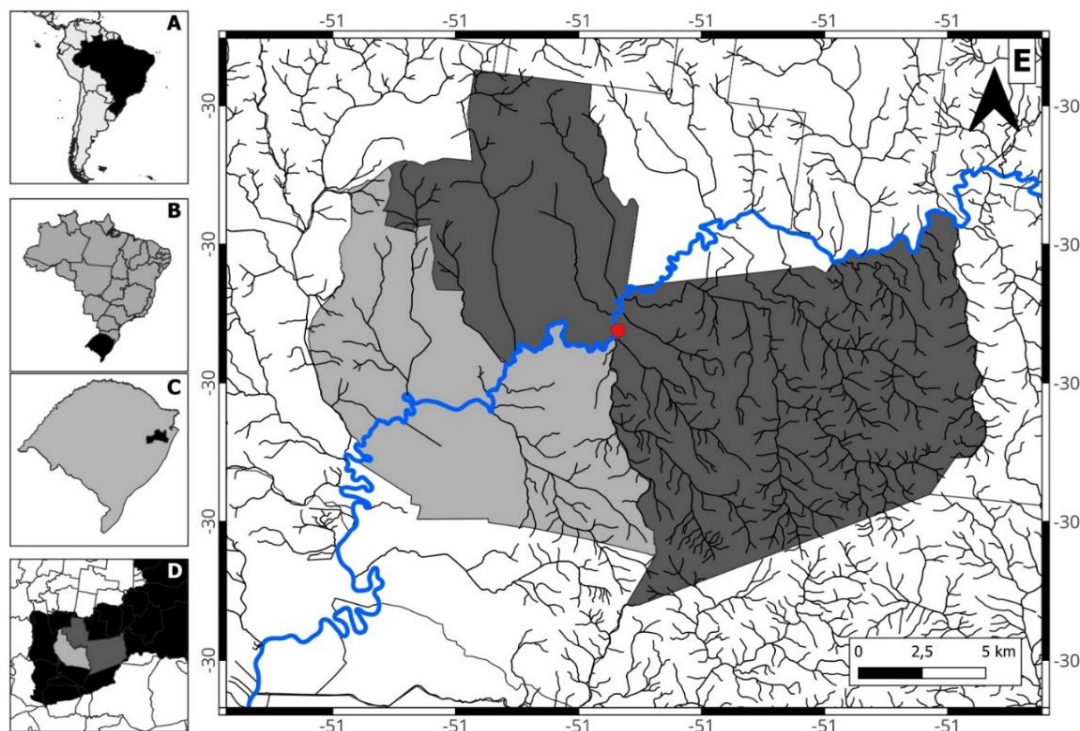
A Bacia do Rio dos Sinos, localizada no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil, abrange aproximadamente 3.800 km², incluindo 32 municípios, e destaca-se como um importante centro industrial no país. A Bacia é subdividida em três partes distintas: uma

superior, com baixa densidade populacional e atividades agrícolas, uma intermediária com maior população e indústrias, e uma inferior densamente povoada com foco nas indústrias de couro, calçados, metalurgia e petroquímica.

O Rio dos Sinos é reconhecido por ser um dos principais rios do Estado. Entre os rios mais poluídos do Brasil, o Rio dos Sinos apresenta um baixo índice tratamento de esgoto, o que, combinado com a alta concentração de indústrias e intensa atividade agrícola na região, resulta em numerosos impactos sobre um volume relativamente pequeno de água.

Para este estudo, um total de 54 peixes da espécie *C. voga*, já mortos e mantidos em gelo, foram doados por pescadores da localidade de Santo Afonso, no médio Sinos em Novo Hamburgo, RS (Figura 2), no período entre abril e maio de 2022. Os peixes foram devidamente armazenados.

Figura 2. (a) América do sul; (b) Rio Grande do Sul; (c) Localização no mapa do RS da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos; (c) Localização da Cidade de Novo Hamburgo em relação a bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos; (e) Coordenadas ponto de coleta na localidade de Prainha no Rio dos Sinos.



No laboratório, o comprimento total (cm) dos peixes foi medido desde a ponta do focinho ou parte da boca até a nadadeira caudal utilizando um ictiômetro de alumínio milimetrado de 50 cm. A massa total foi determinada utilizando uma balança de plataforma

Mettler Toledo SB12001 com uma precisão de 0,1 gramas. Essas medições foram posteriormente utilizadas para calcular o Fator de Condição K_n de cada indivíduo.

Após o registro dos dados biométricos, os peixes foram dissecados para extrair o tecido hepático, que foi então preservado no freezer a -20°C até o momento do processamento. As amostras de fígado variaram de $0,36 \pm 0,22\text{g}$ (em fêmeas) e $0,47 \pm 0,41\text{g}$ (em machos).

Antes de serem processadas, as amostras de fígado passaram por um processo de descongelamento e pesagem.

O protocolo de extração de MPs seguiu metodologias descritas em estudos anteriores, com pequenas modificações⁴. Cada estudo conduziu seus experimentos de forma distinta, adaptando os métodos conforme as necessidades e recursos disponíveis. Um dos estudos utilizou um vortex para agitar as soluções, enquanto este trabalho empregou uma mesa agitadora⁴. Utilizou-se concentração de KOH 15% para a extração do MP e para a separação por densidade foi empregado cloreto de sódio e ainda filtros de celulose.

Após o descongelamento, as amostras foram acondicionadas em frascos de vidro contendo solução aquosa de KOH 15% e mantidas em estufa com temperatura constante de 40°C por 48 horas.

Após 48 horas, as amostras digeridas aproximadamente 50 mL de solução de KOH foram agitadas manualmente e o extrato resultante foi filtrado em filtro de celulose (Whatman 1541047), acoplado a um kitasato e uma bomba de vácuo. Em seguida, os filtros foram alocados em frascos erlenmeyer de vidro, cobertos com papel alumínio e adicionado 10 mL de solução de NaCl 4,4 M. As amostras foram sonicadas a 50 Hz por 5 min, agitadas em um agitador orbital (200 rpm) por 5 min e centrifugadas a 200 rpm por 2 min. O sobrenadante foi filtrado novamente em filtro de celulose (Whatman 1541047) e alocado em uma placa de Petri contendo 15 mL de água deionizada duplamente filtrada e aproximadamente 0,3 mL de solução de Nile Red (1 mg de NR / 1 mL de acetona). A acetona é considerada o solvente ideal para o NR¹⁰.

Os filtros foram deixados em repouso por cerca de 60 minutos para permitir a marcação química dos polímeros presentes neles, após o período de descanso, a solução utilizada para marcação química foi novamente filtrada usando o mesmo filtro. A etapa final

do processo consistiu na secagem dos filtros em placa de Petri semiaberta, em estufa a 40°C, por 12 horas.

Para identificar, quantificar e medir os possíveis MPs presentes nas amostras, os filtros foram analisados utilizando o microscópio de fluorescência AxioScope A1 da Zeiss, com o auxílio do software Axio Vision Rel. 4.8 da Carl Zeiss. Foi empregada uma objetiva de 40x e uma ocular de 10x. A análise foi conduzida sob luz Rodamina comprimento de excitação de ~ 575 – 640 nm e emissão de ~ 590 a 620 nanômetros nm, conforme descrito na literatura¹¹.

Os resultados foram categorizados em partículas, filmes, esferas e fibras¹². As partículas de MPs foram medidas considerando sua maior dimensão, um parâmetro característico para a avaliação do tamanho das partículas¹³. O estudo abrangeu partículas com tamanhos que variam de 1 µm a 1000 µm.

Para prevenir contaminações por MPs durante os procedimentos, foram adotadas medidas rigorosas. Isso incluiu a utilização preferencial de materiais de laboratório (vidrarias e utensílios) feitos de vidro e metal, a lavagem dos equipamentos com detergente e álcool, seguida de duplo enxágue com água deionizada duplamente filtrada e secagem em estufa antes do uso. Além disso, todas as soluções foram preparadas com água deionizada duplamente filtrada e, após o preparo, filtradas novamente. Durante os procedimentos, a sala permaneceu livre de pessoal não essencial, uso de jalecos de 100% algodão, máscaras de 100% algodão e luvas nitrílicas. Brancos de procedimento foram realizados como controle de contaminação.

A contagem de MPs por grama (MPs/g) nas amostras levou em consideração fragmentos, filmes, esferas e fibras, ajustados pelo número de MPs encontrados nos filtros dos brancos de procedimento.

Testes de Normalidade foram realizados no SPSS, onde confirmou-se a distribuição Normal para os três parâmetros estudados: comprimento total, massa total e Microplásticos/g.

Sendo uma distribuição Normal, seguiu-se para a avaliação Anova, Fator único, com intervalo de confiança de 95% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Para investigar a presença de MPs no fígado de *C. voga*, foi utilizada amostra composta por 54 indivíduos, dos quais 25 eram machos e 29 eram fêmeas. A análise revelou que 57,4% dos peixes estavam contaminados por MPs, com uma distribuição diferenciada entre os sexos, sendo 38,7% dos machos e 62,8% das fêmeas afetadas. Além disso, foram registradas medidas de comprimento total dos peixes (média de $18,36 \pm 2,60$ cm), massa total (média de $110,56 \pm 44,61$ g), massa dos fígados (média de $0,41 \pm 0,32$ g) e IHS (porcentagem do fígado em relação ao peso total do peixe) médio de $0,46 \pm 0,52\%$.

Uma das categorias mais comuns de dimorfismo sexual em peixes é, possivelmente, a variação no tamanho do corpo¹⁴. A análise dos dados apresentados nesse estudo contribui para a compreensão da espécie *C. voga*, evidenciando a presença de dimorfismo sexual na espécie, com as fêmeas, em média, exibindo dimensões corporais superiores às dos machos, tanto em relação ao comprimento quanto ao peso (Tabela 1).

Tabela 1. Características de Fêmeas e Machos da espécie *C. voga* estudados.

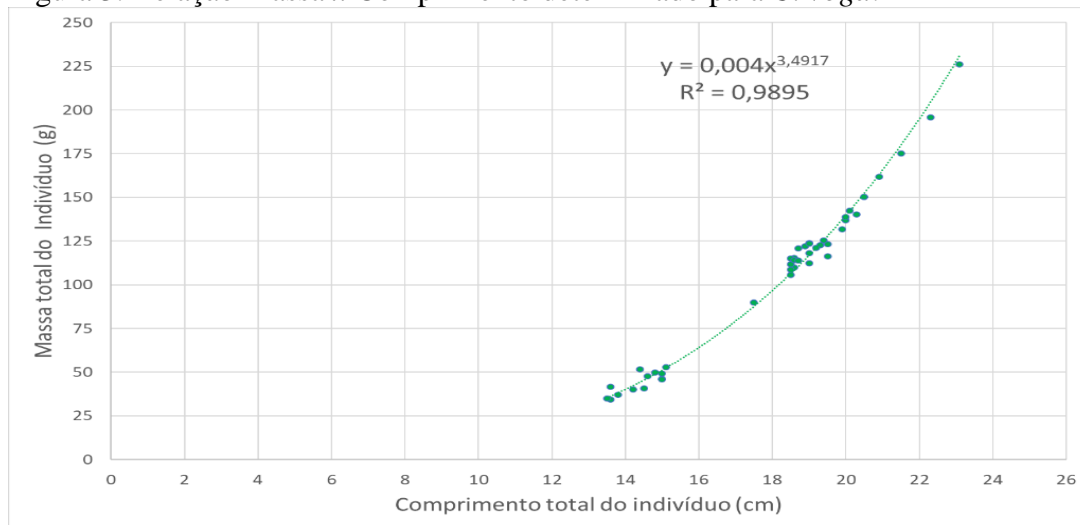
	Fêmeas	Machos
Número de indivíduos	29	25
Comprimento (cm)	$19,56 \pm 1,74$	$16,97 \pm 2,76$
Massa (g)	$132,80 \pm 33,94$	$84,76 \pm 41,96$

Este fenômeno, comum em diversas espécies, pode estar relacionado a adaptações evolutivas, aspectos comportamentais e dinâmicas ecológicas específicas, bem como às distintas funções desempenhadas por cada sexo no contexto reprodutivo¹⁵. Embora a análise dessa característica não estivesse inicialmente dentro do escopo do estudo, os resultados revelaram uma informação importante sobre a espécie. Dada a sua endemicidade na região Sul da América do Sul, mais precisamente no estado do Rio Grande do Sul, e considerando a escassez de estudos sobre *C. voga*, essa descoberta enfatiza a necessidade de pesquisas adicionais para uma compreensão mais abrangente dessa espécie.

A Figura 3 apresenta a equação e o comportamento dos dados de comprimento total e massa total dos peixes da espécie *C. voga* estudados. A equação $M=a.C^b$, onde M é a massa, C é o comprimento total, a e b são coeficientes determinados a partir dos dados observados,

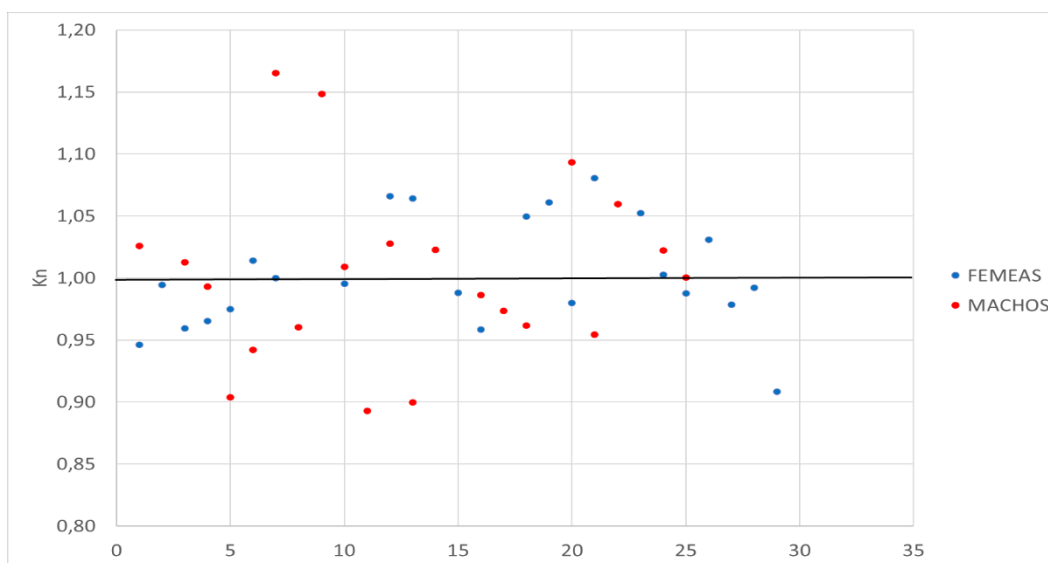
descreve como a massa dos peixes varia em função do comprimento. A relação encontrada sugere que à medida que os peixes crescem em comprimento, sua massa aumenta de acordo com a equação ajustada.

Figura 3. Relação Massa x Comprimento determinado para *C. voga*.



A partir dessa equação, foi calculado o fator de condição K_n para todos os indivíduos, que é um indicador da saúde e bem-estar dos peixes. A Figura 4 ilustra a distribuição dos valores de K_n para a espécie *C. voga* no Rio dos Sinos, comparando cada valor com o valor ideal de 1. Valores de K_n próximos a 1 indicam que os peixes estão em boas condições, enquanto valores divergentes podem sugerir problemas ambientais ou de saúde na população.

Figura 4. Distribuição dos valores de K_n para *C. voga* no Rio dos Sinos.



Foi realizado um teste de ANOVA de fator único ao nível de significância de 95% para verificar se existem diferenças significativas entre machos e fêmeas para o Fator K_n nas amostras de *C. voga*. Os resultados indicaram que não há diferenças significativas entre os grupos ($p = 0,72846$).

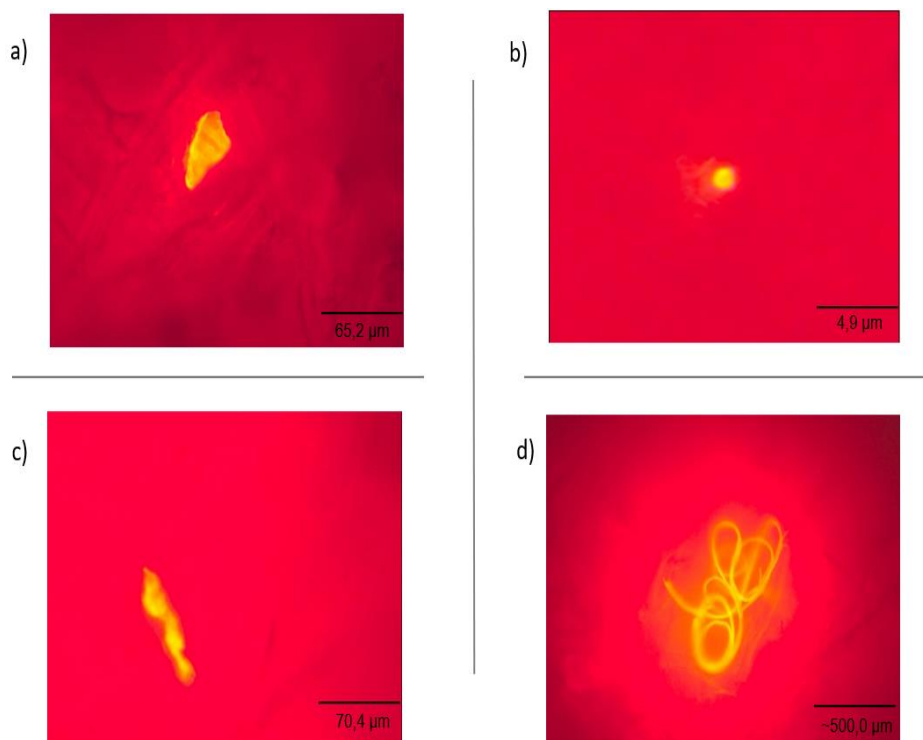
Foi realizada a avaliação das formas MPs encontrados nas amostras. Após a identificação e categorização de todas as partículas, determinou-se a relação MPs/g para cada amostra, somando-se todos os MPs encontrados e subtraindo os presentes nas amostras controle.

Foram observadas quatro formas distintas de partículas: fragmentos, esferas, fibras e filmes. Ao final, procedeu-se à comparação entre as amostras de fêmeas e machos.

As partículas mais frequentes observadas foram fragmentos (69,1%), seguidas por esferas (16,7%), espumas/filmes (13,1%) e fibras (1,2%), sendo estas últimas encontradas em menor quantidade.

A Figura 5, a seguir, exemplifica as diferentes formas de MPs identificadas nas amostras de fígado de *C. voga* estudadas.

Figura 5. Exemplos de partículas plásticas coradas com NR (aumento de 100x e 400x) sob o filtro de fluorescência de Rodamina. (a) Partícula na forma de fragmentos de MPs; (b) Partícula em forma esférica; (c) Partícula em forma de filme; e (d) Partícula em forma de fibra.



Quanto ao tamanho médio das partículas encontradas no fígado, machos apresentaram partículas com tamanho médio de 35,4 μm enquanto as fêmeas apresentaram partículas com tamanho médio de 42,4 μm . Dos 54 peixes amostrados, em 31 fígados foi possível quantificar e analisar as formas de MP presentes. As demais amostras de fígado, por contaminação, foram eliminadas. Das que restaram, ainda 8 foram desconsideradas pela avaliação de outliers no parâmetro MP/g.

Nas fêmeas a média de microplásticos encontrados foi de 77,60 MP/g, com valores variando entre 27,27 e 153,85 MP/g. A maior parte das partículas identificadas eram fibras (média de 27,63 partículas), seguida por fragmentos (11,45 partículas). O coeficiente de variação foi de 49,6%, indicando uma moderada variabilidade entre as amostras.

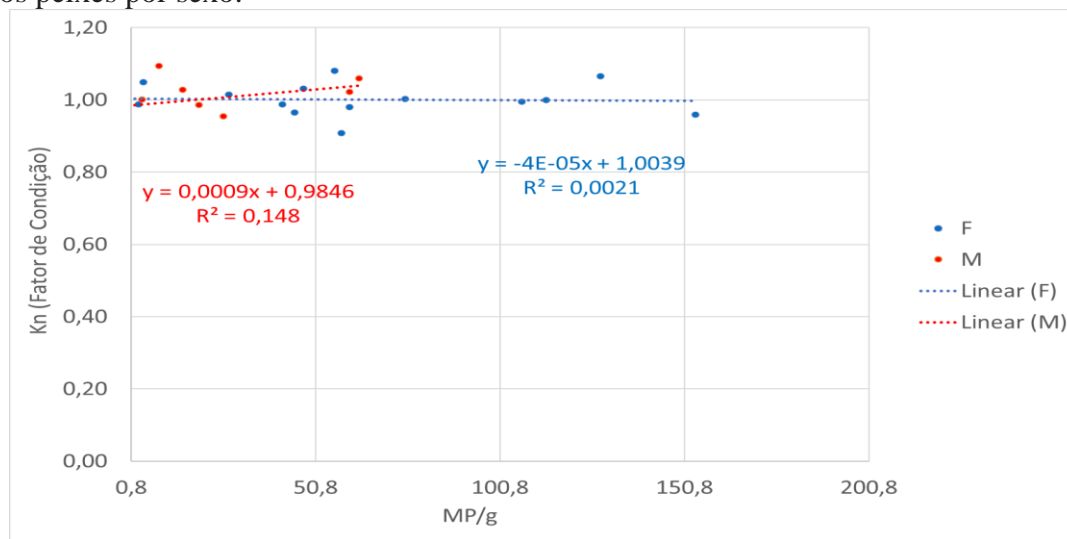
Nos machos, a média de microplásticos foi menor, de 41,51 MP/g, com variações entre 14,81 e 62,50 MP/g. As fibras também foram o tipo mais abundante de partícula (17,17 partículas em média), seguidas pelos fragmentos (3,68 partículas). O coeficiente de variação foi de 50,1%, mostrando uma variabilidade semelhante à observada nas fêmeas.

Realizado o teste de Anova, fator único, ao nível de significância de 95%, existem diferenças significativas entre Machos e Fêmeas para as quantidades de MP/g verificados nas amostras ($p = 0,03891$).

A relação peso-comprimento é uma maneira fácil e rápida de descrever o crescimento, sem levar em conta a idade do peixe. A análise do fator K_n em relação aos MPs é crucial, pois reflete as condições nutricionais e comportamentais das espécies, permitindo detectar alterações na saúde dos peixes.

A análise dos dados (Figura 6) confirma que não há uma relação significativa entre a concentração de MPs/g de tecido hepático e K_n para ambos os sexos dos peixes. Para as fêmeas, a linha de tendência apresentou um coeficiente de determinação (R^2) muito baixo de 0.0021, indicando uma correlação praticamente inexistente. Já para os machos, a linha de tendência também mostrou um R^2 baixo de 0.148, sugerindo que a concentração de MPs explica apenas uma pequena parte da variação no fator de condição. Esses achados indicam que a presença de MPs no fígado não afeta significativamente a condição física dos peixes. Sendo assim, a hipótese investigada de correlação entre a concentração de MPs/g no fígado e o fator K_n dos peixes foi refutada.

Figura 6. Relação entre a concentração de MPs/g de tecido hepático e o fator de condição (Kn) dos peixes por sexo.



DISCUSSÃO

Durante o período reprodutivo, os peixes geralmente investem grande parte de suas reservas energéticas na produção de gametas, o que pode resultar na redução da massa corporal geral e do fígado, refletindo em um menor fator de condição e IHS. Esse comportamento é comum em várias espécies de peixes¹⁶.

O dimorfismo sexual observado em *C. voga* destaca a complexidade das adaptações das espécies de água doce. Essas variações ressaltam a necessidade de estudos abrangentes, pois muitos grupos, como o *C. voga*, ainda permanecem pouco explorados¹⁷.

Em estudos anteriores realizados no Rio dos Sinos, as fibras foram os microplásticos mais comuns encontrados em amostras ambientais⁴ e no intestino de peixes¹⁸.

Apesar dos desafios metodológicos associados à quantificação de pequenos fragmentos de plástico nos tecidos dos animais¹⁹, o presente estudo confirmou a presença e bioacumulação de MPs no fígado de peixes da espécie *C. voga*, coletados no Rio dos Sinos. Isso contribui para o preenchimento da lacuna de conhecimento relatada em termos de estudos em ambientes de água doce²⁰.

Nesse estudo, 57,4% dos fígados dos peixes analisados apresentaram contaminação por MPs. Essas descobertas estão em consonância com pesquisas anteriores²¹, que

encontraram 83.5% das amostras de fígado contaminadas com MPs em peixes de água doce e 80% das amostras de fígado de peixes marinhos e de água doce²².

A presença de MPs de forma generalizada nos ecossistemas e a sua onipresença relatada em muitos estudos na última década²³, também foi relatada em ecossistemas aquáticos do Rio Grande do Sul que confirmaram a presença de MPs em amostras de água doce superficiais na região⁴. No entanto, o conhecimento sobre a ocorrência e a quantidade de MPs no leito do rio ainda é limitado. A literatura é carente de informações sobre a presença de MPs no sedimento do Rio dos Sinos e em sedimentos de água doce do sul do país. Um dos poucos estudos que abordou esse tema em sedimentos do Rio dos Sinos foi conduzido identificou MPs em todas as amostras de sedimentos, com concentrações variando de 1 a 14 MPs/mL²⁴. Além desses resultados, os autores estabeleceram uma correlação direta entre a presença de micropartículas de MPs e a ausência de tratamentos de águas residuárias e gestão de resíduos sólidos adequados na região²⁴.

Os resultados deste estudo, em conjunto com pesquisas anteriores sugerem a acumulação de MPs na coluna d'água, a deposição desses fragmentos no sedimento e sua subsequente ingestão por peixes iliofágicos durante o forrageamento⁹. Considerando a importância trófica e comercial de numerosos organismos de água doce, nossas descobertas se mostram cruciais para as investigações sobre a poluição plástica.

Em nosso estudo, não foi possível identificar o tipo de polímero nos tecidos. No entanto, os MPs de baixa densidade flutuam, tornando-se acessíveis a filtradores e planctívoros, enquanto os MPs de alta densidade, como o cloreto de polivinilo (PVC), tendem a afundar e se acumular nos sedimentos, tornando-os mais propensos a serem ingeridos por organismos alimentadores de depósito¹⁹.

A predominância de fibras é relatada na maioria dos estudos realizados com o trato gastrointestinal de peixes de água doce ao redor do mundo³⁷. No Rio dos Sinos a presença de fibras de forma abundante no intestino de peixes foi relatada recentemente¹⁸.

Em relação à presença de MPs no trato gastrointestinal e estômago de peixes, a literatura é extensa. No entanto, lacunas significativas persistem na quantificação e caracterização de MPs no fígado e em outros tecidos de peixes, tanto de água doce quanto marinhos, coletados em campo²⁰. Ao examinar a quantidade, forma e tamanho de MPs nos fígados de *C. voga* do Rio dos Sinos, buscou-se preencher essas lacunas, corroborando com

a pesquisa recentes², que, assim como neste estudo (foram encontrados 72.5% de fragmentos), também relataram uma abundância de fragmentos (39%) em tecidos de peixes de água doce².

Este estudo, assim como em outros², não identificou predominantemente fibras nas amostras analisadas (aproximadamente 1%). possivelmente devido à barreira intestinal. Pois, os MPs podem ultrapassar a barreira intestinal e alcançar a circulação sistêmica²⁶. No entanto, como discutido anteriormente, espera-se que apenas partículas menores que 80 µm apresentem maior risco de absorção em células e tecidos, uma vez que apenas partículas muito pequenas podem atravessar as membranas passivamente.

Embora não seja possível afirmar com certeza a origem dos fragmentos de plástico encontrados no fígado, é sabido que as fibras plásticas são comumente encontradas em abundância nos ambientes aquáticos e que animais que forrageiam nesses ambientes podem acabar ingerindo essas fibras e seus fragmentos¹¹. Portanto, é possível que os fragmentos de plástico encontrados no fígado sejam originários de fibras plásticas ingeridas pelos animais, juntamente com outras fontes de MPs. A pesquisa atual está buscando compreender a acumulação seletiva de MPs, mas ainda existem lacunas de pesquisa e pontos de vista contraditórios neste campo devido a sua complexidade¹³.

Em um estudo realizado com *Gadus morhua* em 2023, descobriu-se que MPs com tamanho superior a 150µm não são absorvidas pelo intestino²⁷, o que foi conferido neste trabalho, uma vez que 93.5% das partículas encontradas possuíam tamanho inferior a 100µm. Esses achados indicam que as partículas maiores podem não representar um risco significativo para a saúde dos peixes analisados, uma vez que não são absorvidas pelo intestino.

Apesar dos resultados diferentes, esse estudo corrobora com as descobertas anteriores. Esses resultados são relevantes para a compreensão da bioacumulação de MPs em peixes detritívoros/iliófagos de água doce, contribuindo para a crescente conscientização sobre os efeitos dessas partículas contaminantes nos ecossistemas aquáticos e em sua biota⁷.

No entanto, há variações na absorção de MPs do ambiente entre os animais, assim como possivelmente no efeito dessas partículas na saúde deles. Este estudo busca compreender e preencher essa lacuna, investigando as diferentes respostas e impactos que a

presença de MPs pode exercer na biota aquática, contribuindo para uma compreensão mais abrangente dos efeitos desses poluentes nos organismos.

Até o momento não foram conduzidos estudos em peixes que estabeleçam uma relação entre a concentração de MPs e características sexuais, como o dimorfismo. Entretanto, em aves se identificou uma correlação significativa entre as concentrações de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) em *Sula leucogaster* (ave marinha popularmente conhecida como Atobá-pardo), uma espécie que apresenta um acentuado dimorfismo sexual²⁸. Em nossa pesquisa, observamos uma diferença estatisticamente significativa na concentração média no fígado das fêmeas ($U = 50776$ e $p = 0.0405$). Isso indica uma disparidade estatisticamente relevante na concentração média entre os grupos, evidenciando uma concentração superior nas fêmeas. Essa conexão amplia a compreensão dos impactos dos MPs nos ecossistemas aquáticos, destacando a importância de estudos abrangentes sobre a saúde desses ambientes.

Apesar das lacunas existentes sobre os efeitos deletérios dos MPs na saúde dos ecossistemas e dos animais aquáticos de água doce continentais, os dados disponíveis apoiam o potencial tóxico dos MPs e seus efeitos prejudiciais, como a redução da taxa de alimentação, índices somáticos e aptidão animal²⁰. No entanto, conforme relatado em muitos estudos, esses resultados, em sua maioria, são produzidos em laboratório²⁰.

Portanto, um dos objetivos deste estudo concentrou-se em entender e analisar os efeitos no fator de condição (K_n) dos animais coletados em campo, contaminados de forma natural com MPs presentes nesses ecossistemas. Trabalhou-se com a hipótese de correlação entre esses níveis e as concentrações de MPs no fígado dos peixes do Rio dos Sinos. A relação entre a quantidade de MPs/g de tecido no fígado dos peixes e o fator de condição (K_n) foi investigada para avaliar possíveis impactos na saúde geral dos peixes. A análise revelou não haver uma relação significativa entre a quantidade de MPs e o fator K_n nos peixes.

Esses resultados indicam que a quantidade de MPs no fígado pode não estar relacionada com o estado de saúde (K_n). Essa descoberta é relevante para a compreensão dos efeitos dos MPs, uma vez que o fator de condição reflete as condições nutricionais e comportamentais dos peixes. Além disso, sugere que os efeitos da contaminação por MPs podem ser mais complexos do que apenas a quantidade de partículas presentes nos tecidos.

Estudos recentes relataram os efeitos deletérios dos MPs na saúde reprodutiva de fêmeas de peixes, tartarugas e camundongos²⁹. Em humanos, observou-se relação do sexo com a via imunológica, então é possível que os hormônios sexuais possam agir na proteção ou exacerbação de uma resposta inflamatória³⁰. Esse estudo, apesar de não revelar uma relação entre o fator K_n e os MPs/g no fígado, é o primeiro a relatar que os MPs podem estar se bioacumulando mais nos fígados das fêmeas do que nos dos machos de uma mesma espécie.

Essa investigação destaca a importância de considerar não apenas a quantidade, mas também os possíveis impactos dos MPs na saúde das fêmeas, enfatizando a necessidade de estudos adicionais para entender a relação entre os MPs e o fator de condição em diferentes espécies e ambientes.

A presença de MPs nos tecidos hepáticos dos peixes, juntamente com as descobertas sobre a influência do sexo e do tamanho das partículas na acumulação de MPs, destaca a necessidade de uma avaliação abrangente dos riscos e impactos desses poluentes em ecossistemas aquáticos e na saúde dos peixes. Em resumo, os resultados deste estudo corroboram a preocupação crescente sobre a contaminação por MPs em peixes de água doce e destacam a complexidade das interações entre esses poluentes e os organismos aquáticos.

CONCLUSÕES

O estudo revelou uma preocupante contaminação por MPs no fígado de *C. voga* do Rio dos Sinos, com 57,4% das amostras analisadas apresentando presença de MPs. Essa constatação, em consonância com pesquisas anteriores, destaca a disseminação generalizada de MPs nos ecossistemas aquáticos. No entanto, a ausência quase total de fibras pode indicar uma barreira intestinal eficaz ou características específicas da região estudada.

A análise diferenciada por sexo não revelou uma relação significativa entre a quantidade de MPs no fígado e o fator de condição (K_n) de machos e fêmeas apesar de fêmeas apresentarem maior concentração. Isso sugere que os efeitos da contaminação por MPs podem ser mais complexos do que a simples quantidade de partículas presentes, especialmente destacando a necessidade de estudos aprofundados sobre a saúde das fêmeas.

As perspectivas para estudos futuros devem abordar lacunas específicas, como a identificação do tipo de polímero nos tecidos, a compreensão dos efeitos diferenciados entre os sexos e a análise mais aprofundada da relação entre a presença de MPs e o fator de condição. Além disso, investigações sobre a origem específica dos fragmentos plásticos, considerando possíveis fontes, contribuíram para uma compreensão mais abrangente dos riscos e impactos dos MPs nos organismos aquáticos. Em suma, os resultados enfatizam a necessidade contínua de estudos multidisciplinares que avaliem os efeitos dos MPs nos ecossistemas aquáticos, considerando não apenas a quantidade, mas também os possíveis impactos diferenciados entre os sexos e as características específicas das partículas. Essas pesquisas são essenciais para desenvolver estratégias eficazes de mitigação e preservar a saúde dos ecossistemas aquáticos.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram que não existem conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

1. Wang D, Su L, Ruan HD, Chen J, Lu J, Lee CH, Jiang SY. Quantitative and qualitative determination of microplastics in oyster, seawater and sediment from the coastal areas in Zhuhai, China. *Marine Pollution Bulletin*. 2021; 164: 112000. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112000>.
2. Nawar N, Rahman MM, Chowdhury FN, Marzia S, Ali MM, Akbor MA, Siddique MAB, Khatun MA, Shahjalal M, Huque R, Malafaia G. Caracterização da poluição microplástica no rio Pasur do ecossistema Sundarbans (Bangladesh) com ênfase na água, sedimentos e peixes. *Science of The Total Environment*. 2023; 868: 161704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161704>.
3. Rocha DC, Fernandes MJ, Oliveira AB. Efeitos tóxicos de microplásticos em organismos aquáticos. *Aquatic Toxicology*. 2023; 254: 106697. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106697>.
4. Ferraz M, Bauer AL, Valiati VH, Schulz UH. Microplastic Concentrations in Raw and Drinking Water in the Sinos River, Southern Brazil. *Water*. 2020; 12(11): 3115. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/11/3115>.
5. Corrêa F, Piedras SRN. Alimentação de *Cyphocharax voga* (Hensel, 1869) (Characiformes, Curimatidae) no arroio Corrientes, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biotemas*. 2008; 21(4): 117-122. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2008v21n4p117>.

6. Sulaiman B, Woodward JC, Shiels HA. Riverine microplastics and their interaction with freshwater fish. *Aquaculture International*. 2023; 31(5): 987-1002. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-023-00756-4>.
7. Baldisserotto B. *Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura*. 3. ed. Santa Maria, RS: Ed. da UFSM, 2018.
8. Guzman MK, Andjelković M, Jovanović V, Jung J, Kim J, Dailey LA, Rajković A, Meulenaer B, Velicković TC. Comparative profiling and exposure assessment of microplastics in differently sized Manila clams from South Korea by μ FTIR and Nile Red staining. *Marine Pollution Bulletin*. 2022; 181: 113846. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113846>.
9. Maes T, Jessop R, Wellner N, Haupt K, Mayes A. A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red. *Scientific Reports*. 2017; 7: 44501. <https://www.nature.com/articles/srep44501>.
10. Meyers N, Catarino AI, Declercq AM, Brenan A, Devriese L, Vandegheuchte M, De Witte B, Janssen C, Everaert G. Microplastic detection and identification by Nile red staining: Towards a semi-automated, cost- and time-effective technique. *Science of The Total Environment*. 2022, 823: 153441. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722005332>.
11. Salla RF, Oliveira FN, Jacintho JC, Cirqueira F, Tsukada E, Vieira LG, Rocha TL. Microplastics and TiO₂ nanoparticles mixture as an emerging threat to amphibians: a case study on bullfrog embryos. *Environmental Pollution*. 2024; 346: 123624. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123624>.
12. Hendrickson E, Minor EC, Schreiner K. Abundância e composição de MPs no oeste do Lago Superior, conforme determinado por microscopia. Pyr-GC/MS e FTIR. *Ciência e Tecnologia Ambiental*. 2018; 52(4): 1787-1796. <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.est.7b05829?src=getftr>.
13. Li J, Wang Z, Rotchell JM, Shen X, Li Q, Zhu J. Onde estamos? Para uma compreensão da acumulação seletiva de microplásticos em mexilhões. *Poluição Ambiental*. 2021; 286: 117543. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117543>
14. Py-Daniel LHR, Fernandes CC. Dimorfismo sexual em Siluriformes e Gymnotiformes (*Ostariophysi*) da Amazônia. *Acta Amazonica*. 2005; 35(1). <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000100015>.
15. Garcia EQ, Zuanon J. Dimorfismo sexual no peixe elétrico, *Gymnorhamphichthys rondoni* (Rhamphichthyidae: Gymnotiformes). *Acta Amazonica*. 2019; 49(3). <https://doi.org/10.1590/1809-4392201804392>.

16. Barros N, Nascimento W, Araújo A, Gurgel L, Chellappa S. Aspectos reprodutivos de *Pimelodella gracilis* (Valenciennes, 1835) (Osteichthyes: Pimelodidae) do açude da ecoregião Caatinga. *Biota Amazônia*. 2011; 1: 53-59. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v1n2p53-59>.
17. Buckup PA. Taxonomia e filogenia de peixes de riachos brasileiro. *Oecologia Australis*. 2021; 25(2): Special Issue: Ecologia de Peixes de Riacho. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2021.2502.01>.
18. Bauer AL, Ferraz M, Souza VC, Schulz UH. Far from urban areas: plastic uptake in fish populations of subtropical headwater streams. *Brazilian Journal of Biology*. 2022; 82. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.267886>.
19. Browne MA, Galloway T, Thompson R. Microplastic: an emerging contaminant of potential concern? *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2009; 3(4): 559-561. <https://doi.org/10.1002/ieam.5630030412>.
20. Qualhato G, Vieira LG, Oliveira M, Rocha TL. Plastic microfibers as a risk factor for the health of aquatic organisms: A bibliometric and systematic review of plastic pandemic. *The Science of The Total Environment*. 2023; 870: 161949. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.161949.
21. Menéndez D, Blanco-Fernandez C, Machado-Schiaffino G, Ardura A, Garcia-Vazquez E. High microplastics concentration in liver is negatively associated with condition factor in the Benguela hake *Merluccius polli*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2023; 262: 115135. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115135>.
22. Collard F, Gilbert B, Compère F, Eppe G, Das K, Jauniaux T, Parmentie E. Microplastics in livers of European anchovies (*Engraulis encrasicolus*, L.). *Environmental Pollution*. 2017; 229: 1000-1005. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.089>.
23. Fiore CD, Ishikawa Y, Wright SL. A review on methods for extracting and quantifying microplastic in biological tissues. *Journal of Hazardous Materials*. 2024; 464: 132991. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132991>.
24. Oliva-Hernández BE, Santos-Ruiz FM, Muñoz-Wug MA, Pérez-Sabino JF. MPs em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) do Lago Amatitlán. *Revista Ambiente & Água* [online]. 2021; 16(5). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2754>.
27. Sá LC, Oliveira M, Ribeiro F, Rocha TL, Futter MN. Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: what do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of The Total Environment*, 2018; 645: 1029-1039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207>.

26. Bugatti C, Almeida KC, Guimarães MSA, Amâncio NFG. Microplastics and Nanoplastic and their relevance in human health: literature review. *Research, Society and Development*. 2023; 12(1): e6712139302. <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39302>.
27. Bøgevik AS, Ytteborg E, Madsen AK, Jordal AEO, Karlsen OA, Rønnestad I. PCB-126 spiked to polyethylene microplastic ingested by juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) accumulates in liver and muscle tissues. *Marine Pollution Bulletin*. 2023; 187: 114528. ISSN 0025-326X. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114528>.
28. Silva PR, Ferreira MA, Oliveira L. Impactos ambientais na fauna aquática. *Iheringia: Série Zoologia*. 2023; 108(2): 123-135, 2023. <https://www.scielo.br/j/isz/a/CsGRhRgwFBwYQV3G6yMHN8K/?format=pdf&lang=pt>.
29. Silva LNL, Carvalho GS, Hurtado TC, Oliveira Junior ES, Ignácio ARA. Concentração de mercúrio em pisciculturas do Mato Grosso, Brasil: uma necessidade de análise para redução de impactos sobre o pescado. *Caderno Pedagógico*. 2024; 21(5): e4171. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n5-146>.
30. Lasrado N, Jia T, Massilamany C et al. Mecanismos de hormônios sexuais na autoimunidade: foco na EAE. *Biol Sex Differ*. 2020; 11(50). <https://doi.org/10.1186/s13293-020-00325-4>.