



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO  
DA BIODIVERSIDADE

**INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ DA ÁGUA SOBRE A MOBILIDADE DE PEIXES:  
UM ESTUDO META-ANALÍTICO**

**JEAN NASCIMENTO RODRIGUES**

**Cuiabá-MT  
2021**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO  
DA BIODIVERSIDADE

**INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ DA ÁGUA SOBRE A MOBILIDADE DE PEIXES:  
UM ESTUDO META-ANALÍTICO**

**JEAN NASCIMENTO RODRIGUES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, do Instituto de Biociências, para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação da Biodiversidade.

**Cuiabá-MT  
2021**

**Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

N244i Nascimento Rodrigues, Jean.  
Influência da turbidez da água sobre a mobilidade de peixes: Um estudo meta-analítico / Jean Nascimento Rodrigues. -- 2021  
vi, 21 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Bruno Renaly Souza Figueiredo.

Co-orientador: Jean Carlo Gonçalves Ortega.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade, Cuiabá, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Predação. 2. Visão. 3. Comportamento animal. 4. Interação Predador-presa. 5. Meta-análise. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** "INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ DA ÁGUA SOBRE A MOBILIDADE DE PEIXES: UM ESTUDO META-ANALÍTICO"

**AUTOR:** MESTRANDO JEAN NASCIMENTO RODRIGUES

Dissertação defendida e aprovada em 21 de Junho de 2021.

**COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

Presidente da Banca/Orientador: Doutor Bruno Renaly Souza Figueiredo

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Examinador Externo: André Andrian Padial

Instituição: Universidade Federal do Paraná

Examinadora Externa: Doutora Danielle Katharine Petsch

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

Examinadora Interna: Lucélia Nobre Carvalho

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Suplente: Thadeu Sobral de Souza

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

26/07/2021

SEI/UFMT - 3510788 - MESTRADO - Folha de Aprovação

**Cuiabá - MT, 21 de Junho de 2021.**

Documento assinado eletronicamente por **André Andrian Padial, Usuário Externo**, em 21/07/2021, às 12:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Renaly Souza Figueiredo, Usuário Externo**, em 21/07/2021, às 14:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Danielle Katharine Petsch, Usuário Externo**, em 21/07/2021, às 16:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **LUCELIA NOBRE CARVALHO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 23/07/2021, às 14:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufmt.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3510788** e o código CRC **A93256D3**.

Referência: Processo nº 23108.037193/2021-94

SEI nº 3510788

**ORIENTADOR**

Prof. Dr. Bruno Renaly Souza Figueiredo

**COORIENTADOR**

Prof. Dr. Jean Carlo Gonçalves Ortega

**Dedico este trabalho à minha família.**

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de pesquisa concedida para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Bruno Renaly Souza Figueiredo, pela ótima orientação durante esses dois anos, pela paciência e apoio na concretização deste trabalho, e por todos os conhecimentos transmitidos.

Ao Prof. Dr. Jean Carlo Gonçalves Ortega, pela ótima coorientação, por todo auxílio na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Thiago Junqueira Izzo, pela disponibilização do laboratório, e pela ótima realização do curso de campo.

Ao Prof. Dr. André Andrian Padial pela disciplina de Meta-análise realizada na UFPR.

À pós-graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade, por todo apoio durante o mestrado e à secretária da Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Advanilce Faria Monteiro por todo apoio e ótimo atendimento.

Aos colegas da turma de mestrado, por tornarem essa caminhada menos estressante.

Aos professores da pós-graduação por todo conhecimento transmitido durante as disciplinas, que muito contribuíram durante minha formação.

Aos membros da banca de qualificação e de dissertação, obrigado pela participação e colaboração.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	1
RESUMO .....	2
ABSTRACT .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	4
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	6
2.1 Estratégias de busca .....	6
2.2 Obtenção de dados .....	7
2.3 Análise de dados .....	8
3. RESULTADOS .....	9
4. DISCUSSÃO .....	11
5. CONCLUSÃO .....	14
5. REFERÊNCIAS .....	14
6. FONTES DE DADOS .....	19

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Diagrama PRISMA detalhando as etapas de inclusão e exclusão de estudos, e o quantitativo de estudos por etapa..... 6
- Figura 2.** Distribuição global dos 22 estudos selecionados por nossa estratégia de busca que avaliaram o efeito da turbidez na atividade de locomoção de peixes..... 9
- Figura 3.** Variação da relação entre turbidez e a atividade locomotora ( $g$  de Hedges). Os tamanhos de efeitos estão ordenados de acordo com a filogenia à esquerda. A linha vertical tracejada indica um tamanho de efeito = 0, a linha vertical contínua indica o tamanho de efeito acumulado. O tamanho dos círculos representa o peso de cada tamanho de efeito para o cálculo do tamanho de efeito acumulado. Círculos em branco, vermelho e azul indicam tamanhos de efeitos não-significativos, negativos e positivos, respectivamente.....10

## RESUMO

O aumento da turbidez em ambientes aquáticos impacta diretamente a capacidade dos peixes de usar estímulos visuais como fonte de informação. Em geral, os peixes compensam a redução na probabilidade de encontrar presas sob reduzida visibilidade subaquática aumentando a distância percorrida e/ou o tempo gasto em natação ativa. No entanto, também há estudos na literatura sugerindo que a nível de atividade de algumas populações de peixes não são alteradas por variações nos níveis de turbidez. Neste estudo, realizamos uma revisão sistemática e meta-análise sobre o efeito da turbidez sobre a mobilidade de peixes. Testamos a hipótese de que a turbidez aumenta a atividade natatória de espécies de peixes piscívoros e não piscívoros. Além disso, controlando a dependência entre os tamanhos de efeito e as relações filogenéticas entre as espécies de peixes, nós exploramos possíveis fontes de heterogeneidade nos tamanhos de efeito da turbidez sobre a mobilidade dos peixes entre os estudos, avaliando como moderadores: tamanho do corpo, tamanho dos olhos e posição trófica dos peixes e o intervalo de turbidez usado nos estudos. Encontramos um efeito nulo da turbidez sobre a mobilidade dos peixes e uma variação significativa no tamanho do efeito calculado entre os estudos, mediada principalmente pelo intervalo de turbidez investigado nos estudos. Por outro lado, o tamanho de efeito calculado não foi influenciado pelo tamanho do corpo, tamanho dos olhos e posição trófica do peixe. Verificamos que diferentes espécies de peixes têm contribuições distintas para o tamanho do efeito calculado, o que pode indicar que o tamanho do efeito da turbidez sobre a mobilidade dos peixes depende de algumas características dos peixes. Entre tais características, a adaptação ao longo da história de vida de peixes à condições de água turbida parece ser decisivo, isto porque indivíduos adaptados à ambientes túrbidos são menos afetados por aumentos na turbidez que indivíduos adaptados a ambientes de água transparente, mostrando que a experiência recente dos peixes pode ser uma fonte de variabilidade intraespecífica na resposta dos peixes ao aumento na turbidez. Por fim, observamos também uma lacuna geográfica na realização de estudos em clima (sub) tropical, pois a maioria dos estudos foi realizada no hemisfério norte, estudando peixes adaptados ao clima temperado. Nossas descobertas nos ajudam a entender como alterações na transparência da água (naturais ou mediadas pelo homem) podem direta ou indiretamente alterar o comportamento de peixes, e revelam que algumas populações são mais susceptíveis a extinção local, enquanto outras são capazes de lidar com as mudanças no ambientes e persistir.

**Palavras-chave:** Transparência da água; Visão; Comportamento animal; Interação Predador-presa; Meta-análise.

## ABSTRACT

Increased turbidity in aquatic environments directly impacts the ability of fish to use visual stimuli as a source of information. In general, fish compensate for the reduced probability of finding prey under reduced underwater visibility by increasing the distance traveled and/or the time spent in active swimming. However, there are also studies in the literature suggesting that the activity level of some fish populations is not altered by variations in turbidity levels. In this study, we conducted a systematic review and meta-analysis on the effect of turbidity on fish mobility. We tested the hypothesis that turbidity increases the swimming activity of piscivorous and non-p piscivorous fish species. Furthermore, controlling for the dependence between effect sizes and phylogenetic relationships among fish species, we explored possible sources of heterogeneity in turbidity effect sizes on fish mobility across studies, evaluating as moderators: body size, eye size and trophic position of fish and the turbidity range used in the studies. We found a null effect of turbidity on fish mobility and a significant variation in the calculated effect size between studies, mediated mainly by the turbidity range investigated in the studies. On the other hand, the calculated effect size was not influenced by body size, eye size, and trophic position of the fish. We found that different fish species have distinct contributions to the calculated effect size, which may indicate that the effect size of turbidity on fish mobility depends on some fish characteristics. Among such characteristics, the life-history adaptation of fishes to turbid water conditions seems to be decisive, because individuals adapted to turbid environments are less affected by increases in turbidity than individuals adapted to clear water environments, showing that the recent experience of fishes may be a source of intraspecific variability in the response of fishes to increases in turbidity. Finally, we also observed a geographic gap in the conduct of studies in (sub)tropical climates, as most studies have been conducted in the northern hemisphere, studying fish adapted to temperate climates. Our findings help us understand how changes in water transparency (natural or human-mediated) can directly or indirectly alter fish behavior, and reveal that some populations are more susceptible to local extinction, while others are able to cope with changing environments and persist.

**Key words:** Water transparency, Vision; Animal behavior; Predator-prey interaction; Meta-analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

A turbidez da água é reconhecidamente uma variável que influencia o comportamento de diversas espécies aquáticas (ABRAHAMS; KATTENFELD, 1997; SNICKARS et al., 2004). Isto ocorre porque a maioria dos animais aquáticos dependem primariamente da visão como fonte de informação sobre o ambiente ao seu redor (GUTHRIE, 1986). A turbidez é uma medida da quantidade de partículas em suspensão na água que podem dispersar a luz, reduzindo a luminosidade subaquática e limitando o alcance e a acuidade visual dos animais (AKSNES; GISKE, 1993; CAVES et al., 2017; GISKE et al., 1994). Condições de alta turbidez impactam diretamente diferentes características comportamentais dos animais, tais como a escolha de habitat, redução dos níveis de predação, estratégia de anti-predação e a seleção de parceiros sexuais (BARBOSA; CASTELLANOS, 2005, CORRAL-LÓPEZ et al., 2017, LILJENDAHL et al., 2008; QUESENBERRY et al., 2007). Por exemplo a espécie *Lagodon rhomboides* ao serem expostos a ambientes túrbidos reduzem o seu forrageamento, provavelmente porque a turbidez reduz a capacidade de predadores em detectar suas presas (LUNT; SMEE, 2015; ORTEGA et al., 2020). Dessa forma, a elevação dos níveis de turbidez pode causar extinção local de espécies não adaptadas a forragearem sob baixa visibilidade subaquática (EHLMAN et al., 2020).

Os ecossistemas aquáticos vêm sofrendo ameaças crescentes e sem precedentes das atividades humanas (DUDGEON et al., 2005). Por exemplo, a alteração no regime de precipitação anual resulta na ocorrência de chuvas mal distribuídas, com grande pluviosidade em certas partes do globo, onde é previsto um aumento na carga de sedimentos transportados aos ambientes de água doce (IPCC, 2013; WHITEHEAD et al., 2009), reduzindo a visibilidade subaquática e impactando as interações ecológicas. O aumento na turbidez decorre não apenas do transporte de sedimentos de ambientes terrestres para os ambientes aquáticos, que induz a turbidez inorgânica, mas também pode ser resultado do carreamento de nutrientes (p. ex.: nitrogênio e fósforo utilizados como fertilizantes agrícolas) que eutrofizam o ambiente aquático, favorecem o aumento no tamanho das populações de algas, e geram turbidez orgânica (COLLIN et al., 2015; DAVIES-COLLEY et al., 1993; FIGUEIREDO et al., 2020).

A atividade natatória é uma característica muito importante para os peixes, pois ela está associada a busca por alimento, ao escape de predação, as interações sociais e com a reprodução e processos migratórios (MCKENZIE, 2011). Em águas túrbidas é sabido que alguns peixes piscívoros, orientados visualmente, podem aumentar sua atividade

natatória para compensar a reduzida capacidade de detecção de suas presas e a menor eficiência de forrageamento (UTNE-PALM, 2002), e aumentar as taxas de encontro com suas presas (MEAGER; BATTY, 2007). De forma similar, os peixes onívoros e invertívoros também podem apresentar maior atividade natatória em ambientes túrbidos, tanto porque a turbidez reduz a detectabilidade das presas pelos predadores, fornecendo um refúgio visual (LEHTINIEMI et al., 2005), quanto porque a percepção do risco de predação também é reduzida, o que leva a um aumento na busca por alimento sob baixa visibilidade subaquática (GREGORY & NORTHCOTE, 1993; SNICKARS et al., 2004). Embora haja evidências mostrando que o aumento da turbidez aumenta a mobilidade de peixes piscívoros e não-piscívoros, também há na literatura resultados conflitantes, mostrando efeito nulo e negativo da turbidez sobre a locomoção de peixes. Por exemplo, GRAY et al. (2012) e MINER e STEIN (1996) observaram reduções nas atividades natatória de peixes com o aumento na turbidez, outros autores reportaram relação não significativa entre turbidez e atividade locomotora (p. ex., JÖNSSON et al., 2013).

Como o comportamento empregado pelas espécies depende da capacidade do animal em integrar vários estímulos sensoriais (JORDAN; RYAN, 2015), algumas características dos animais podem atenuar o impacto da elevação da turbidez na atividade de locomoção dos peixes. Por exemplo, o tamanho do olho, que está positivamente correlacionado com maior acuidade visual, uma vez que um maior tamanho de olho apresenta maior densidade de fotorreceptores da retina e de células ganglionares (CAVES et al., 2017; MYRBERG; FUIMAN, 2002). Similarmente, o tamanho corporal pode atenuar a magnitude do efeito negativo da turbidez sobre a mobilidade, visto que peixes maiores podem experimentar menor risco de predação, considerando que poucos predadores terão abertura de boca suficiente para ingeri-los, além disso, peixes maiores podem apresentar estruturas morfológicas de defesa mais desenvolvidas, o que permite o animal aumentar a movimentação sob baixa visibilidade, sem que essa ação represente maior risco de ser predado (COWAN et al., 1996; PREISSER; ORROCK, 2012). Dessa forma, indivíduos maiores podem ter alguma vantagem adaptativa em relação a indivíduos menores em ambientes de água turbida (FIGUEIREDO et al., 2019).

Neste estudo, conduzimos uma uma revisão sistemática e meta-análise para examinar o efeito da turbidez sobre a atividade locomotora de peixes. Testamos a hipótese que a turbidez aumenta a movimentação de peixes. Isto ocorreria porque os peixes compensam a redução na visibilidade subaquática aumentando a distância percorrida e/ou o tempo gasto em natação ativa. Além disso, esperamos que a magnitude do efeito da turbidez

sobre a atividade natatória de peixes seja maior para (1) maiores níveis de turbidez, (2) peixes com menor tamanho de olho médio e (3) menor tamanho corporal e (4) para peixes piscívoros que para não piscívoros.

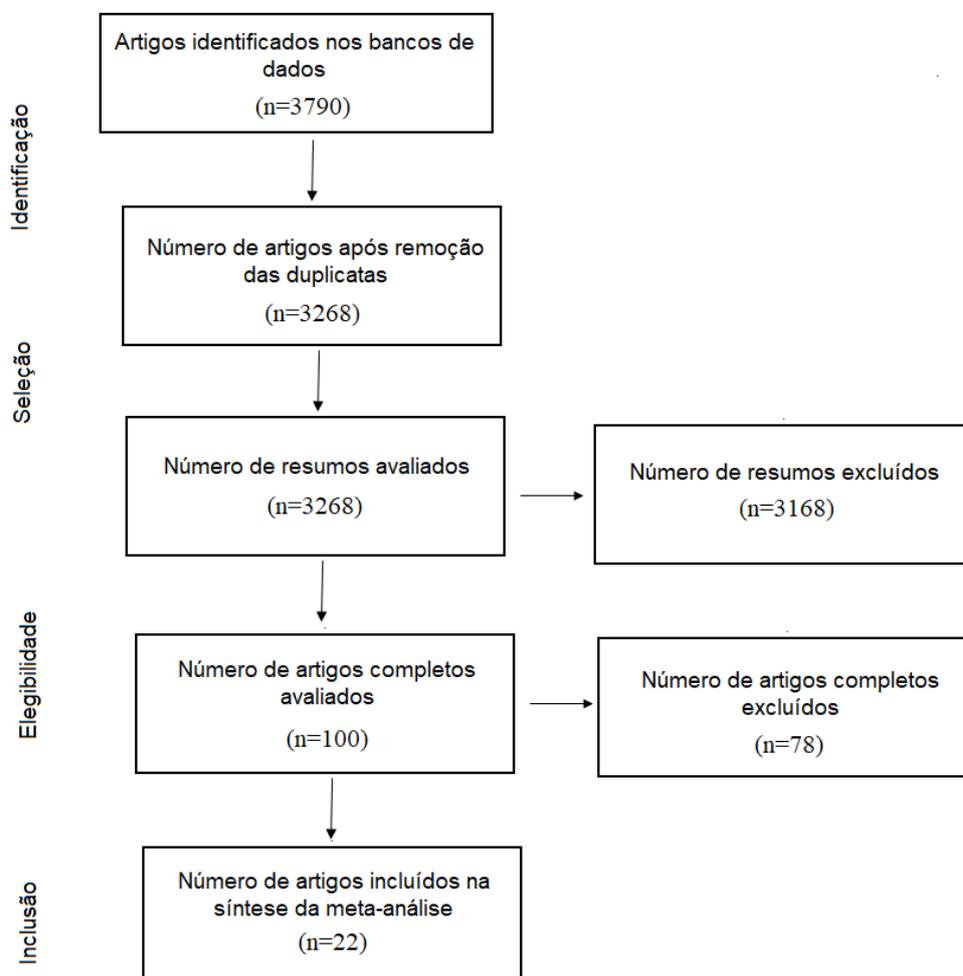
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Estratégias de busca

Realizamos uma busca sistemática nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, em 03 de julho de 2021, usando o seguinte conjunto de palavras-chave e operadores booleanos: ("fish" OR "fishes" OR "teleost\*") AND ("swim\*" OR "movement\*" OR "activit\*" OR "locomoti\*") AND ("turbid\*" OR "transparen\*" OR "suspended sediment\*" OR "browni\*"). A busca sistemática foi realizada sem filtros adicionais no *Web of Science*, enquanto na base *Scopus* a busca realizada se limitou aos tópicos “*Title, Abstract and keywords*” e foi restrita a categoria de documento “artigo” e na área de “*Agricultural and Biological Sciences*”.

Encontramos 3790 estudos através das palavras-chave utilizadas, dos quais 518 duplicatas foram excluídas, totalizando 3268 estudos em que analisamos título e resumo. Excluimos 3039 resumos por estar fora do escopo da nossa meta-análise (i.e., não abordaram o efeito da turbidez sobre atividade natatória). Em seguida, avaliamos na íntegra os 100 artigos restantes, dos quais 73 estudos foram excluídos por não atenderem ao escopo do nosso trabalho, ou seja, não abordaram o efeito da turbidez na mobilidade dos peixes. Outros cinco estudos foram excluídos por falta de dados suficientes para estimativa dos tamanhos de efeitos, tais como tamanho amostral, desvios-padrões e médias, os quais não foram fornecidos mesmo após contato com os autores. Portanto, incluímos um total de 22 estudos em nossa meta-análise (Figura 1).

**Figura 1.** Diagrama PRISMA (MOHER et al., 2009) detalhando as etapas de inclusão e exclusão de estudos, e o quantitativo de estudos por etapa.



## 2.2 Obtenção de dados

Dos 22 estudos que foram selecionados por nossa estratégia de busca, nós registramos as informações do tamanho amostral, média e desvio-padrão para a variável resposta relacionada à atividade natatória nas condições de controle e tratamento. Essas informações são necessárias para mensurar o efeito da turbidez sobre a atividade natatória utilizando uma métrica de tamanho de efeito padronizada entre os estudos (BORENSTEIN, 2009). Todos os estudos utilizados compararam respostas comportamentais de um grupo controle “água clara” a um ou mais grupos experimentais “água turbida”, todos os estudos foram conduzidos em laboratórios. Exemplos de respostas utilizadas nos estudos sobre a atividade natatória foram: a quantidade de linhas cruzadas (CHACIN; STALLINGS, 2016;

HELMAN et al., 2019), mudança na atividade de natação (RANÅKER et al., 2012) e distância percorrida (JONSSON et al., 2013).

Em cada estudo selecionado, registramos as identidades das espécies, separando-os em subgrupos de peixes piscívoros (8 artigos) e não-piscívoros (14 artigos), o tamanho corporal médio (cm) e a amplitude de turbidez utilizada em cada estudo (em unidades nefelométricas; NTU). Para a identificação do tamanho do olho (diâmetro do olho em relação ao tamanho corporal), utilizamos as informações contidas no repositório *Fishbase* (FROESE; PAULY, 2021).

### 2.3 Análise de dados

Como os estudos incluídos consistiam de delineamentos de comparações entre médias, estimamos o  $g$  de Hedges (e sua variância) como estatística de tamanho de efeito (BORENSTEIN et al., 2009).

Valores de  $g$  de Hedges positivos indicam maior atividade locomotora em águas mais túrbidas. Para avaliar um efeito global da turbidez sobre a atividade de locomoção dos peixes, estimamos um tamanho de efeito acumulado utilizando um modelo multinível de efeitos aleatórios. Modelos de efeitos aleatórios assumem que os estudos não compartilham um único tamanho de efeito verdadeiro (BORENSTEIN et al., 2009), o que é razoável de se esperar em estudos ecológicos que avaliam hipóteses similares em diferentes grupos de organismos, ecossistemas e delineamentos (MENGERSEN et al., 2013; NAKAGAWA; SANTOS, 2012). Modelo multinível é uma estratégia meta-analítica eficiente para controlar o efeito de diversos tamanhos de efeito oriundos de um mesmo estudo (multiplicidade), sinais filogenéticos ou outros artifícios que possam viciar as estimativas das variâncias dos parâmetros (LÓPEZ et al., 2018; NAKAGAWA; SANTOS, 2012). O tamanho de efeito acumulado foi calculado utilizando o inverso da variância total dos estudos como pesos (BORENSTEIN et al., 2009). Para mantermos a independência dos dados, utilizamos as médias dos estudos que apresentavam diversos tratamentos comparados a um único controle.

Quantificamos a heterogeneidade (variabilidade nos resultados dos estudos primários) pela estatística  $T^2$  (BORENSTEIN et al., 2009). Particionamos a heterogeneidade total em  $T^2_{\text{entre estudos}}$  e  $T^2_{\text{nível de estudos}}$  (NAKAGAWA; SANTOS, 2012). Posteriormente, realizamos uma meta-regressão (BORENSTEIN, 2009) para avaliarmos se a relação entre turbidez e atividade natatória ( $g$  de Hedges) varia em função (1) do tamanho corporal médio, (2) tamanho do olho (dividido pelo tamanho corporal para reduzir efeitos alométricos), (3)

amplitude de turbidez e (4) posição trófica (piscívoros e não piscívoros). Essas variáveis foram utilizadas como moderadores. Os moderadores são variáveis que alteram a força da relação entre a variável preditora e a variável dependente (FRAZIER et al., 2004). As metas-regressões também consistiam em um modelo multinível de efeitos aleatórios.

Avaliamos possível sinal filogenético nos tamanhos de efeitos pelo  $\lambda$  de Pagel (MÜNKEMÜLLER et al., 2012) utilizando médias de tamanho de efeito por espécie. Utilizamos uma hipótese filogenética recente de peixes ósseos (RABOSKY et al., 2018) para quantificar o efeito filogenético seguindo um modelo de movimento Browniano. Devido ao  $\lambda$  de Pagel não indicar sinal filogenético ( $\lambda$  de Pagel= 0.065), nós não incluímos efeitos filogenéticos tanto na estimativa do tamanho de efeito acumulado ou dos parâmetros da meta-regressão.

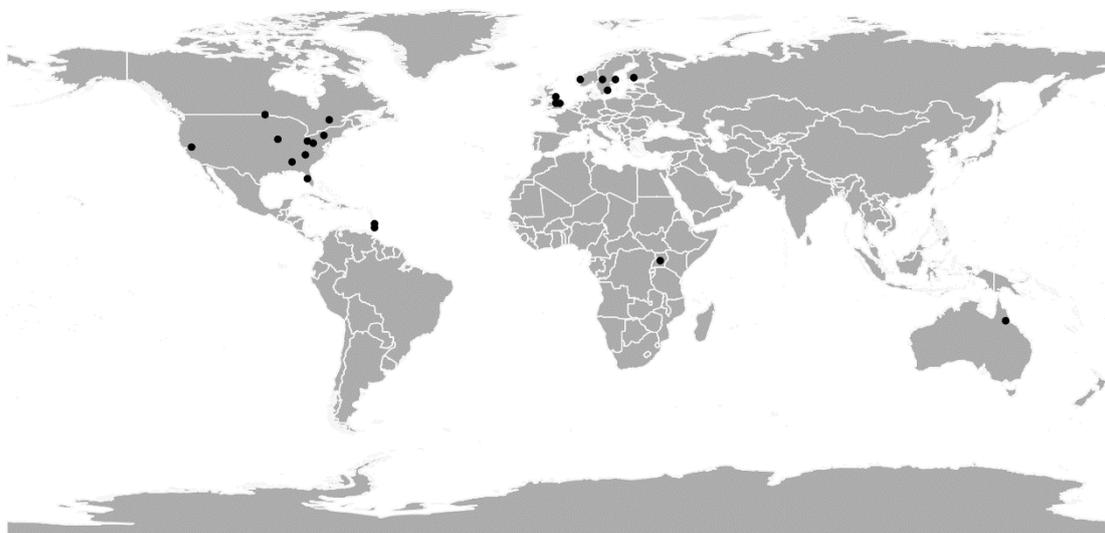
Avaliamos o possível viés de publicação na literatura sobre turbidez e atividade locomotora usando o número à prova de falhas de Orwin (OFSN; ORWIN, 1983) e o procedimento apara-e-preenche (*Trim and Fill*; DUVAL; TWEEDIE, 2000). O OFSN estima o número de estudos potencialmente omitidos por viés de publicação que seriam necessários para reduzir o tamanho de efeito médio até um determinado limiar relevante (BORENSTEIN et al., 2009; ORWIN, 1983). Consideramos como relevante um tamanho de efeito igual a 50% do tamanho de efeito médio. O procedimento apara-e-preenche é uma técnica iterativa que estima o número de estudos necessários para atingir a simetria em um gráfico de funil (número de estudos potencialmente ausentes por viés de publicação) e corrige a estimativa do tamanho de efeito acumulado considerando os estudos potencialmente omitidos (BORENSTEIN et al., 2009). Para o cálculo do OFSN e procedimento apara-e-preenche utilizamos tamanhos de efeitos e variâncias médias por estudo para evitar multiplicidade nas análises de viés de publicação.

Realizamos todas as análises no software R (R CORE TEAM, 2020), usando o pacote “metafor” (VIECHTBAUER, 2010) para calcular os tamanhos de efeitos e a meta-regressão e o pacote “metaDigitise” (PICK et al., 2019) para extrair os dados das figuras dos estudos selecionados. Utilizamos o pacote “fishtree” (CHANG et al. 2019) para construção da filogenia de peixes e o pacote “ape” (PARADIS; SCHLIEP, 2019) para cálculo do  $\lambda$  de Pagel.

### 3. RESULTADOS

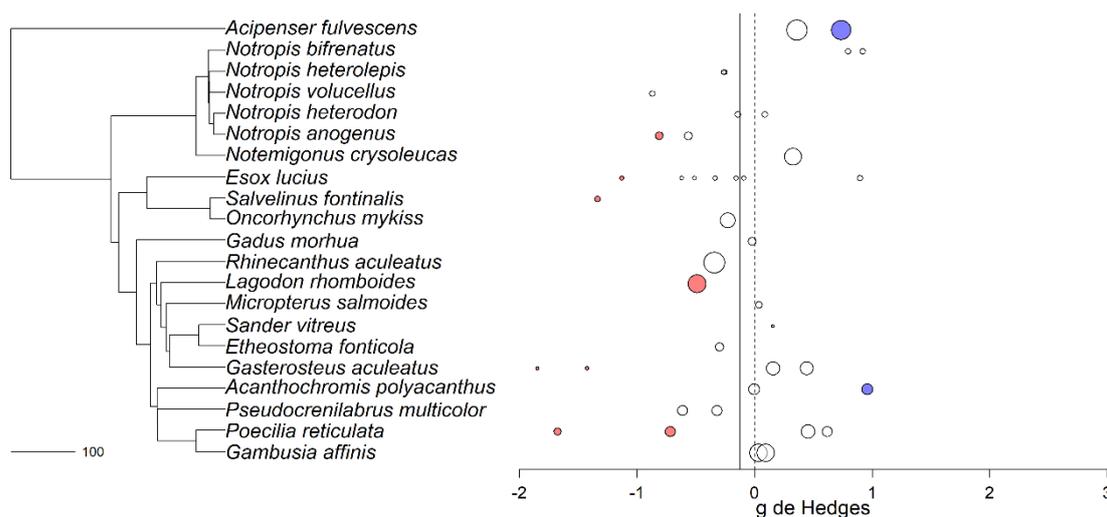
A maioria dos estudos utilizados foram realizados no hemisfério norte, especialmente na América do Norte e na Europa (Figura 2). Apenas três dos estudos incluídos foram conduzidos na região tropical, dois em Trinidad e Tobago (América Central) e um em Uganda (África). No total, os trabalhos selecionados estudaram 21 espécies de peixes, sendo 15 delas de água doce e 6 marinhas, o tamanho corporal variou de 1,4 cm a 39,8 cm, e o nível de turbidez usado nos estudos variou entre 0 a 946 NTU.

**Figura 2.** Distribuição global dos 22 estudos selecionados por nossa estratégia de busca que avaliaram o efeito da turbidez na atividade de locomoção de peixes.



Estimamos 43 tamanhos de efeitos de 22 estudos. Os tamanhos de efeitos da relação entre turbidez e atividade natatória variaram de -2,02 a 1,12. Estimamos um efeito global negativo, mas não significativo da relação entre turbidez e a atividade natatória dos peixes ( $g$  de Hedges  $\pm$  CI<sub>95</sub> =  $-0.124 \pm 0.135$ ,  $p = 0,35$ ) (Figura 3). No entanto, a variação entre os estudos da meta-análise foi significativa ( $T^2_{\text{entre estudos}} = 0.0792$ ,  $T^2_{\text{nível de estudos}} = 0.2555$ ,  $Q = 121.612$ ,  $gl = 42$ ,  $p < 0,001$ ),  $I^2 = 65.46\%$ . Tamanho corporal ( $Q = 0.2375$ ,  $p = 0.626$ ), tamanho do olho ( $Q = 0.275$ ,  $p = 0.599$ ), a posição trófica dos peixes ( $Q = 0.8929$ ,  $p = 0.344$ ) não explicaram a variação dos resultados entre os estudos, já a amplitude dos níveis de turbidez utilizados nos estudos ( $Q = 5.2768$ ,  $p = 0.0216$ ) explicou a variação entre os estudos.

**Figura 3.** Variação da relação entre turbidez e a atividade locomotora (g de Hedges). Os tamanhos de efeitos estão ordenados de acordo com a filogenia à esquerda. A linha vertical tracejada indica um tamanho de efeito = 0 e a linha contínua indica o tamanho do efeito acumulado. O tamanho dos círculos representa a contribuição de cada tamanho de efeito para o cálculo do tamanho de efeito acumulado. Círculos em branco, vermelho e azul indicam tamanhos de efeitos não-significativos, negativos e positivos, respectivamente.



Na avaliação de viés de publicação, o procedimento para-e-preenche indicou que possivelmente não omitimos nenhum estudo. Conforme o número à prova de falhas de Orwin, seria necessário incluir outros 22 estudos com tamanhos de efeito iguais a zero para reduzir para metade o tamanho do efeito médio. Em conjunto, as análises de viés de publicação indicaram que nossos resultados são robustos à presença de viés de publicação.

#### 4. DISCUSSÃO

Atividades antropogênicas têm aumentado a quantidade de ambientes aquáticos com elevado nível de turbidez, especialmente em decorrência da falta de planejamento do uso do solo que eleva o transporte de sedimentos e de fertilizantes agrícolas para os rios, gerando um aumento na turbidez inorgânica e orgânica, respectivamente (IPCC, 2013; LEE et al., 2015). Os resultados da meta-análise revelaram que nesse cenário de ambientes aquáticos cada vez mais túrbidos, a atividade natatória dos peixes não necessariamente aumentará. Nossa expectativa era que os peixes aumentassem a atividade natatória para compensar a redução no número de presas ingeridas devido a reduzida visibilidade subaquática em água túrbida (SWEKA, 2001). Embora nossos resultados não tenham encontrado um efeito da turbidez sobre a atividade locomotora, outras respostas

comportamentais dos peixes são conhecidas. Por exemplo, Chapman et al. (2014) e Ortega et al. (2020) demonstram por revisões meta-analíticas que a turbidez altera a distância de reação dos animais e as taxas de predação, tanto para predadores visuais quanto para predadores não visuais.

Os resultados da meta-análise também mostraram grande variabilidade no tamanho de efeito da turbidez sobre a atividade natatória de peixes entre os estudos. E a origem dessa variabilidade não foi determinada pelo tamanho corporal médio, tamanho do olho, e a posição trófica dos peixes (moderadores testados), mas a amplitude de turbidez utilizada nos experimentos esteve associada a heterogeneidade entre os tamanhos de efeito. A diferença no nível de turbidez entre o tratamento de água clara e de água turbida (i.e. a amplitude de turbidez) usada nos estudos, seguramente reflete condições ambientais distintas que foram simuladas. Por exemplo, para simular água turbida típica de regiões tropicais, Borner et al (2015) utilizou uma água com 940 NTU, enquanto para simular água turbida de lagos temperados Wishinograd et al (2015), utilizou um nível de turbidez de 22 NTU. A variabilidade entre os estudos na amplitude de turbidez usadas mostrou além de influenciar o tamanho de efeito da turbidez sobre a mobilidade de peixes, como demonstrado por nossos dados, também influencia o tamanho de efeito sobre a taxa de consumo de presas exercida por predadores nos ambientes aquáticos (Ortega et al. 2020). Embora uma padronização da turbidez nos experimentos sanassem essa fonte de variação, os estudos simulam múltiplas condições ambientais experimentadas por esses animais, onde variáveis níveis de turbidez podem levar a alterações no comportamento natatório dos peixes (NEWPORT, et al. 2021).

Embora nossos resultados indicaram que a fonte primária de variação entre os estudos não está relacionada com uma eventual vantagem adaptativa de organismos maiores ou com maior tamanho de olho em ambientes túrbidos, estudos anteriores (p. ex.: Figueiredo et al. 2019 e Martens et al. 2015), demonstraram que um maior tamanho corporal pode representar uma maior vantagem adaptativa, dado que peixes maiores foram menos impactados pela turbidez durante a predação do que peixes menores, provavelmente por possuírem maior capacidade de utilizar estímulos não-visuais para a detecção de presas. Sugerimos que essa aparente discordância entre os resultados da meta-análise e o que é proposto na literatura é resultado da variedade de estágios de vida dos peixes utilizados nos diferentes experimentos. Por exemplo, Polverino et al. (2016) demonstrou que peixes adultos, podem apresentar menor vulnerabilidade quando expostos a variações em ambientes de laboratório do que peixes mais jovens. Embora esperássemos que peixes piscívoros fossem mais impactados pelo aumento da turbidez do que peixes não-piscívoros (p.ex.:

onívoros, invertívoros), os resultados nos mostram que o tamanho de efeito da turbidez sobre a locomoção não é determinado pela posição trófica do peixe.

Diferentes espécies de peixes apresentaram contribuições distintas para o cálculo do tamanho de efeito global, o que pode indicar que o efeito da turbidez sobre a atividade natatória de peixes depende de características das espécies. Por exemplo, o esturjão-de-lago, *Acipenser fulvescens*, encontrado em ambientes de água doce das regiões temperadas da América do Norte (BARTH et al., 2009) apresentou maior atividade natatória em água turbida que em água transparente. O aumento da movimentação do esturjão-de-lago sob condições de baixa luminosidade subaquática pode ser o resultado de um comportamento de anti-predação utilizado ao longo do tempo evolutivo dessa espécie, que forrageiam mais frequentemente durante a noite, enquanto exibem pouca mobilidade durante o dia (WISHINGRAD et al., 2015). Além disso, os indivíduos maiores de esturjão-de-lago têm sua mobilidade menos impactada pelo aumento da turbidez (WISHINGRAD et al., 2015), provavelmente porque um maior tamanho corporal pode compensar um comportamento de anti-predação menos frequente (i.e., comportamento compensatório; DEWITT et al., 1999). uma vez que peixes maiores podem realizar movimentos de evasão mais rápidos quando eles encontram predadores (WISHINGRAD et al., 2014). Em contraste, o peixe marinho *Lagodon rhomboides* conhecido como peixe-manteiga, apresentou menor mobilidade em água turbida comparado a ambientes de águas claras. Tal resultado pode estar relacionado ao aumento do comportamento anti-predatório como resposta à incerteza sobre a localização dos predadores que ocorre sob reduzida visibilidade (CHACIN; STALLINGS, 2016).

Para *Poecilia reticulata*, conhecida como barrigudinho ou *guppy*, com ampla área de distribuição e elevada plasticidade fenotípica (DEACON et al., 2011), encontramos um aumento na mobilidade de algumas populações em resposta ao aumento nos níveis de turbidez, mas para outras populações o aumento na turbidez não desencadeou mudanças na mobilidade ou até a reduziu. Esses resultados sugerem que as variações nas respostas comportamentais de *P. reticulata* podem estar relacionadas às diferenças comportamentais entre as populações (MOHAMMED et al., 2012). Em experimento realizado por Ehlman et al (2015), populações de *P. reticulata* adaptadas a ambientes de água transparente apresentaram redução em sua atividade ao serem expostas a alta turbidez. Em contrapartida, populações adaptadas a ambientes túrbidos, ao serem expostas a alta turbidez elevaram sua atividade de natação. Outras espécies comportamentalmente plásticas, como *Gasterosteus aculeatus* (FOSTER et al., 2015), também apresentaram respostas da atividade natatória à

turbidez inconsistente. Portanto, sugerimos que a variabilidade interespecífica e intraespecífica na resposta dos peixes ao aumento da turbidez da água é o que está por trás do tamanho de efeito global não significativo da turbidez sobre a atividade natatória de peixes.

Estudos conduzidos em diversas regiões não foram encontrados segundo os critérios de busca e de inclusão dos artigos. Regiões de alta diversidade íctica como a Neotropical, Afrotropical, Oriental e outras menos diversas como o centro-sul e leste da região Paleártica (LÉVÊQUE et al., 2008) apresentaram poucos ou nenhum estudo na meta-análise. Essa lacuna espacial na condução de estudos sobre o efeito da turbidez na capacidade de natação de peixes limita nossas inferências dessa relação. Peixes apresentam alta diversidade comportamental (JOLLES et al., 2019) que podem interferir no resultado da relação turbidez-atividade natatória.

## **5. CONCLUSÃO**

Ainda que a nossa meta-análise não tenha encontrado um efeito significativo entre a turbidez e a atividade de natação dos peixes, os resultados aqui demonstrados podem nos ajudar a compreender como os efeitos das ações antropogênicas no ambiente aquático podem causar alterações no comportamento dos peixes, podendo ser mais pronunciadas em algumas espécies do que em outras. Os resultados revelaram ainda que existe uma lacuna geográfica na condução dos estudos, pois a esmagadora maioria dos estudos utilizados nesta meta-análise foi realizada no hemisfério norte, e não encontramos estudos na América do Sul, mesmo sendo a região com maior diversidade de peixes do planeta (REIS et al., 2016). Assim, nossos resultados podem servir como base para elaboração de futuros estudos que abranjam diferentes regiões, a fim de ampliar o conhecimento sobre os efeitos da turbidez na atividade natatória dos peixes, além de proporcionarem a incorporação de novos estudos em futuras meta-análises relacionadas ao tema.

## **5. REFERÊNCIAS**

ABRAHAMAS, M., KATTENFELD, M. The role of turbidity as a constraint on predator-prey interactions in aquatic environments. *Behav Ecol Sociobiol* 40, p.169–174, 1997.

AKSNES, D. L. & GISKE, J. A theoretical model of aquatic visual feeding. *Ecological Modelling*, v.67, p.233–250, 1993.

BARBOSA, P; CASTELLANOS, I. *Ecology of Predator-Prey Interactions*, Oxford University Press, 2005, 406 p.

BARTH, C. C; PEAKE, S. J; ALLEN, P. J; ANDERSON, W. G. Habitat utilization of juvenile lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*, in a large Canadian river. *Journal of Applied Ichthyology*, v.25, p.18–26, 2009.

BORENSTEIN, M; HEDGES, L. V.; HIGGINS, J. P. T., & ROTHSTEIN, H. R. *Introduction to meta-analysis*, John-Wiley & Sons, Chichester, 2009, 415 p.

BORNER, K. K; KRAUSE, S; MEHNER, T; UUSI-HEIKKILÄ, S; RAMNARINE, I. W; & KRAUSE, J. Turbidity affects social dynamics in Trinidadian guppies. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v.69(4), p.645–651, 2015.

CAVES, E. M.; SUTTON, T. T; JOHNSEN, S. Visual acuity in ray-finned fishes correlates with eye size and habitat. *The Journal of Experimental Biology*, 220(9), p.1586–1596, 2017.

CHACIN, D. H.; STALLINGS, C. D. Disentangling fine- and broad- scale effects of habitat on predator–prey interactions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v.483, p.10–19, 2016.

CHANG, J; RABOSKY, D. L; SMITH, S. A; ALFARO, M. E. An R package and online resource for macroevolutionary studies using the ray-finned fish tree of life. *Methods in Ecology and Evolution*. V.10, p.1118-1124, 2019.

CHAPMAN, J. M; PROULX, C. L; VEILLEUX, M. A. N; LEVERT, C; BLISS, S; ANDRÉ, M.-È; COOKE, S. J. Clear as mud: A meta-analysis on the effects of sedimentation on freshwater fish and the effectiveness of sediment-control measures. *Water Research*, v.56, p.190–202, 2014.

COLLIN, S. P; HART, N. S. Vision and photoentrainment in fishes: The effects of natural and anthropogenic perturbation. *Integrative Zoology*, v.10(1), p.15–28, 2015.

CORRAL-LÓPEZ, A; GARATE-OLAIZOLA, M; BUECHEL, S. D., KOLM, N; KOTRSCHAL, A. On the role of body size, brain size, and eye size in visual acuity. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v.71, p.1-10, 2017.

COWAN, J. H; JR, HOUDE, E. D; AND ROSE, K. A. Size-dependent vulnerability of marine fish larvae to predation: an individual-based numerical experiment. *ICES J.mar. Sci.*, v.53, p.23–37, 1996.

DAVIES-COLLEY R. J; W. N. VANT; D. G. SMITH. *Colour and clarity of natural Waters: science and management of optical water quality*. The Blackburn Press, New Jersey, 310 p, 1993.

DEACON, A. E; RAMNARINE, I. W; MAGURRAN, A. E. (2011). How Reproductive Ecology Contributes to the Spread of a Globally Invasive Fish. PLoS ONE, v.6, 2011.

DEWITT, T.J; SIH, A; HUCKO, J.A. Trait compensation and cospecialization in a freshwater snail: size, shape and anti-predator behaviour. *Animal Behaviour*, v.58, p.397-407, 1999.

DUDGEON, D; ARTHINGTON, A. H; GESSNER, M. O; KAWABATA, Z.-I., KNOWLER, D. J; LÉVÊQUE, C; SULLIVAN, C. A. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, v.81, p.163, 2005.

DUVAL, S; TWEEDIE, R. Trim and Fill: A Simple Funnel-Plot-Based Method of Testing and Adjusting for Publication Bias in Meta-Analysis. *Biometrics*, v.56(2), p.455–463, 2000.

EHLMAN, S. M; HALPIN, R; JONES, C., MUNSON, A.; POLLACK, L; SIH, A. Intermediate turbidity elicits the greatest antipredator response and generates repeatable behaviour in mosquitofish. *Animal Behaviour*, v.158, p.101–108, 2019.

EHLMAN, S. M; SANDKAM, B. A., BREDEN, F; SIH, A. Developmental plasticity in vision and behavior may help guppies overcome increased turbidity. *Journal of Comparative Physiology A*, v.201, p.1125–1135, 2015.

EHLMAN, S. M; TORRES DAL, J. D; FRASER, D. F. Altered visual environment affects a tropical freshwater fish assemblage through impacts on predator–prey interactions. *Freshwater Biology*. v. 65, p. 316– 324, 2020.

FIGUEIREDO, B. R. S; CALVO, C., LÓPEZ-RODRÍGUEZ, A.; MORMUL, R. P., TEIXEIRA-DE MELLO, F; BENEDITO, E., & MEERHOFF, M. Short-term interactive effects of experimental heat waves and turbidity pulses on the foraging success of a subtropical invertivorous fish. *Water*, v.11, p.2109, 2019.

FIGUEIREDO, B. R. S; GRANZOTTI, R. V; FIORI, L. F; NIEMAN, C. L; BENEDITO, E. Cascading effects of predation risk under high organic and inorganic turbidity: impacts on individuals and shoals of a mesopredator fish. *Aquatic Ecology*, v. 54, p. 855–868, 2020.

FRAZIER, P; TIX, A; BARRON, K. Testing moderator and mediator effects in counseling psychology research. *Journal of Counseling Psychology*. Vol. 51, p. 115-134, 2004.

FOSTER SA; WUND WA; BAKER JA. 2015. Evolutionary influences of plastic behavioral responses upon environmental challenges in an adaptive radiation. *Integrative and Comparative Biology*, v.55, p. 406–417.

FROESE, R; D. PAULY. Editors. FishBase, 2021. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version (02/2021).

GOERGER A; DARMAILLACQ AS; SHASHAR N; DICKEL L. Early Exposure to Water Turbidity Affects Visual Capacities in Cuttlefish (*Sepia officinalis*). *Front Physiol*. 2021.

GRAY, S. M; MCDONNELL, L. H; CINQUEMANI, F. G; CHAPMAN, L. J. As clear as mud: Turbidity induces behavioral changes in the African cichlid *Pseudocrenilabrus multicolor*. *Current Zoology*, v.58, p.146–157, 2012.

GREGORY, R. S; NORTHCOTE, T. G. Surface, Planktonic, and Benthic Foraging by Juvenile Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in Turbid Laboratory Conditions. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v.50, p.233–240, 1993.

KORICHEVA J; GUREVITCH J; MENGERSEN K. *Handbook of Meta-Analysis in Ecology and Evolution*, Princeton University Press, Princeton, Oxford, 2013, 592 p.

IPCC: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [STOCKER, T.F; D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR; S.K. ALLEN; J. BOSCHUNG; A. NAUELS; Y. XIA, V. BEX; P.M. MIDGLEY (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, 1535 p.

JOLLES, J. W; BRIGGS, H. D; ARAYA-AJOY, Y. G., & BOOGERT, N. J. Personality, plasticity and predictability in sticklebacks: bold fish are less plastic and more predictable than shy fish. *Animal Behaviour*, v.154, p.193–202, 2019.

JORDAN, L. A; RYAN, M. J. The sensory ecology of adaptive landscapes. *Biology Letters*, v.11, 2015.

JÖNSSON, M; RANÅKER, L; NILSSON, P. A; BRÖNMARK, C. Foraging efficiency and prey selectivity in a visual predator: differential effects of turbid and humic water. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v.70, p.1685–1690, 2013.

LEE, H. W; KIM, E. J; PARK, S. S; CHOI, J. H. Effects of Climate Change on the Movement of Turbidity Flow in a Stratified Reservoir. *Water Resources Management*, v.29, p.4095–4110, 2015.

LEAHY, S. M; MCCORMICK, M. I; MITCHELL, M. D; FERRARI, M. C. O. To fear or to feed: the effects of turbidity on perception of risk by a marine fish. *Biology Letters*, v.7, p.811–813, 2011.

LEHTINIEMI, MAIJU; ENGSTRÖM-ÖST, JONNA; VIITASALO, MARKKU. Turbidity decreases anti-predator behaviour in pike larvae, *Esox lucius*. *Environmental Biology of Fishes*. V.73. p.1-8, 2015.

LÉVÊQUE, C.; OBERDOFF, T.; PAUGY, D.; STIASSNY, M. J. T.; TEDESCO, P. A. 2008. Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. *Hydrobiologia*, v.595, p.545–567, 2008.

LILJENDAHL-NURMINEN, A; HORPPILA, J; LAMPERT, W. Physiological and visual refuges in a metalimnion: an experimental study of effects of clay turbidity and an oxygen minimum on fish predation. *Freshwater Biology*, v.53, p.945–951, 2008.

LUNT J; SMEE DL. Turbidity interferes with foraging success of visual but not chemosensory predators. *PeerJ*. 2015.

MCKENZIE, D. *The energetics of Fish Swimming*. Academic Press, 2011, 1080p.

- MEAGER, J. J; BATTY, R. S. Effects of turbidity on the spontaneous and prey-searching activity of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v.362, p.2123–2130, 2007.
- MENGERSEN, K; SCHMID, C. H; JENNIONS, M. D; GUREVITCH, J. Statistical Models and approaches to Inference. In: *Handbook of meta-analysis in ecology and evolution* (Koricheva, J., Gurevitch, J., Mengersen, K., eds.). Princeton: Princeton University Press, 2013, p. 89-107.
- MINER, J. G; STEIN, R. A. Detection of Predators and Habitat Choice by Small Bluegills: Effects of Turbidity and Alternative Prey. *Transactions of the American Fisheries Society*, v.125, p.97–103, 1996.
- MOHAMMED, R. S; VAN OOSTERHOUT, C; SCHELKLE, B., CABLE, J; MCMULLAN, M. Upstream guppies (*Poecilia reticulata*, Peters, 1859) go against the flow. *Biota Neotropica*, v.12, p.68 –72, 2012.
- MÜNKEMÜLLER, T; LAVERGNE, S; BZEZNIK, B; DRAY, S; JOMBART, T., SCHIFFERS, K; THUILLER, W. How to measure and test phylogenetic signal. *Methods in Ecology and Evolution*, v.3(4), p.743–756, 2012.
- MYRBERG, A. A; FUIMAN, L. A. The Sensory World of Coral Reef Fishes. *Coral Reef Fishes*, p.123–148, 2002.
- NAKAGAWA, S; SANTOS, E. S. A. Methodological issues and advances in biological meta-analysis. *Evolutionary Ecology*, v.26, p.1253–1274, 2012.
- NEWPORT, CAIT; PADGET, OLIVER; PERERA, THERESA. High turbidity levels alter coral reef fish movement in a foraging task. *Scientific Reports*, v.11, 2021.
- OHATA, R; MASUDA R; UENO M; FUKUNISHI Y; YAMASHITA Y. Effects of turbidity on survival of larval ayu and red sea bream exposed to predation by jack mackerel and moon jellyfish. *Fisheries Science*, v.77, p.207–215, 2011.
- ORWIN, R. G. A fail-safe N for effect size in meta-analysis. *Journal of Educational Statistics*, v.8, p.57-159, 1983.
- ORTEGA, J.C.G; FIGUEIREDO, B.R.S; DA GRAÇA, W.J; AGOSTINHO, A.A; BINI, L.M. Negative effect of turbidity on prey capture for both visual and non-visual aquatic predators. *Journal of Animal Ecology*, v.89, p.2427– 2439, 2020.
- PARADIS, E; SCHLIEP, K. ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. *Bioinformatics*, v.35, p.526-528, 2019.
- PICK, J.L., NAKAGAWA, S., NOBLE D.W.A. Reproducible, flexible and high-throughput data extraction from primary literature: The metaDigitise R package. *Biorxiv*, 2018.
- POLVERINO, G; RUBERTO, T; STAAKS, G; & MEHNER, T. (2016). Tank size alters mean behaviours and individual rank orders in personality traits of fish depending on their life stage. *Animal Behaviour*, v.115, p.127–135, 2016.

PREISSER, E. L; ORROCK, J. L. The allometry of fear: interspecific relationships between body size and response to predation risk. *Ecosphere*, v.3, p.77, 2012.

QUESENBERRY, N. J; ALLEN, P. J; CECH, J. J. The influence of turbidity on three-spined stickleback foraging. *Journal of Fish Biology*, v.70, p.965–972, 2007.

RABOSKY, D. L; CHANG, J; TITLE, P. O; COWMAN, P. F; SALLAN, L; FRIEDMAN, M; ALFARO, M. E. An inverse latitudinal gradient in speciation rate for marine fishes. *Nature*, v.559(7714), p.392–395, 2018.

RANÅKER, L; JÖNSSON, M; NILSSON, P. A; BRÖNMARK, C. Effects of brown and turbid water on piscivore-prey fish interactions along a visibility gradient. *Freshwater Biology*, v.57, p.1761–1768, 2012.

REIS, R. E; ALBERT, J. S; DI DARIO, F; MINCARONE, M. M; PETRY, P; ROCHA, L. A. Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of Fish Biology*, v.89, p.12–47, 2016.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020.

SNICKARS, M; SANDSTROM, A. & MATTILA, J. Anti-predator behaviour of 0+ year *Perca fluviatilis*: effect of vegetation density and turbidity. *Journal of Fish Biology*, v.65, p.1604–1613, 2004.

UTNE-PALM, A. C. Visual feeding of fish in a turbid environment: Physical and behavioural aspects. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, v.35, p.111–128, 2002.

VIECHTBAUER, W. Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *Journal of Statistical Software*, v.36, p.1–48, 2010.

WHITEHEAD PG; WILBY RL; BATTARBEE RW; KERNAN M; WADE AJ. A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrolog Sci J*, v.54, p.101–123, 2009.

WISHINGRAD, V; FERRARI, M.C.O; CHIVERS, D.P. Behavioural and morphological defenses in a fish with a complex anti-predator phenotype, *Anim. Behav.* V.95, p.137-143, 2014.

## 6. FONTES DE DADOS

AJEMIAN, M. J; SOHEL, S; MATTILA, J. Effects of turbidity and habitat complexity on antipredator behavior of three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Environmental Biology of Fishes*, v.98, p.45–55, 2014.

BARRETT, J. C; GROSSMAN, G. D; ROSENFELD, J. Turbidity-Induced Changes in Reactive Distance of Rainbow Trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, v.121, p.437–443, 1992.

BORNER, K. K; KRAUSE, S; MEHNER, T; UUSI-HEIKKILÄ, S; RAMNARINE, I. W; & KRAUSE, J. Turbidity affects social dynamics in Trinidadian guppies. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v.69(4), p.645–651, 2015.

CHACIN, D. H; STALLINGS, C. D. Disentangling fine- and broad- scale effects of habitat on predator–prey interactions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v.483, p.10–19, 2016.

EHLMAN, S. M; SANDKAM, B. A, BREDEN, F; SIH, A. Developmental plasticity in vision and behavior may help guppies overcome increased turbidity. *Journal of Comparative Physiology A*, v.201, p.1125–1135, 2015.

EHLMAN, S. M; HALPIN, R; JONES, C; MUNSON, A; POLLACK, L., & SIH, A. Intermediate turbidity elicits the greatest antipredator response and generates repeatable behaviour in mosquitofish. *Animal Behaviour*, v.158, p.101–108, 2019.

GRAY, S. M; MCDONNELL, L. H; CINQUEMANI, F. G; & CHAPMAN, L. J. As clear as mud: Turbidity induces behavioral changes in the African cichlid *Pseudocrenilabrus multicolor*. *Current Zoology*, v.58, p.146–157, 2012.

GRAY, S. M; BIEBER, F. M. E., MCDONNELL, LAURA H; CHAPMAN, LAUREN J; MANDRAK, N. E. Experimental evidence for species-specific response to turbidity in imperilled fishes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v.24, p.546–560, 2014.

HILDEBRANDT, E. K; PARSONS, G. R. Effect of turbidity on the swimming performance of the Golden Shiner, *Notemigonus crysoleucas*. *Copeia*, v.104, p.752–755, 2016.

JÖNSSON, M; RANÅKER, L; NILSSON, P. A; BRÖNMARK, C. Foraging efficiency and prey selectivity in a visual predator: differential effects of turbid and humic water. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v.70, p.1685–1690, 2013.

JÖNSSON, M; RANÅKER, L; ANDERS NILSSON, P; BRÖNMARK, C. Prey-type-dependent foraging of young-of-the-year fish in turbid and humic environments. *Ecology of Freshwater Fish*, v.21, p.461–468, 2012.

JOHANNESSEN, A., DUNN, A. M; MORRELL, L. J. Olfactory cue use by three-spined sticklebacks foraging in turbid water: prey detection or prey location? *Animal Behaviour*, v.84, p.151–158, 2012.

KIMBELL, H. S; MORRELL, L. J. Turbidity influences individual and group level responses to predation in guppies, *Poecilia reticulata*. *Animal Behaviour*, v.103, p.179–185, 2015.

KORSTROM, J. S; BIRTWELL, I. K. Effects of suspended sediment on the escape behavior and cover-seeking response of juvenile chinook salmon in freshwater. *Transactions of the American Fisheries Society*, v.135, p.1006–1016, 2006.

LEAHY, S. M; MCCORMICK, M. I; MITCHELL, M. D; FERRARI, M. C. O. To fear or to feed: the effects of turbidity on perception of risk by a marine fish. *Biology Letters*, v.7, p.811–813, 2011.

MEAGER, J. J; BATTY, R. S. Effects of turbidity on the spontaneous and prey-searching activity of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v.362, p.2123–2130, 2007.

MINER, J. G; STEIN, R. A. Detection of predators and habitat choice by small bluegills: effects of turbidity and alternative prey. *Transactions of the American Fisheries Society*, v.125, p.97–103, 1996.

NEWPORT, CAIT; PADGET, OLIVER; PERERA, THERESA. High turbidity levels alter coral reef fish movement in a foraging task. *Scientific Reports*, v.11, 2021.

RIEGER, P. W; SUMMERFELT, R. C. The influence of turbidity on larval walleye, *Stizostedion vitreum*, behavior and development in tank culture. *Aquaculture*, v.159, p.19–32, 1997.

SWANBROW BECKER, L. J; GABOR, C. R. Effects of Turbidity and Visual vs. Chemical Cues on Anti-Predator Response in the Endangered Fountain Darter (*Etheostoma fonticola*). *Ethology*, v.118(10), p.994–1000, 2012.

SWEKA, J; HARTMAN, K. Effects of turbidity on prey consumption and growth in brook trout and implications for bioenergetics modeling. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. v58, p.386-393, 2001.

WISHINGRAD, V; FERRARI, M. C. O; MUSGROVE, A. B; CHIVERS, D. P. (2015). Risk in a changing world: environmental cues drive anti-predator behaviour in lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) in the absence of predators. *Behaviour*, v.152, p.635–652, 2015.