



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
COLEGIADO DO CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



**Ciências
Biológicas**
UEL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ALICE AKEMI YAMASAKI

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE SÓLIDOS SUSPENSOS POR MEIO DE ANÁLISES FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS EM PEIXES

Londrina – Paraná
2025

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

ALICE AKEMI YAMSAKI

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DE SÓLIDOS SUSPENSOS
POR MEIO DE ANÁLISES FISIOLÓGICAS E
COMPORTAMENTAIS EM PEIXES**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina como um dos requisitos à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Meletti

**Londrina – Paraná
2025**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

YAMASAKI, Alice.

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE SÓLIDOS SUSPENSOS POR MEIO DE ANÁLISES FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS EM PEIXES / Alice YAMASAKI. - Londrina, 2025.
47 f. : il.

Orientador: Paulo MELETTI.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Efeito dos sólidos suspensos e turbidez em peixes - TCC. 2. Análise fisiológica e comportamental - TCC. 3. Testes de resistência natatória e respirometria - TCC. I. MELETTI, Paulo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU 574

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar Meletti

Profa. Dra. Juliana Delatim Simonato Rocha

Dr. Tiago Tomiama Alvim

Londrina, 18 de janeiro de 2025

DEDICATÓRIA

“A vida é longa e repleta de um número infinito de decisões. Meu destino irá me encontrar.”

Taylor Jenkins Reid

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho só foi possível graças à colaboração, apoio e incentivo de diversas pessoas e instituições, às quais sou profundamente grata.

Agradeço à Universidade Estadual de Londrina (UEL), pela oportunidade de cursar minha graduação e pela excelência acadêmica e estrutura oferecidas, que foram essenciais para a realização deste projeto.

Sou grata ao Instituto Ekos Brasil que, em parceria com a UEL e FAUEL, viabilizou sua realização por meio de suporte financeiro, permitindo que eu me dedicasse integralmente a esta pesquisa.

Expresso meu mais profundo agradecimento ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Cesar Meletti, pela paciência, dedicação e excelente orientação. Sua experiência e confiança foram fundamentais para a construção deste trabalho.

Ao Laboratório de Ecofisiologia Animal (LEFA), deixo minha gratidão pelo suporte técnico e infraestrutura oferecidos, e ao meu colega de laboratório Tierri pela ajuda nos experimentos.

Aos meus amigos de graduação, Rian, Nadrienn, Lucas, Emanuely e Beatriz por tornarem a jornada mais leve. Principalmente ao Rian, por se tornar família.

Agradeço ao apoio imensurável de toda a minha família, especialmente a minha mãe por sempre me incentivar e não me deixar desistir e a minha tia Francesca por sempre acreditar em mim mais do que qualquer pessoa no mundo.

E, por fim, ao meu amor Matheus, por ser minha luz, meu apoio, por sempre segurar minha mão e me amar em todos os momentos das nossas vidas, eu amo você.

A todos, meu sincero muito obrigada.

YAMASAKI, Alice. **Avaliação do Efeito de Sólidos Suspensos por Meio de Análises Fisiológicas E Comportamentais em Peixes**. 2025. 49 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2025.

RESUMO

A presença de sólidos suspensos e consequente turbidez em ambientes aquáticos é um fenômeno comum. No entanto, níveis elevados, como os observados em corpos d'água afetados por escoamento superficial em áreas sem a devida proteção ripária, ou no caso de desastres ambientais, como em rompimento de barragens de mineração, podem causar impactos severos a organismos aquáticos, incluindo estresse fisiológico, alterações comportamentais, danos branquiais e, em casos extremos, mortalidade. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da exposição a diferentes níveis de turbidez (100, 300 e 900 Unidades Nefelométricas de Turbidez – UNT) durante 96 horas em três espécies de peixes (*Danio rerio*, um peixe-modelo, *Astyanax lacustris*, uma espécie nativa e *Oreochromis niloticus*, uma espécie exótica). Foram analisadas respostas fisiológicas e comportamentais por meio de testes de respirometria, resistência natatória e medição dos níveis glicêmicos. Os resultados demonstraram que mesmo em turbidez inferior a 900 UNT os indivíduos já apresentaram respostas fisiológicas e comportamentais significativas, como observado em *D. rerio*, e mortalidade precoce de *A. lacustris* e *O. niloticus*. O trabalho também assinala o potencial aumento dos riscos que espécies exóticas representam sobre as espécies nativas em cenários adversos. Isso levanta questionamentos sobre os impactos a longo prazo da exposição a altos níveis de turbidez, especialmente em ecossistemas afetados por desastres ambientais. Além de substâncias potencialmente tóxicas transportados pelos rejeitos, a turbidez também contribui para a mortalidade da ictiofauna e deve ser considerada nas estratégias de monitoramento e recuperação ambiental.

Palavras-chave: Turbidez, Respirometria, Resistência natatória, zebrafish, *Astyanax lacustris*, *Oreochromis niloticus*, Estresse fisiológico.

YAMASAKI, Alice. **Evaluation of the Effect of Suspended Solids Through Physiological and Behavioral Analyses on Fish**. 2025. 49 pgs. Final Dissertation (Biological Sciences Undergraduation) – Londrina State University. Londrina. 2025.

ABSTRACT

The presence of suspended solids and consequent turbidity in aquatic environments is a common phenomenon. However, high levels, such as those observed in water bodies affected by surface runoff in areas without adequate riparian protection, or in the case of environmental disasters, such as the collapse of mining dams, can cause severe impacts to aquatic organisms, including physiological stress, behavioral changes, gill damage and, in extreme cases, mortality. This study aimed to evaluate the effects of exposure to different levels of turbidity (100, 300 and 900 Nephelometric Turbidity Units – NTU) for 96 hours in three species of fish (*Danio rerio*, a model fish, *Astyanax lacustris*, a native species and *Oreochromis niloticus*, an exotic species). Physiological and behavioral responses were analyzed by means of respirometry tests, swimming resistance and measurement of blood glucose levels. The results demonstrated that even at turbidity levels below 900 UNT, individuals already presented significant physiological and behavioral responses, as observed in *D. rerio*, and early mortality of *A. lacustris* and *O. niloticus*. The study also highlights the potential increase in risks that exotic species pose to native species in adverse scenarios. This raises questions about the long-term impacts of exposure to high levels of turbidity, especially in ecosystems affected by environmental disasters. In addition to potentially toxic substances transported by waste, turbidity also contributes to the mortality of ichthyofauna and should be considered in environmental monitoring and recovery strategies.

Keywords: Turbidity, Respirometry, Swimming endurance, Zebrafish, *Astyanax lacustris*, *Oreochromis niloticus*, Physiological stress.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 - Montagem dos aquários-teste com bombas submersas para manutenção do sedimento em suspensão.....	23
Figura 2 - A – desenho esquemático do respirômetro B – Foto do respirômetro completo.....	25
Figura 3 - Sistema para determinação da resistência natatória.....	27
Figura 4 - Análises de componentes principais (PCA).....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1 - Resultados do teste de resistência natatória das três espécies amostradas em Índice de Resistência Natatória (IRN).....	33
Gráfico 2 - Resultado do número de tentativas de reotaxia das três espécies amostradas.....	34
Gráfico 3 - Resultado do consumo de oxigênio total de reotaxia das três espécies amostradas em mg O ₂ /L/h.....	35
Gráfico 4 - Resultados do consumo de oxigênio massa-específico de todas as espécies em mg O ₂ /L/h/g.....	35
Gráfico 5 - Resultados de glicemia das três espécies amostradas em (mg.dL ⁻¹).....	37

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1 - Medidas: Peso total (Wt), comprimento total (Lt) e comprimento padrão (Ls).....	19
Tabela 2 - Análise de concentrações de matéria orgânica e metais do solo utilizado.....	20
Tabela 3 - Níveis de turbidez em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) e respectivas concentrações em g/L de sedimento.....	21
Tabela 4 - Grupos e níveis de turbidez em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) e respectivas concentrações em g/L de sedimento.....	22
Tabela 5 – Número de mortes em cada espécie ao longo da exposição.....	30
Tabela 6 - Médias \pm desvio padrão dos parâmetros de monitoramento (temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido) em todos os tratamentos.....	31
Tabela 7 - Valores de Amônia não-ionizada (NH_3) e Nitrito (NO_2^-) no início e final do experimento.....	31
Tabela 8 - Valores de turbidez em UNT (média \pm desvio padrão) em cada tratamento ao longo do período do experimento.....	32

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. Organismo Teste.....	18
3.2. Aclimação.....	19
3.3. Preparação das soluções de sólidos em suspensão.....	20
3.4. Grupos e tempo de exposição.....	22
3.5. Testes.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5. CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

A presença de sólidos suspensos (SS), ou particulados, e consequente turbidez, são fenômenos naturais em águas doces e salinas que ocorrem devido ao escoamento superficial e à ressuspensão de sedimentos, em especial durante e após períodos chuvosos. Assim, animais filtradores como peixes, bivalves, crustáceos, entre outros organismos possuem adaptações para viver em ambientes com concentrações variáveis de SS (Villardi et al., 2016). No entanto, quando ocorre o aumento excessivo de SS, como em eventos meteorológicos intensos (chuvas e ventos) os SS podem ser um estressor para os organismos aquáticos. O escoamento superficial, ou *runoff*, que ocorre após períodos chuvosos quando a água não consegue se infiltrar no solo e escoar pela superfície, acaba trazendo águas com substâncias tóxicas e particulados para os corpos d'água, tanto em cidades, quanto em locais de atividade agrícola. Especialmente em locais sem proteção de mata ciliar, o *runoff* contribui com o aumento dos níveis de turbidez das águas.

De modo mais extremo, o aumento de atividades humanas que geram grandes alterações no solo e na paisagem, como a agricultura extensiva, a mineração, construções civis, exploração florestal, produção de energia, entre outras, provocam um aumento significativo na quantidade de SS e turbidez das águas (Peixoto, 2019), que podem ultrapassar os limites adaptativos dos organismos aquáticos, os quais podem passar a sofrer de modo mais severo, com graves consequências à sua saúde, por possuírem efeitos abrasivos sobre órgãos como as brânquias e demais epitélios, podendo culminar na morte do indivíduo em casos mais severos.

Existem atividades antrópicas mais impactantes que podem resultar em desastres ambientais, como os rompimentos das barragens de Fundão, em Mariana, em 2015, e de Brumadinho, em 2019, ambos no estado de Minas Gerais, que

acarretam até hoje em concentrações extremas de sólidos suspensos e, conseqüentemente, de turbidez (IGAM, 2024), que podem ser incompatíveis com a manutenção da vida de muitos organismos aquáticos. Além das incontáveis conseqüências humanas, esses desastres trouxeram consigo uma catástrofe ambiental incalculável, causando impactos e destruição de diversos ecossistemas (IBAMA, 2015).

A turbidez e a concentração de SS são alguns dos parâmetros para avaliar a qualidade da água e, comumente, quanto maior as suas concentrações, menor a qualidade da água em questão. Os níveis desses parâmetros ambientais são normatizados pela resolução nº357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 2005 (CONAMA), a qual tem como propósito classificar os corpos de águas doces, salinas e salobras. Nas águas doces, a turbidez não deve ultrapassar, de acordo com tal resolução, 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) para corpos d'água de classe 1, e 100 UNT para as das classes 2 e 3. As principais maneiras de se avaliar os efeitos dos SS nos organismos aquáticos, especialmente peixes, é por meio de exposições a diferentes concentrações de SS, e testes, como o de *endurance*, ou resistência natatória, no qual o peixe é colocado para nadar contra a correnteza até a fadiga para avaliar aspectos físicos pós exposição (Hammer, 1995), respirometria, uma técnica utilizada para medir o consumo de oxigênio, permitindo assim uma avaliação de taxa metabólica e do custo energético associado a diversas atividades (Nelson; Chabot, 2011), e por fim, a análise dos níveis glicêmicos nos indivíduos para análise de estresse pós exposição.

A turbidez pode afetar de forma significativa os organismos aquáticos, desencadeando uma ordem de acontecimentos prejudiciais, como a redução de penetração de luz, atrapalhando na fotossíntese e diminuindo a quantidade de

oxigênio disponível na água (Henley et al., 2000), afetando a produção primária e diminuindo a disponibilidade de alimentos, o que altera a cadeia alimentar (Bruton, 1985). Além disso, os organismos podem sofrer estresse pela dificuldade em encontrar presas ou localizar predadores, podendo alterar a composição da comunidade e nas relações entre espécies. Além dos danos fisiológicos, podem ocorrer mudanças na reprodução, os animais podem sofrer obstruções em vias respiratórias devido a granulometria dos sedimentos, também podem sofrer hipoxia por falta de oxigênio na água (Servizi; Martens, 1991). Nesses casos as espécies mais resistentes, ou mais adaptáveis, se beneficiam em relação as demais espécies, causando um desequilíbrio no habitat, principalmente quando se considera a presença de espécies invasoras que podem ser mais resistentes a mudanças ambientais que espécies nativas.

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar os efeitos de sólidos suspensos inorgânicos em três espécies de peixes, através da exposição aguda (96 h) de três concentrações de sólidos suspensos, expressas em valores de turbidez, além do controle, seguida da medição do consumo de oxigênio, teste de resistência natatória e determinação da glicemia, além da observação do comportamento alimentar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A turbidez é determinada pela quantidade de sólidos suspensos (SS) presentes nas águas e pelas propriedades das partículas que os constituem (Hudson, 2001). Os SS ocorrem de forma natural em corpos d'água (Lopardo, 2002), e suas concentrações mudam devido a eventos naturais, como chuvas intensas, que podem aumentar o fluxo dos rios, causando erosão do leito e das margens. Além disso, o

escoamento superficial pode levar partículas de solo para dentro dos corpos d'água, e a ressuspensão do sedimento também contribui para o aumento da turbidez e dos sólidos suspensos durante chuvas intensas.

Entretanto, sabe-se que atividades antrópicas, como agricultura, exploração florestal e mineração são grandes problemas para os ambientes aquáticos (Instituto de Biociências da USP - 2020). O problema aumenta mais quando ocorrem desastres ambientais associados a essas atividades, como em Mariana-MG e Brumadinho-MG, ambos provocados pelo rompimento de barragens, que causaram graves danos ambientais (Fellipe et al., 2016).

O rompimento da barragem de Fundão, de responsabilidade da empresa mineradora Samarco, que é comandada pela Vale S.A, ocorreu em 05 de novembro de 2015 em Mariana - MG (Fellipe et al., 2016), quando o fluxo de lama de rejeitos provocou 19 vítimas humanas fatais. Nesse desastre, aproximadamente 40 milhões de metros cúbicos de lama com rejeitos de mineração contendo metais, além de uma imensa carga de SS, percorreram cerca de 650 km ao longo da bacia do rio Doce, em especial na calha principal, e atingiram diversas áreas de matas ciliares e cursos d'água adjacentes, chegando ao Oceano Atlântico no litoral do Espírito Santo. Os três rios mais diretamente impactados pelo desastre foram o rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo e o rio Doce (IBAMA, 2015). O desastre de Mariana é considerado o maior desastre em impactos ambientais da história do Brasil (Souza, 2018).

Já em 25 de janeiro de 2019 tem-se o rompimento da barragem Córrego do Feijão, também de responsabilidade da empresa mineradora Vale S.A. O desastre provocou mais de 270 mortes humanas confirmadas, além de enormes impactos ambientais, uma vez que 13 milhões de metros cúbicos de rejeitos tóxicos (Greenpeace, 2024) se alastraram por mais de 20 municípios atingindo a fauna e a

flora do Rio Paraopeba (Souza, 2019).

Existem ambientes que possuem um nível de turbidez naturalmente maior como rios de planície de inundação, como, por exemplo, o Rio Amazonas, que possui um alto nível de turbidez causado pela erosão e transporte de sedimentos de planaltos próximos (Meade et al., 1985). Como outros exemplos de ambientes com águas naturalmente mais túrbidas têm-se pântanos, manguezais e estuários

A resolução CONAMA 357 (2005) dispõe que águas doces de classe I (próprias para consumo humano, após tratamento simplificado) podem possuir uma turbidez de até 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT), e já as águas de classe II e III (que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamentos apropriados para cada uma delas). Os relatórios do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e do Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimento (PMQQS), da Fundação Renova (2017), apontam que até os dias de hoje podem ocorrer picos de 300 UNT em períodos consideráveis, podendo chegar a 900 UNT, valor ainda inferior ao medido logo após o desastre (casa dos milhares de UNT).

Assim, a turbidez e os SS são importantes indicadores de qualidade de água e seu aumento exacerbado, seja ele natural por eventos meteorológicos extremos ou por atividades antropogênicas como agricultura, mineração ou desastres, possui um grande impacto nos organismos aquáticos. Quanto maior a concentração de SS e turbidez em um corpo d'água menor a sua qualidade, já que altos níveis de turbidez e SS impedem a passagem de luz prejudicando assim a produção primária e reduzindo os níveis de oxigênio nas águas e a disponibilidade de alimentos para organismos que dependem dos produtores primários (Henley et al., 2000), impactando toda a cadeia alimentar aquática (Bruton, 1985), podendo também culminar em eventos como

eutrofização, além de causar danos diretos aos organismos aquáticos como a interferências na respiração, visão e olfato (Wenger et al., 2011), lesões epiteliais branquiais e em órgãos internos. Todos esses efeitos afetam negativamente os processos fisiológicos, e a exposição prolongada a altas concentrações de SS podem causar danos aos tecidos moles deixando os organismos mais vulneráveis e suscetíveis a doenças e infecções (Servizi e Martens, 1991), além de poder diminuir a eficiência de trocas gasosas, desempenho natatório e predatório e, em casos severos, levando a morte dos organismos.

Uma das maneiras de se monitorar a qualidade da água é por meio de biomarcadores, que são parâmetros medidos ao nível sub-individual e que indicam possíveis efeitos de xenobióticos. Alguns biomarcadores indicados com o objetivo de avaliar o efeito de sólidos suspensos são os testes de respirometria, testes de resistência natatória e medição de níveis glicêmicos. O teste de *endurance* é realizado para avaliar a capacidade da resistência física do peixe de reotaxia (nado contra a corrente) (Hammer, 1995), já a análise de respirometria é essencial para medir o consumo de oxigênio, permitindo uma avaliação da taxa metabólica e do custo energético, associado à natação, à alimentação e ao estresse ambiental (Nelson; Chabot, 2011). Peixes são organismos que sofrem processos bioquímicos e fisiológicos como resposta ao estresse. Como relatado por Martins et al. (2004) e Barcelos et al. (2001), o aumento de glicemia e cortisol ocorrem como resposta a situações estressantes como luta ou fuga, processo de captura, baixa qualidade da água, presença de tóxicos, entre outros. Neste trabalho a medida da glicemia foi utilizado para avaliar um possível estresse em indivíduos expostos a diferentes níveis de turbidez.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ORGANISMOS TESTE

Para a realização do trabalho todos os procedimentos foram avaliados e aprovados pela CEUA – n°.044.2024. Foram utilizadas três espécies ao longo dos testes, sendo elas: *Danio rerio* (Hamilton, 1822), *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875) e *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Cada espécie foi escolhida por possuir diferentes características que poderiam agregar aos resultados deste experimento. *D. rerio* foi selecionado por ser modelo experimental na Ecotoxicologia e em diversas áreas. Além da fácil reprodução e manipulação, zebrafish (ou peixes-zebra ou “paulistinha”) são utilizados em diversos estudos que avaliam toxicidade de elementos químicos e biomarcadores de toxicidade (Ribeiro et al., 2022). Já as espécies *A. lacustris* e *O. niloticus* foram escolhidas por motivos comparativos. O gênero *Astyanax* possui ampla distribuição no sudeste brasileiro. *A. lacustris*, popularmente conhecido como lambari-do-rabo-amarelo, é uma espécie nativa que ocorre principalmente nas drenagens das bacias do rio São Francisco, rio La Plata, Sistema da Laguna dos Patos e rio Tramandaí (IBAMA 2019) e, de acordo com Garutti; Langeani (2009), também está distribuída no rio Araguaia na drenagem do Tocantins-Araguaia, e é considerado um indicador ambiental por ser um organismo sensível (Disner et al., 2017), ou seja, sua presença ou ausência pode ser um indicativo da qualidade da água. *O. niloticus*, popularmente conhecida como tilápia-do-nilo, é uma espécie exótica originária da África (Popma; Lovshin, 1995) e é amplamente distribuída por todo o território brasileiro. Extremamente resistente a doenças virais, bacterianas e parasitárias (Popma e Lovshin, 1995), também possui uma adaptabilidade muito alta e foi introduzida em todo o território brasileiro com finalidade de criação para consumo

humano, mas é uma espécie que ameaça diversas outras, principalmente nativas, e altera habitats, o que faz dela uma preocupante espécie exótica invasora. Como organismos-teste temos três espécies com grande relevância na área de estudos ambientais. É importante mencionar que *D. rerio* foi utilizado no estágio adulto, e as duas outras espécies em estágio de alevino, para que fosse possível realizar os testes com os aparatos disponíveis, além de possibilitar comparar os organismos em tamanhos semelhantes. As medidas biométricas de cada espécie estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Medidas biométricas: Peso total (Wt), comprimento total (Lt) e comprimento padrão (Ls) representados em média \pm desvio padrão de todos os indivíduos amostrados. Obs.: não foram observadas diferenças significativas de peso entre as espécies (ANOVA, Dunn's post hoc test, o que determinou a mesma quantidade de alimento para todas).

	<i>D. rerio</i>	<i>A. lacustris</i>	<i>O. niloticus</i>
Wt (g)	0,556 \pm 0,077	0,488 \pm 0,0287	0,542 \pm 0,046
Lt (cm)	3,870 \pm 0,099	3,320 \pm 0,115	2,796 \pm 0,700
Ls (cm)	3,091 \pm 0,037	2,740 \pm 0,073	2,586 \pm 0,069

Fonte: a própria autora.

3.2 ACLIMATAÇÃO

Antes do início dos testes os animais passaram por um período mínimo de 7 dias de aclimatação, em aquário de vidro de 80 litros contendo água desclorada, no Laboratório de Ecofisiologia Animal (LEFA)/UEL/CCB em temperatura controlada de $27 \pm 1^\circ\text{C}$ e fotoperíodo 14:10 (claro/escuro). Nesse tempo a qualidade da água foi monitorada quanto ao pH, temperatura, oxigênio dissolvido e concentrações de amônia (total e não ionizada) e nitrito. O monitoramento dos parâmetros e a densidade

populacional (máx. de 1g/L) seguiram o determinado na Norma NBR15088 (ABNT, 2012). Os aquários foram sifonados duas vezes por semana, com renovação de 30 a 50% da água, conforme os níveis de excretas monitoradas através de testes de amônia e nitrito. Os animais foram alimentados diariamente com ração em flocos para peixes ornamentais (Alcon Basic®).

3.3 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

O material utilizado como “sedimento ressuspenso” foi uma amostra de solo escavado (3m de profundidade) de local não contaminado (município de Cambé, em localidade próxima a estrada do Caramuru, coordenadas: -23.353149, -51.259379), seco e calcinado em mufla a 500 °C no laboratório de Saneamento (CCE/UEL) com objetivo de eliminar a matéria orgânica e possíveis elementos químicos voláteis presentes na amostra. Antes dos experimentos, a amostra foi analisada quanto à granulometria, teor de matéria orgânica e concentrações dos metais cobre, ferro, manganês, e zinco, pela empresa Laborsolo. De acordo com as análises, o solo foi classificado como argiloso (6% de areia fina, 10% de silte e 84% de argila). As concentrações de matéria orgânica e dos metais analisados encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 2 – Análise de concentrações de matéria orgânica e metais do solo utilizado.

Mat. orgânica (mg/dm ³)	Cu (mg/dm ³)	Fe (mg/dm ³)	Mn (mg/dm ³)	Zn (mg/dm ³)
4,60	16,2	323,78	229,76	10,46

Fonte: a própria autora.

Para efeitos de comparação, as características granulométricas são semelhantes às do rejeito do desastre de Mariana-MG, que tem granulometria fina, com predominância de argila e silte, com pequenas frações de areia (Fernandes, et

al., 2016).

Para a preparação das soluções-teste, foram realizadas diferentes proporções solo/água, de modo a atingir os valores de turbidez desejados, medidos em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTUs). Para isso, antes de ser inserido nos aquários-testes o sedimento foi destorreado em moinho analítico IKA A11 Basic Mill a fim de facilitar a dissolução, mesmo que parcial. As concentrações das soluções (proporções solo/água desclorada), expressas em grama de solo por litro, e respectivas turbidezes estão apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Níveis de turbidez em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) e respectivas concentrações em g/L de solo.

UNT	g/L
0 - 40	0
100	1
300	3,4
900	10

Fonte: a própria autora.

Os valores de turbidez foram baseados na resolução n°357 da CONAMA de 2005, e em dados de monitoramento realizados no rio Doce pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Embora nas semanas seguintes ao rompimento da barragem de Fundão, em dezembro de 2015, os valores de turbidez tenham chegado à casa dos milhares de UNT (IGAM), nos anos posteriores esses valores diminuíram consideravelmente, embora não raro tenham atingido 300 ou mais UNT. Dados do monitoramento do IGAM e dos monitoramentos da Fundação renova (PMQQS, 2019) indicam, no período de monitoramento após o rompimento da barragem, valores de turbidez frequentemente entre 100 e 500 UNT, sendo em 10% do tempo situados entre 300 e 900 UNT. Por questões de limitação de detecção – o turbidímetro disponível

detecta até 1000 UNT -, estipulamos a maior turbidez em 900 UNT no presente trabalho.

3.4 GRUPOS E TEMPOS DE EXPOSIÇÃO

Foram realizadas três exposições de 96 horas, uma exposição para cada espécie selecionada no teste (*Danio rerio*, *Astyanax lacustris* e *Oreochromis niloticus*), com os quatro níveis de turbidez já descritos e constantes na tabela 4, com “n” de 9 indivíduos de cada espécie para cada grupo.

Tabela 4 - Grupos e níveis de turbidez em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) e respectivas concentrações em g/L de sedimento.

GRUPOS	UNT	REFERÊNCIA
Grupo 1 - Controle	0 - 40	Conama 357 – classe I
Grupo 2	100	Conama 357 – classes II e III
Grupo 3	300	Monitoramento IGAM
Grupo 4	900	Monitoramento IGAM

Fonte: a própria autora com base na Resolução 357 do Conama (Conama, 2005) e IGAM.

As exposições foram realizadas em aquários de 10 litros, cada um preenchido com água desclorada (mesmas condições da água de manutenção dos peixes) e equipado com duas bombas submersas SarloBetter Mini C com vazão de 60 a 170L/h para aeração e ressuspensão dos sedimentos (figura 1). Para evitar a circulação da água e a deposição dos sólidos em suspensão, os aquários foram dotados de cantos inferiores chanfrados (chanfros de 30 mm nas laterais mais estreitas).

Figura 1: Montagem dos aquários-teste com bombas submersas para manutenção do sedimento em suspensão. Da esquerda para a direita, CTR, 100 UNT, 300 UNT e 900 UNT.



Fonte: a própria autora.

O monitoramento da qualidade da água foi realizado ao longo da exposição, medindo parâmetros de turbidez (turbidímetro Hanna HI98703) antes e depois de revolver o fundo do aquário, pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura diariamente e parâmetros como amônia, NH_3 e nitrito ao início e final da exposição. A alimentação também foi realizada de forma diária com 0,075g de ração em flocos para peixes ornamentais (Alcon Basic®). Para que a alimentação fosse realizada de forma mais eficiente as bombas foram desligadas por 15 minutos para a alimentação. Devido ao curto tempo de exposição não se fez necessária a renovação da água. Antes da exposição, os animais foram pesados para manter a homogeneidade entre os grupos. A alimentação fez-se necessária para possibilitar a observação do comportamento alimentar nos diferentes níveis de turbidez.

Ao término de cada tempo experimental os animais foram submetidos aos

seguintes testes e procedimentos, na sequência: respirometria, teste de resistência natatória, eutanásia (benzocaína 0,2 g.L⁻¹), determinação de glicemia, biometria e fixação para posterior preparação histológica.

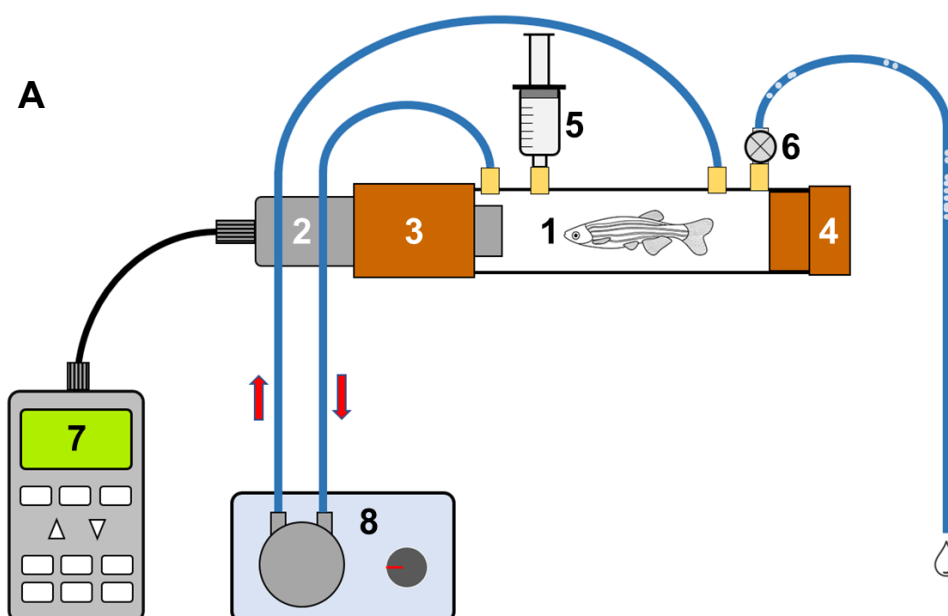
3.5 TESTES

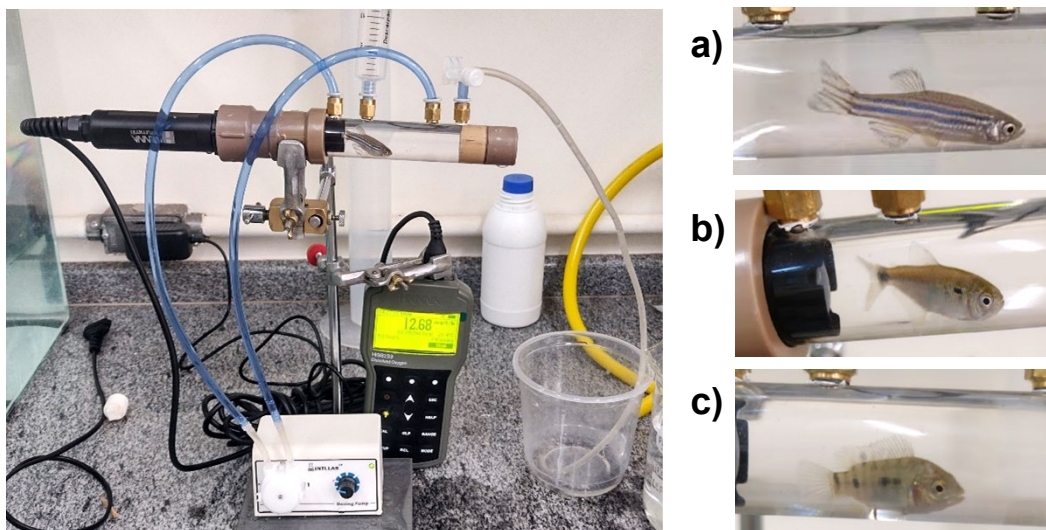
Para a realização do teste de respirometria foi utilizado um respirômetro, composto por uma câmara acrílica tubular, de 20,5 mm de diâmetro interno e 9,5 cm de comprimento, com capacidade útil de 30 mL, acoplado à sonda de um medidor de oxigênio dissolvido (oxímetro) Hanna HI98193 dotado de função de consumo de oxigênio por hora. Todas as medições de consumo de oxigênio, de todos os tratamentos, foram realizadas com o respirômetro preenchido com água de manutenção. A inserção e retirada do peixe foi realizada por uma abertura na extremidade oposta à sonda. A câmara acrílica, hermeticamente fechada, foi ligada, por meio de tubos plásticos de 4 mm de diâmetro interno, a uma bomba peristáltica Intllab dosing pump dp-385, ajustada para fluxo de 60 mL/min. A função da bomba foi a de manter fluxo contínuo de água dentro da câmara para evitar estagnação de água em frente à membrana da sonda e garantir medidas precisas. O fluxo foi determinado com o respirômetro preenchido com água, sem bolhas de ar e sem peixes, de modo a manter a concentração de oxigênio dissolvido estável. Para a eliminação de bolhas de ar, a câmara foi acoplada a uma seringa de 20 mL e a um registro com tubo plástico de 4 mm de diâmetro interno. O registro também teve a função, quando aberto, de evitar pressões positivas e negativas no fechamento e abertura do sistema, respectivamente, evitando danos aos animais e à sonda. Durante as medições o registro foi mantido fechado. Todo o aparato foi sustentado por hastes e garras metálicas móveis, facilitando o manuseio. O desenho esquemático e a foto do sistema

estão apresentados na figura 2 A e B.

Figura 2: A – desenho esquemático do respirômetro. B – Foto do respirômetro completo.

Legenda: A – desenho esquemático do respirômetro. 1-câmara tubular de acrílico (30 mL); 2-sonda do oxímetro; 3-conector da sonda à câmara; 4-tampa da câmara; 5-seringa para expulsão de bolhas por injeção de água; 6-registro para saída de bolhas e compensação de pressão; 7-central eletrônica e monitor do oxímetro; 8-bomba peristáltica. As setas vermelhas indicam a direção do fluxo de água. B – Foto do respirômetro completo e, nos detalhes, a câmara contendo as três espécies (a-*Danio rerio*; b-*Astyanax lacustris*; c-*Oreochromis niloticus*).



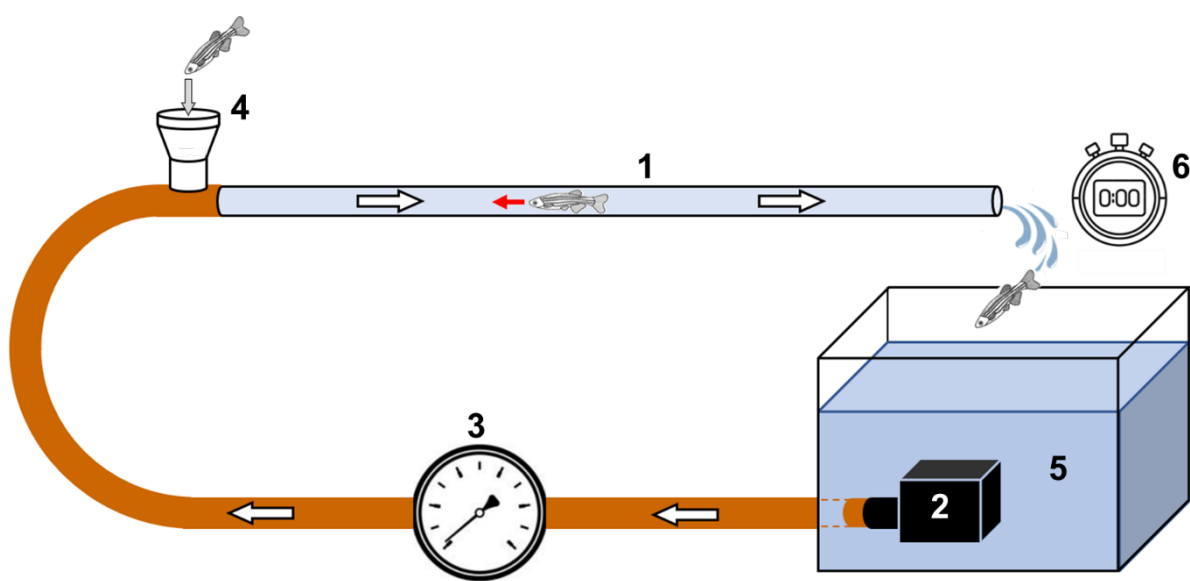
B

Fonte: Paulo Cesar Meletti, comunicação pessoal.

Antes do início das medições de consumo de oxigênio, foi adotado um tempo de 2 minutos para aclimatação do peixe à câmara. O oxímetro foi programado para registrar o consumo por 5 minutos e, ao final, informar o consumo ajustado por hora ($\text{mgO}_2/\text{L/h}$). Os consumos totais de oxigênio foram anotados, por peixe, para a obtenção do consumo de oxigênio massa-específico, dividindo-se o consumo total pelo peso (g) de cada indivíduo. Após a medida respirométrica, cada peixe foi transferido para o sistema para teste de resistência natatória, individualmente. Esse sistema, desenvolvido por Melo (2011) e adaptado por Cuenca et al. (2022), é composto por um tubo transparente de 25 mm de diâmetro (20,5 mm de diâmetro interno) e 1 metro de comprimento, uma bomba de água Sarlo Better 2700 e um registro seletor de vazões de 1 a 12 L/min. A bomba, instalada em uma caixa plástica de 15 L ao final do sistema, faz a água passar pelo registro e, na sequência, pelo tubo acrílico que retorna à caixa. Os peixes são inseridos individualmente no início do tubo de acrílico, em um funil, conforme pode ser observado na figura 3.

Figura 3: Sistema para determinação da resistência natatória.

Legenda: 1-tubo de acrílico com 20,05 mm de diâmetro interno; 2-bomba submersa conectada à tubulação de PVC $\frac{3}{4}$ "; 3-registro para seleção das vazões de 2 a 12 L/min; 4-funil para inserção dos peixes no sistema; 5-caixa plástica para recirculação de água e captura dos peixes no momento da exaustão; 6-cronômetro para controlar as vazões crescentes e anotar o tempo na última vazão suportada. As setas brancas indicam o sentido do fluxo de água e a seta vermelha indica a tendência de reotaxia dos peixes.



Fonte: Paulo Cesar Meletti, comunicação pessoal.

Inicialmente o peixe foi inserido no sistema em um fluxo de $2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, para percepção da corrente e esperada reotaxia, e aclimação. Após um minuto em aclimação, ocorreu a progressão de vazão até o último minuto da maior ($12 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$) ou até a última vazão suportada pelo animal. O tempo foi registrado ao longo de todo

o teste para anotar os segundos da última vazão suportada pelo peixe. Esses dados foram utilizados para gerar o Índice de Resistência Natatória (IRN) de cada peixe, que consistiu na somatória das vazões suportadas (vazão acumulada) pelo tempo completo (1 min/vazão) mais a última vazão ponderada pelo tempo, em segundos, em que o animal resistiu antes de sair pelo final do tubo, conforme a fórmula (Ribeiro, 2012):

$$IRN = Vazão\ Acumulada + \frac{tempo\ (s)\ na\ última\ vazão\ suportada}{60} \times Última\ Vazão$$

Ao final do teste de resistência natatória os peixes foram eutanasiados em solução de benzocaína 0,2 g.L⁻¹ para que fosse realizada a biometria (comprimento total (Lt, cm), comprimento padrão (Ls, cm) e peso (Wt, g)), e medida a glicemia. Esta foi realizada com o auxílio de um glicosímetro digital portátil Abbott Freestyle Freedom Lite, com uma gota de sangue coletada a partir do corte da cauda, entre o final do abdome e o início da nadadeira caudal. Os exemplares foram fixados em solução de Bouin por 12 h e lavados em álcool 70% sucessivas vezes para posterior preparação histológica em trabalhos futuros.

Todos os dados coletados ao longo dos testes – consumo de oxigênio massa-específico, IRN, número de tentativas para natação contracorrente, glicemia e fator de condição - foram tabulados no Microsoft Excel para confecção dos gráficos e organização dos dados para as análises estatísticas no programa Past 4.03. Para estas foi utilizada análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Dunn para comparações múltiplas. Foram considerados significativos valores de $p \leq 0,05$. Também foi realizada análise de componentes principais (PCA), por meio do mesmo programa, o qual também gerou o gráfico dessa análise.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo dos experimentos houve uma maior mortalidade de *O. niloticus* e de *A. lacustris* quando comparados a *D. rerio*. Foram observados seis indivíduos de *O. niloticus* mortos, sendo uma morte no grupo CTR em 24 horas, uma no grupo 300, e quatro no grupo 900 (três em 24 horas e uma em 48 horas). A morte do grupo 300 provavelmente ocorreu no início da exposição já que ao final não foram encontrados resquícios do indivíduo morto. O número alto de mortes dessa espécie pode ser explicado pelo comportamento, uma vez que a tilápia é uma espécie territorialista e agressiva (Gonçalves-de-Freitas et al., 2019). Em especial por estarem em fase de crescimento elas possuem uma demanda metabólica maior e, por não terem percebido o alimento nas maiores turbidezes, o comportamento agonístico pode ter sido exacerbado, ocasionando mortes e canibalismo. Esse tipo de comportamento, se houver diferenças significativas de tamanho e alta densidade populacional, pode ser observado até mesmo durante a aclimatação dos indivíduos, conforme relatado por Gonçalves-de-Freitas et al. (2019). Em resumo, em ambientes estressantes e com difícil acesso ao alimento, as tilápias podem ficar mais agressivas e se atacar com mais frequência.

Na exposição de *A. lacustris* ocorreu o mesmo número de mortes que na exposição de *O. niloticus*, seis no total, sendo uma no grupo CTR em 96 horas, três no grupo 100 em 48 horas e duas mortes no grupo 900 em 48 horas. Uma das mortes do grupo 900 ocorreu durante a alimentação, quando o peixe saltou para fora do aquário. Segundo Faria et al. (2024), *A. lacustris* demonstra agressividade somente quando em situações de estresse como em exposição a substâncias tóxicas, densidade populacional elevada e escassez de alimento. Não foi observado comportamento de predação entre os indivíduos dessa espécie como em *O. niloticus*.

Já na exposição de *D. rerio* houve três mortes, uma do grupo 300 e as outras duas do grupo 900, todas em 96 horas de exposição. Foram utilizados peixes adultos nesse experimento e, mesmo durante a aclimatação, eles não apresentavam comportamento agonístico. Além das mortes, alguns peixes não nadaram em nenhuma das cinco chances de reotaxia, e no grupo 900 dois peixes não apresentaram equilíbrio na respirometria e resistência natatória, passando a maior parte do tempo com o abdômen para cima e sem nadar.

Estes resultados indicam que as mortalidades observadas (tabela 5) ocorreram devido à exposição aos sólidos suspensos - por interferências na fisiologia ou no comportamento -, uma vez que os parâmetros físicos e químicos monitorados (tabelas 6, 7) não apresentaram valores considerados fora da normalidade (ABNT, 2022). As concentrações de amônia não ionizada atingiram níveis considerados altos, porém, essas concentrações foram observadas inclusive nos grupos CTR, nos quais foi observada apenas uma morte de *O. niloticus* e de *A. lacustris*, uma evidência do confinamento sobre o comportamento agonístico, o qual foi exacerbado em turbidezes mais elevadas.

Tabela 5 – Número de mortes em cada espécie ao longo da exposição.

	<i>Danio rerio</i>				<i>Astyanax lacustris</i>				<i>Oreochromis niloticus</i>			
	24h	48h	72h	96h	24h	48h	72h	96h	24h	48h	72h	96h
CTR	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-
100	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
300	-	-	-	1	-	-	-	-	1*	-	-	-
900	-	-	-	2	-	2	-	-	3	1	-	-

Fonte: a própria autora.

*Não foi possível identificar o momento em que o indivíduo do grupo 300 morreu. Pela ausência de vestígios, estima-se que a morte ocorreu no início da exposição.

Tabela 6 – Médias \pm desvio padrão dos parâmetros de monitoramento (temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxigênio dissolvido (mgO_2/L) em todos os tratamentos.

	<i>Danio rerio</i>				<i>Astyanax lacustris</i>				<i>Oreochromis niloticus</i>			
	T	pH	Cond	OD	T	pH	Cond.	OD	T	pH	Cond.	OD
CTR	28,1 \pm 0,8	7,1 \pm 0,3	122 \pm 20	8,8 \pm 0,3	27,8 \pm 0,4	7,5 \pm 0,1	114 \pm 26	7,9 \pm 0,4	27,7 \pm 0,3	7,5 \pm 0,1	130 \pm 10	8,2 \pm 0,4
100	28,4 \pm 0,7	7,3 \pm 0,2	116 \pm 11	8,6 \pm 0,2	28,3 \pm 0,3	7,5 \pm 0,1	124 \pm 18	7,6 \pm 0,2	29,4 \pm 0,9	7,6 \pm 0,1	106 \pm 9	8,0 \pm 0,5
300	28,4 \pm 0,6	7,34 \pm 0,2	128 \pm 11	8,4 \pm 0,1	28,4 \pm 0,4	7,2 \pm 0,4	122 \pm 8	7,5 \pm 0,2	29,3 \pm 0,9	7,5 \pm 0,1	104 \pm 6	8,2 \pm 0,2
900	28,2 \pm 0,4	7,2 \pm 0,2	124 \pm 8,94	8,7 \pm 0,7	28,4 \pm 0,5	7,1 \pm 0,2	124 \pm 5	7,3 \pm 0,3	28,7 \pm 0,9	7,4 \pm 0,2	104 \pm 5,	7,7 \pm 0,2

Fonte: a própria autora.

Tabela 7 – Valores, em mg/L , de amônia não-ionizada (NH_3) e de nitrito (NO_2^-) no início e ao final do experimento.

	<i>Danio rerio</i>				<i>Astyanax lacustris</i>				<i>Oreochromis niloticus</i>			
	Amônia		Nitrito		Amônia		Nitrito		Amônia		Nitrito	
	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F
CTR	0.001	0.028	0	0.5	0.007	0.034	0	0.25	0.007	0.049	0	0.25
100	0.001	0.022	0.25	0.25	0	0.06	0	0.5	0.004	0.191	0.25	0.25
300	0.002	0.022	0.25	0.5	0	0.011	0	0.5	0.004	0.112	0.25	0.5
900	0.004	0.016	0.25	1	0	0.02	0	0.5	0.004	0.06	0.25	0.5

Fonte: a própria autora.

Durante os testes foram realizadas duas medições diárias de turbidez, uma antes e outra após revolver o sedimento no fundo do aquário. O revolvimento diário foi necessário, uma vez que as duas bombas não foram suficientes para manter homogeneamente os sólidos suspensos durante o período total do teste.

Considerando que, pela observação diária, o sedimento demorava cerca de 16 horas para assentar, foram calculados os valores médios de turbidez, da seguinte maneira: 1/3 da turbidez ao final de cada 24h + 2/3 da turbidez medida após a agitação diária do meio. Calculada esta média ponderada, ficou claro que a turbidez do grupo 900 não ficou próxima o suficiente dos níveis esperados, ao contrário dos demais grupos, nos quais os valores não se distanciaram tanto dos níveis pré-determinados, como observado na tabela 8.

Tabela 8 – Valores de turbidez em UNT (média \pm desvio padrão) em cada tratamento ao longo do período do experimento.

	<i>D. rerio</i>	<i>A. lacustris</i>	<i>O. niloticus</i>
Controle	2,148 \pm 0,669	3,672 \pm 1,258	1,608 \pm 0,2787
100	86,16 \pm 18,002	91,227 \pm 24,935	103,96 \pm 20,966
300	237,52 \pm 53,47	294,096 \pm 121,485	251,793 \pm 78,162
900	553,887 \pm 230,899	605,867 \pm 146,282	571,493 \pm 231,393

Fonte: a própria autora.

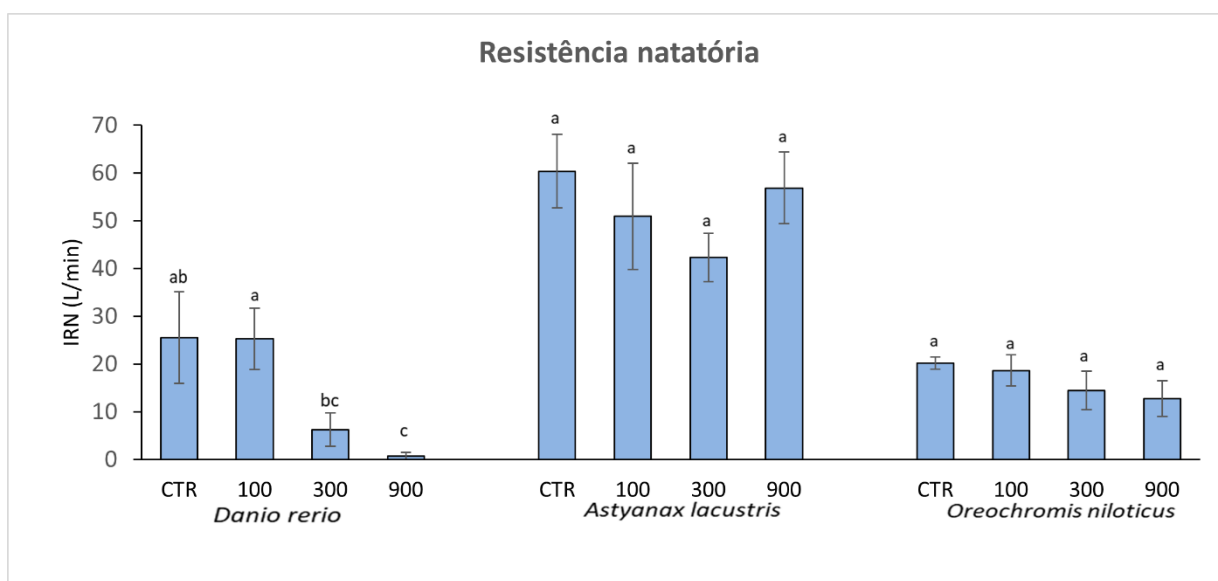
Ao longo das exposições foi observado que nenhuma das espécies se alimentava de forma efetiva no grupo 900, o que pode estar associado ao alto nível de turbidez (Bruton, 1985). É importante salientar que o processo de alimentação foi realizado da mesma forma em todos os grupos e em todas as exposições, com a mesma quantidade de ração (não houve diferenças significativas de peso entre as espécies) e o mesmo tempo de 15 minutos com a bomba desligada.

O. niloticus mal se alimentou durante as 96 h de exposição no grupo 900, e no grupo 300 houve alimentação, mas foi menor comparada às demais espécies. Essa alteração no comportamento alimentar nas turbidezes mais elevadas, em especial em

900, pode explicar, juntamente com o comportamento agonístico, as mortes ocorridas, como já exposto. De acordo com Kjelland et al. (2015), a exposição direta a altos níveis de sólidos suspensos pode interromper as atividades de alimentação ou diminuir sua eficácia. O aumento da turbidez pode causar mudanças no comportamento alimentar dos peixes pelo simples fato de que a presa, ou o alimento pode se tornar menos visível.

Pela análise dos resultados, foram observadas mais diferenças estatisticamente significativas nos testes com *D. rerio*. Por exemplo, como observado no gráfico 1, a espécie apresentou uma queda significativa de desempenho na resistência natatória no grupo 900 quando comparado ao CTR, e no grupo 300 comparado com o 100, sendo essa queda de desempenho notada também na reotaxia dos indivíduos do grupo 300 e 900. As demais espécies não apresentaram diferenças estatísticas no teste.

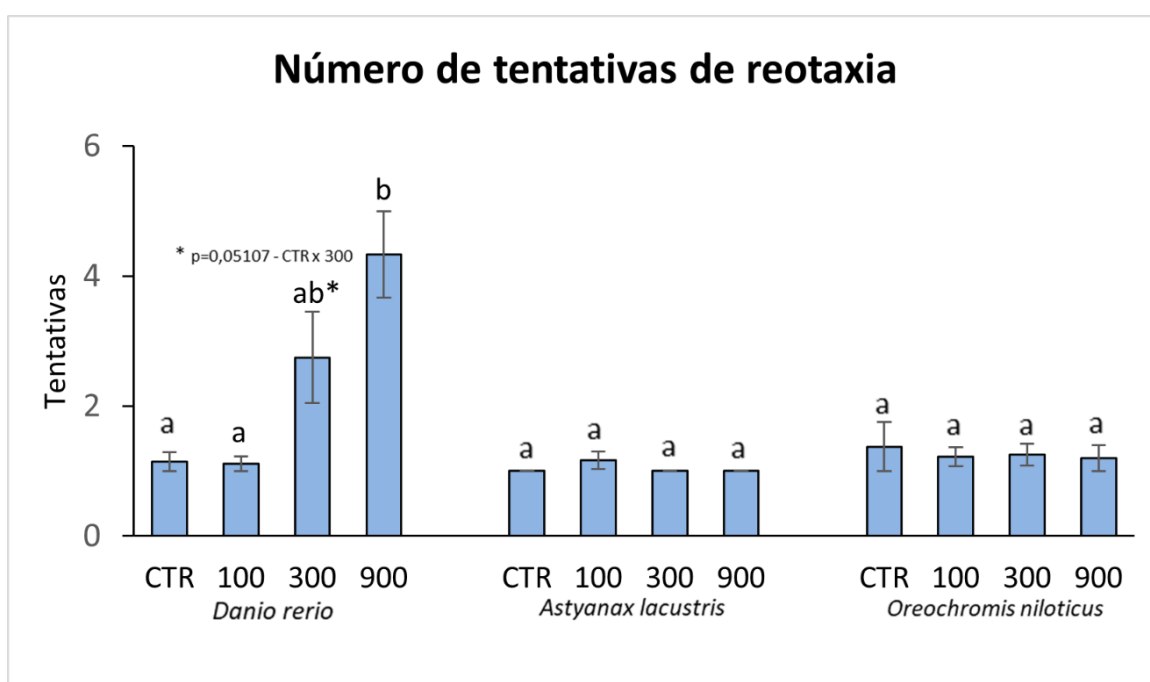
Gráfico 1 - Resultados do teste de resistência natatória das três espécies amostradas em Índice de Resistência Natatória (IRN)



Fonte: a própria autora.

Observa-se que o desempenho na resistência natatória foi refletido no número de tentativas de reotaxia apresentadas por cada espécie (gráfico 2), sendo *D. rerio* a única com diferenças estatisticamente significativas, de modo que esses animais necessitaram de mais tentativas para detectar o fluxo (ou não nadaram), em especial os do grupo 900 (com forte tendência de queda também no grupo 300).

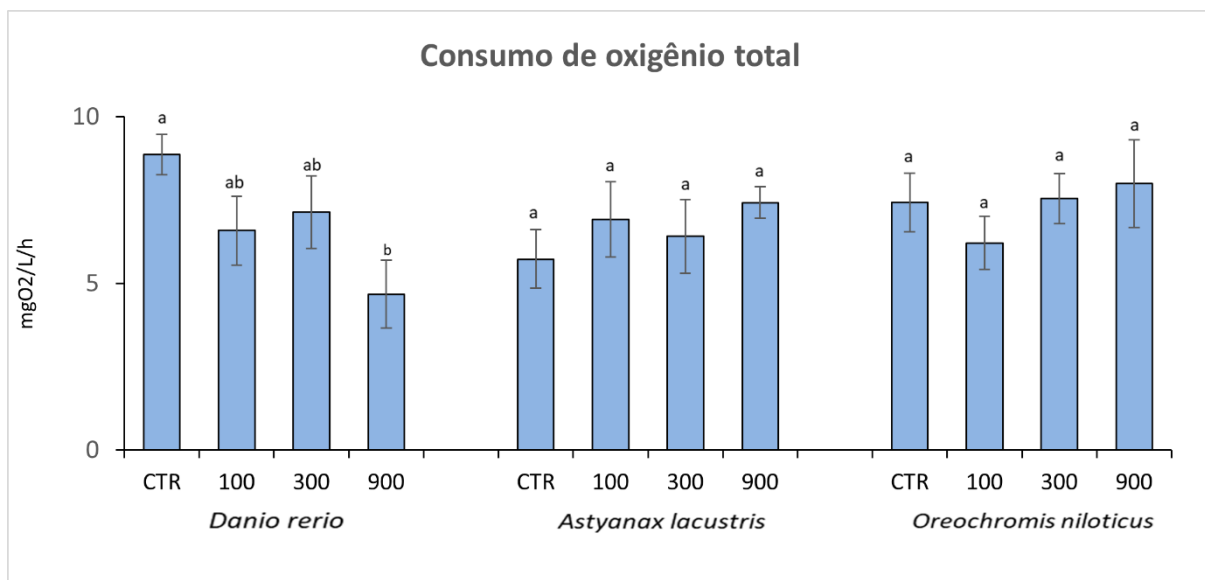
Gráfico 2 - Resultado do número de tentativas de reotaxia das três espécies amostradas



Fonte: a própria autora.

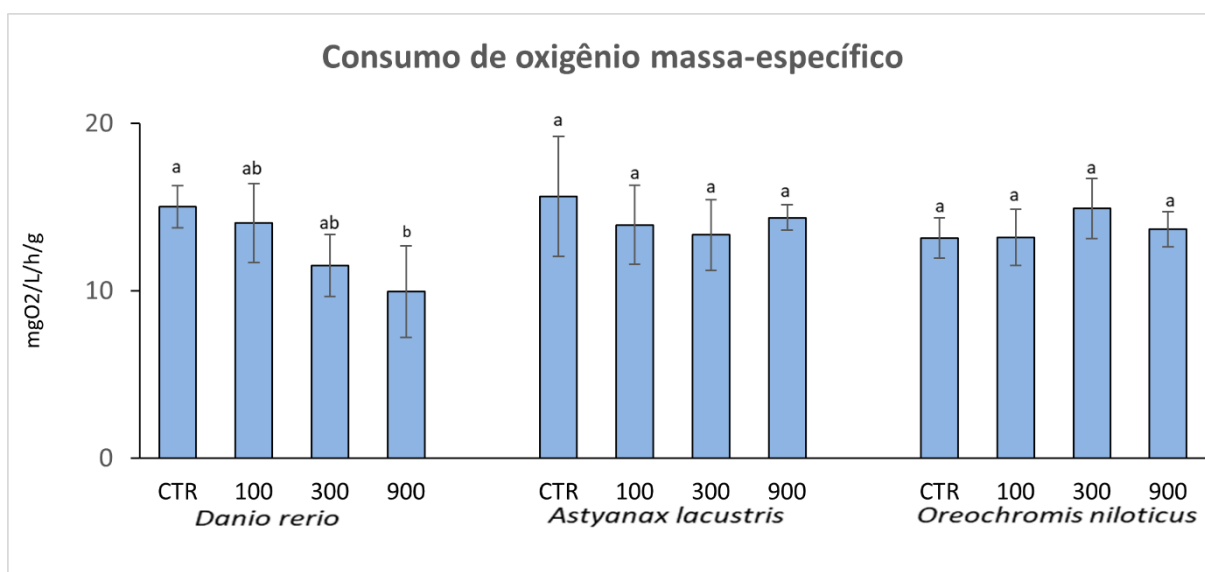
Já em relação ao consumo de oxigênio total e massa-específico, *D. rerio* também foi a única que apresentou diferenças estatísticas, como pode ser observado nos gráficos 3 e 4. Em ambos os consumos os indivíduos do grupo 900 apresentaram consumo inferior aos do grupo CTR. Os demais grupos dessa espécie apresentaram uma tendência de se manter igual no consumo de oxigênio total e massa-específico.

Gráfico 3 - Resultados do consumo de oxigênio total das três espécies amostradas em mgO₂/L/h



Fonte: a própria autora.

Gráfico 4 - Resultados do consumo de oxigênio massa-específico de total as espécies em mgO₂/L/h/g

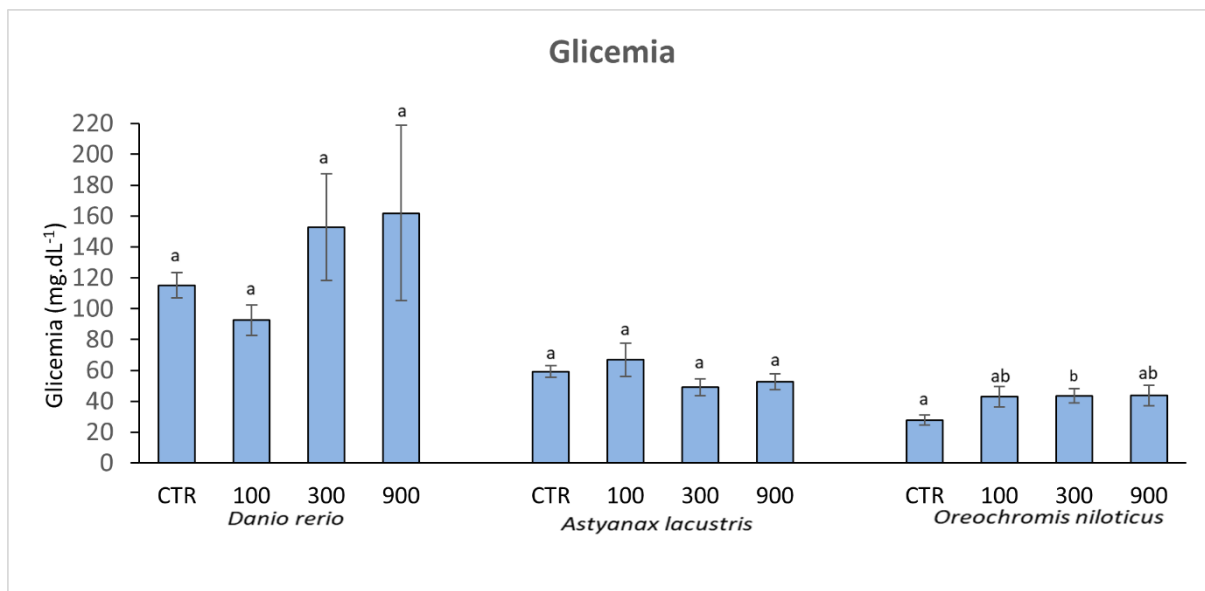


Fonte: a própria autora.

As análises de glicemia indicaram níveis muito mais elevados em *D. rerio* em todos os tratamentos, quando comparados aos níveis basais conhecidos para cada espécie: *D. rerio*, 50 mg/dL (Silva, 2021); *O. niloticus*, 30 a 70 mg/dL (Bittencourt, 2003); *A. lacustris*, 40 mg/L (dados do laboratório). Foram observados em *O. niloticus* do grupo 300 valores glicêmicos superiores aos do CTR. Em *A. lacustris* não foram observadas diferenças, assim como *D. rerio*. Porém, nestes últimos houve indivíduos dos grupos 300 e 900 que apresentaram valores glicêmicos superiores a 300 mg/dL, indicando que, em um número maior de peixes expostos possivelmente esta tendência pudesse ser confirmada. Sabe-se que parâmetros como cortisol e glicose são indicadores fisiológicos de níveis de estresse em peixes (Wendelaar, 1997), porém é importante ressaltar que a determinação da glicemia foi realizada após o esforço natatório no teste de resistência, o que explica os valores elevados mesmo no grupo CTR. O efeito da exposição a sólidos em suspensão sobre a glicemia poderia ser constatado por análises realizadas sem esforço físico ou confinamento no respirômetro.

Comparando a glicemia entre as espécies nos grupos CTR, observou-se que *D. rerio* apresentou valores significativamente superiores aos de *A. lacustris* e *O. niloticus* (diferença não indicada no gráfico).

Gráfico 5 - Resultados de glicemia das três espécies amostradas em (mg. dL⁻¹).



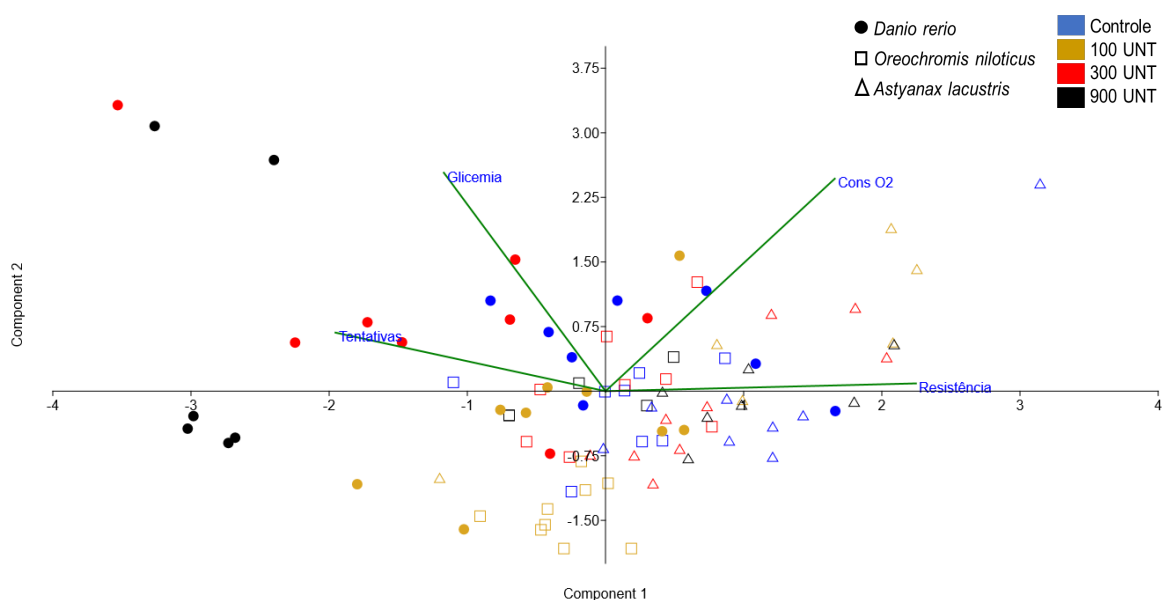
Fonte: a própria autora.

Com base na análise dos resultados conclui-se que na espécie *D. rerio* os resultados foram mais evidentes, onde ocorreu uma queda significativa da resistência natatória, aumento do número de tentativas de reotaxia, queda no consumo de oxigênio total e massa-específico, o que pode indicar possíveis danos nos tecidos que realizam as trocas gasosas, como as brânquias, refletindo no aumento da glicemia que pode ser um indicativo de estresse da exposição ou, até mesmo, dos possíveis danos causados pela abrasividade do sedimento aos tecidos (Hess et al., 2017). A diferença de responsividade de *D. rerio* quando comparado às outras duas espécies ficam evidenciada na análise de componentes principais (Fig. 4), na qual é possível observar a componente 1, está mais relacionada à resistência natatória, e ao consumo de oxigênio, correlacionadas positivamente. A PCA indicou, pelas cargas, que a componente 2 está mais relacionada à glicemia, também com dados mais evidentes

para *D. rerio*, embora as análises estatísticas, conforme observado nas análises univariadas, não tenha demonstrado diferenças.

A queda no consumo de oxigênio pode ser devida a possíveis lesões branquiais - mas não analisadas neste trabalho (os tecidos foram preservados para análises futuras) (Hess et al., 2017) -, refletindo na queda da resistência. Por essas análises, foi possível perceber também uma relação “dose-resposta” mais evidente em *D. rerio*, além de uma relação inversa entre resistência e glicemia (queda de resistência, com tendência de aumento na glicemia para essa espécie), enquanto para as demais espécies os dados foram menos agrupados e/ou menos consistentes por tratamento. É importante mencionar que as mortalidades de *O. niloticus* e *A. lacustris* diminuíram o “n” amostral nas análises com os níveis mais elevados de turbidez.

Figura 4: Análises de componentes principais (PCA), considerando o número de tentativas, glicemia, consumo de oxigênio massa-específico e resistência natatória, para as três espécies estudadas.



Fonte: a própria autora.

As espécies *A. lacustris* e *O. niloticus* apresentaram resultados semelhantes entre si, o que pode levantar uma discussão para futuros trabalhos. Ambas as espécies apresentam níveis diferentes de agressividade em situações de estresse ao organismo, porém estudos mostram que o *O. niloticus* é territorialista e agressiva e esses comportamentos são aguçados em situação de estresse (Gonçalves-de-Freitas et al., 2019). Como observado ao longo da aclimatação e exposição as tilápias atacam umas às outras levando os indivíduos mais fracos à morte. Em situações de convívio com outras espécies a tendência é o ataque para sua sobrevivência e defesa de território, sendo algo preocupante por ser uma espécie exótica que ameaça a sobrevivência de espécies nativas como o *A. lacustris*. Em resumo, apesar de *O. niloticus* e *A. lacustris* aparentemente tenham sentido menos os efeitos dos sólidos suspensos, quando comparados a *D. rerio*, a partir das análises realizadas é importante ressaltar que, em situações de alta carga de SS por escoamento superficial em áreas de solo desprotegido, mineração, rompimento de barragens, entre outros, uma espécie invasora resistente, como *O. niloticus*, pode representar um risco ainda maior sobre as espécies nativas, ainda que resistentes a SS, ainda mais quando se considera o comportamento mais agressivo dessa espécie.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através da exposição das três espécies selecionadas nos quatro níveis de turbidez indicaram que, mesmo sem alcançar a casa das 900 unidades nefelométricas de turbidez no grupo 900, os indivíduos expostos já apresentam algumas respostas e até mortes em uma exposição curta de 96 horas, o que nos leva a questionar o impactos fisiológicos a longo prazo da exposição a altos

níveis de turbidez, assim como ocorre até hoje nos corpos d'água afetados por elevadas cargas de SS e níveis de turbidez. No caso do desastre de Mariana-MG, por exemplo, no qual os danos ambientais foram imensos, apesar do foco principal tenha se voltado para as concentrações de metais, estes não foram os únicos responsáveis pela morte da ictiofauna, e não devem ser a única preocupação nesse processo de restauração, uma vez que a cada evento de precipitação intensa há grande ressuspensão de sedimentos, com aumento significativo da turbidez. Com base nos resultados obtidos neste trabalho seria interessante um comparativo entre mais espécies nativas e invasoras nos mesmos níveis de turbidez, com uma exposição conjunta entre as espécies, como, por exemplo, *A. lacustris* e *O. niloticus*, para observação de comportamentos, um tempo de exposição maior, análises histológicas para avaliar possíveis danos em tecidos branquiais e outros, e medições de glicemia antes do teste de resistência natatória para observar possíveis impactos fisiológicos advindos somente da exposição a sólidos suspensos.

Além disso, *Danio rerio* respondeu de maneira sensível nos experimentos realizados e, apesar de exótica, é uma espécie-modelo amplamente utilizada em bioensaios de toxicidade em programas de monitoramento, mas as análises quase sempre são limitadas à mortalidade. Assim, faz-se necessário ampliar o leque de análises com esta e outras espécies.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15088: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – método de ensaio com peixes (*Cyprinidae*). Rio de Janeiro, 2012.

BARCELLOS, L.J.G.; WOEHL, V.M.; WASSERMANN, G.F.; QUEVEDO, R.M.; ITTZÉS, I.; KRIEGER, M.H. Plasma levels of cortisol and glucose in response to capture and tank transference in *Rhamdia quelen* (Quoy e Gaimard), a South American catfish. *Aquaculture Research*, Oxford, 32:121-123. 2001

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/component/sisconama/?view=atosnormativos>. Acesso em: outubro de 2024.

BITTENCOURT, N. & MOLINARI, L.M. & SCOARIS, DENISE & PEDROSO, RAÍSSA & NAKAMURA, CELSO & UEDA-NAKAMURA, T. & FILHO, B.A. & FILHO, B.P. Haematological and biochemical values for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in semi-intensive system. *Acta Scientiarum - Biological Sciences*. 25. 385-389. [2003]

BRUTON, M. N. The effects of suspensoids on fish. *Hydrobiologia*, 125(1), 221-241. [1985]

CUENCA, A. L. R., SIMONATO, J. D., & MELETTI, P. C. Exposição aguda de embriões, larvas e adultos de *Danio rerio* à formulação comercial de fipronil revela efeitos no desenvolvimento e controle motor. *Ecotoxicology*, 31, 114-123. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02497-0> [2022]

DISNER, G.; CALADO, S.; SILVA DE ASSIS, H.; CESTARI, M. Toxicity of naphthalene in the Neotropical Fish *Astyanax Lacustris* (Characiformes: Characidae) and *Geophagus Brasiliensis* (Perciformes: Cichlidae). *Evidência - Ciência e Biotecnologia*, 17(1), 12976. doi:10.18593/eba.v17i1.12976. [2017]

FELLIPE, M. F., COSTA, A. C. JR., FRANCO JÚNIOR, R. F., MATOS, R. E., & JÚNIOR, A. P. *Acabou-se o que era Doce: notas geográficas sobre a construção de um desastre ambiental*. Rio de Janeiro: Folio Digital. [2016]

FERNANDES, G. W., GOULART, F. F., RANIERI, B. D., COELHO, M. S., DALES, K. J., BOESCHE, N., ... & RIBEIRO, S. P. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. *Natureza & Conservação*, 14(2), 35-45. [2016]

FUNDAÇÃO RENOVA, 2017. Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos – PMQQS Relatório Trimestral Simplificado Maio 2019. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/cif/arquivos/relatorios/relatorio-trimestral-simplificado-pmqqs-mai-19.pdf> - consultado em 09 JAN. 2025

GARUTTI, V.; LANGEANI, F. Redescription of *Astyanax goyacensis* Eigenmann, 1908 (Ostariophysi: Characiformes: Characidae). *Neotropical Ichthyology*, v. 7, p. 371-376, 2009.

GREENPACE BRASIL. O crime da Vale em Brumadinho. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/brasil/o-crime-da-vale-em-brumadinho/>. [2024] Acesso em: 27 nov. 2024.

GONVALVES-DE-FREITAS, E. et al. Comportamento social e bem-estar em tilápia do Nilo. *Peixes*, 4(2), 23. [2019] <https://doi.org/10.3390/fishes4020023>. Acesso em: 14 jan. 2025.

HAMMER, C. . Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 112(1), 1-20. [1995]

HENLEY, W. F., PATTERRSON, M. A., NEVES, R. J., & LEMLY, A. D. Effects of sedimentation and turbidity on lotic food webs: A concise review for natural resource managers. *Reviews in Fisheries Science*, 8(2), 125-139. [2000]

HESS, S.; PRESCOTT, L. J.; HOEY, A. S.; McMAHON, S. A.; WENGER, A. S.; RUMMER, J. L. Species-specific impacts of suspended sediments on gill structure and function in coral reef fishes. *Proceedings of the Royal Society B*, v. 284, 20171279, [2017]. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2017.1279>. Acesso em: 25 jan. 2025.

HUDSON, R. *Interpreting Turbidity and Suspended-Sediment Measurements in High-Energy Streams in Coastal British Columbia*. Forest Research Technical Report TR-008, Research Section, Vancouver Forest Region. Vancouver: BCMOF. 16p. [2001]

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Laudo técnico preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG*. Brasília: IBAMA. [2015]

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Nota técnica: Relatório anual sobre a ictiofauna dulcícola – RT24*. Brasília, [2019].

Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/cif/arquivos/notas-tecnicas/CT->

[BIO/2019/nt_ctbio_rrdm_rel_anual_rt24_dulcicolaictiofauna_19.pdf](https://www.gov.br/ibama/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/cif/arquivos/notas-tecnicas/CT-BIO/2019/nt_ctbio_rrdm_rel_anual_rt24_dulcicolaictiofauna_19.pdf). Acesso em: 05 fev. 2025.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). (2024). Igam lança encarte especial sobre qualidade da água no rio Doce. Disponível em: <https://igam.mg.gov.br/w/igam-lanca-encarte-especial-sobre-qualidade-da-agua-no-rio-doce>. [2024] Acesso em: 28 ago. 2024.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Repositório Institucional. Disponível em: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 6 fev. 2025.

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DA USP. Desmatamento, expansão agrícola, crescimento urbano e mineração afetam a qualidade da água nos rios brasileiros. Instituto de Biociências da USP, 2021. Disponível em: <https://www.ib.usp.br/mais-noticias/3189-desmatamento-expansao-agricola-crescimento-urbano-e-mineracao-afetam-a-qualidade-da-agua-nos-rios-brasileiros.html>. Acesso em: 30 jan. 2025.

KJELLAND, Michael E.; WOODLEY, Christa M.; SWANNACK, Todd M.; SMITH, David L. A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related physiological, behavioral, and transgenerational implications. *Environ Syst Decis*, v. 35, p. 334–350, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10669-015-9557-2>. Acesso em: 30 jan. 2025.

LOPARDO, N. (2002). *Estudo hidrodinâmico e correlação com sólidos suspensos e turbidez na lagoa Itapeva do litoral norte do estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação (Mestrado em [nome do programa]) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/10183/3982/1/000395607.pdf>. Acesso em: 18 dez 2024

MARTINS, M., PILARSKY, F., ONAKA, E. M., NOMURA, D. D. T., FENERICK, J., RIBEIRO, K., MIYAZAKI, D. M. Y., CASTRO, M. P., & MALHEIROS, E. B. Hematologia e resposta inflamatória aguda em *Oreochromis niloticus* (Osteichthyes: Cichlidae) submetida aos estímulos único e consecutivo de estresse de captura. *Boletim do Instituto de Pesca*, 30(1), 71-80. [2004]

MEADE, R. H., DUNNE, T., RICHEY, J. E., SANTOS, U. M., & SALATI, E. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, 228(4698), 488-490. [1985]

MELO, F. R. M. *Avaliação dos efeitos do hidrocarboneto aromático fenantreno e do metal cobre em juvenis do peixe Poecilia vivipara*. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. [2011]

NELSON, J. A., & CHABOT, D. General energy metabolism. In: Farrell, A. P. (Ed.), *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*, Vol. 3, pp. 1566-1572. [2011]

PEIXOTO, RODRIGO DE ALMEIDA OLIVEIRA. Análise da influência antrópica na degradação da qualidade da água pelo aumento do transporte de sedimentos: aplicação do método de Colby (1957). [2019] Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/XV-088.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2025.

PIRES VIEIRA MORAIS DE FARIA, N. et al. Can Aluminum Affect Social Behavior and Cortisol Plasma Profile in the Neotropical Freshwater Teleost *Astyanax lacustris* (Teleostei: Characidae)? *Life*, v. 14, n. 12, p. 1697, [2024]. doi: 10.3390/life14121697.

POPMA, T., & LOVSHIN, L. Aspectos relevantes da biologia e do cultivo das tilápias. *Panorama da Aquicultura*, 5(27), 8-13. [1995]

RIBEIRO, O. M., PINTO, M. Q., FÉLIX, L., MONTEIRO, S. M., FERNANDES, A. F., & CARROLA, J. S. O peixe-zebra (*Danio rerio*) como modelo emergente na ecotoxicologia. *Revista de Ciência Elementar*, 10(2), 021. doi:10.24927/rce2022.021. [2022]

SERVIZI, J. A., & MARTENS, D. W. Effect of temperature, season, and fish size on acute lethality of suspended sediments to coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(3), 493-497. [1991]

SILVA, FERNANDA TAYLA DE SOUSA. *Efeito hipoglicemiante do extrato concentrado de pitaia vermelha (Hylocereus spp.) em modelo de zebrafish (Danio rerio)*. 81 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal do Ceará, Campus Limoeiro do Norte, [2021]. Acesso em: 5 fev. 2025.

SOUZA, P. A. Open data could have helped us learn from another mining dam disaster. *Scientific Data*, 6(1), 54. [2019]

SOUZA, T. J. E. Os impactos ambientais decorrentes do rompimento da barragem em Mariana. *Revista do Conselho Nacional do Ministério Público*, 7(7), 139. doi:10.36662/revistadocnmp.i7.106. [2018] Disponível em: <https://doi.org/10.36662/revistadocnmp.i7.106>. Acesso em: 23 dez 2024.

VILLARDI, BRUNO; GIORDANO, GANDHI; BARBOSA, OLAVO. Turbidez em organismos aquáticos: revisão bibliográfica e suas implicações legais. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Emerson->

[Goncalves/publication/321724576_ALFABETIZACAO_CIENTIFICA_APRENDENDO_SOBRE_ALIMENTOS_NA_PERSPECTIVA_SOCIO-HISTORICA_DE_VYGOTSKY/links/5a2e7d470f7e9b63e53d7bed/ALFABETIZACAO-CIENTIFICA-APRENDENDO-SOBRE-ALIMENTOS-NA-PERSPECTIVA-SOCIO-HISTORICA-DE-VYGOTSKY.pdf#page=84](https://www.goncalves/publication/321724576_ALFABETIZACAO_CIENTIFICA_APRENDENDO_SOBRE_ALIMENTOS_NA_PERSPECTIVA_SOCIO-HISTORICA_DE_VYGOTSKY/links/5a2e7d470f7e9b63e53d7bed/ALFABETIZACAO-CIENTIFICA-APRENDENDO-SOBRE-ALIMENTOS-NA-PERSPECTIVA-SOCIO-HISTORICA-DE-VYGOTSKY.pdf#page=84). [2016] Acesso em: 02 fev. 2025.

WENDELAAR BONGA SE. The stress response in fish. *Physiol Rev.* [1997] Jul;77(3):591-625. doi: 10.1152/physrev.1997.77.3.591. PMID: 9234959.

WENGER, A. S., JOHANSEN, J. L., & JONES, G. P. Suspended sediment impairs habitat choice and chemosensory discrimination in two coral reef fishes. *Coral Reefs*, 30(4), 879-887. [2011]