

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

Pedro Henrique Menini Custodio

Regiões potenciais para a colonização do copépode invasor *Mesocyclops ogunnus* (Onabamiro, 1957) em território brasileiro.

Juiz de Fora

2023

Pedro Henrique Menini Custodio

Regiões potenciais para a colonização do copépode invasor *Mesocyclops ogunnus* (Onabamiro, 1957) em território brasileiro.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal de Juiz de Fora como requisito à
obtenção do título de Bacharel em
Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Simone Jaqueline Cardoso.

Juiz de Fora

2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Henrique Menini Custodio, Pedro.
Regiões potenciais para a colonização do copépode invasor
Mesocyclops ogunnum (Onabamiro, 1957) em território brasileiro. /
Pedro Henrique Menini Custodio. -- 2023.
41 f.

Orientadora: Simone Jaqueline Cardoso
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, 2023.

1. Invasões biológicas. 2. Zooplâncton. 3. Ecossistemas
aquáticos. 4. Crustáceos. 5. Espécies invasoras. I. Jaqueline
Cardoso, Simone, orient. II. Título.

Pedro Henrique Menini Custodio

Regiões potenciais para a colonização do copepóde invasor *Mesocyclops ogunnus* (Onabamiro, 1957) em território brasileiro.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal de Juiz de Fora como requisito à
obtenção do título de Bacharel em
Ciências Biológicas.

Aprovada em 19 de dezembro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Simone Jaqueline Cardoso
Prof. Dr^a. Simone Jaqueline Cardoso - Orientadora-

Universidade Federal de Juiz de Fora

RJ Alves
Prof. Dr. Roberto da Gama Alves

Universidade Federal de Juiz de Fora

lucas Rieger de Oliveira
Msc Lucas Rieger de Oliveira

Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedico este trabalho a minha Avó Lourdes e a minha parceira Alanys que me auxiliaram e me inspiraram a trabalhar duro para melhorar em todos os aspectos possíveis.

AGRADECIMENTOS

Para alguém que escreve constantemente a fim de me expressar, considero importante dizer que é extremamente difícil escolher as palavras certas para marcar o fim de uma etapa. Dito isto, darei meu melhor para expressar minha gratidão por todos que me auxiliaram de alguma maneira nas próximas linhas, ainda sim adviro que minha gratidão é tamanha que através das palavras só posso expressar uma ínfima parte desta.

Agradeço a minha Avó Lourdes aqui, uma vez que esta fez muito mais que me dar suporte moral e financeiro para os estudos, está também foi uma verdadeira inspiração para o pequeno Pedro aspirante a naturalista. Através da vivência com a minha avó eu pude apreender muito do mundo natural que estava ali ao meu alcance no quintal. Nas muitas horas que passamos no quintal, conheci a beleza das plantas e animais, e a importância de cada peça na teia da vida.

Agradeço a minha Mãe Vivian, que batalhou muito para que eu tivesse as condições de estar onde estou hoje e sempre foi muito compreensiva com as minhas escolhas. Agradeço também a minha Tia Sheila por sempre ter me incentivado a estudar e me aperfeiçoar.

Agradeço também a minha namorada Alanys, minha companhia de todos os momentos e minha referência de artista. Está além de ser meu suporte emocional, e ter me dado infinitos bons momentos nos últimos 6 anos também sempre me fez pensar no mundo durante nossas conversas, e consequente contribuiu positivamente para todos meus delírios e aspirações científicas! Obrigado por estar comigo flor.

Agradeço aos caçulas da casa: Meu irmão Bernardo e minha prima Maria Eduarda que é basicamente uma irmã. Vocês provavelmente não lerão isto, mas saibam que ver vocês crescerem me motiva a ser uma pessoa melhor.

Agradeço ao Paul meu padrasto, que desde que chegou sempre me ofereceu suporte e disponibilidade para me ajudar a passar por cima dos problemas.

Agradeço também ao meu pai, ao qual nunca poderei retribuir por todo suporte que deu a minha formação mesmo sem nos falarmos. Obrigado pai!

Agradeço a minha orientadora Simone, que desde meu primeiro dia no LABEP tem iluminado meu caminho dentro da ciência! Obrigado por tudo Simone!

Agradeço a todos membros do LABEP que me proporcionaram até aqui não só suporte, mas também importantíssimos momentos de descontração que provavelmente nunca esquecerei. Em especial agradeço ao Lucas Rieger que além de ter me introduzido ao universo da modelagem também é parte essencial da produção desse trabalho, assim como a Nathália e Thaiane as quais também agradeço pelas contribuições no presente trabalho.

A todos que foram mencionados e/ou estiverem lendo este texto eu agradeço, e como Carl Sagan diria: “Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você.”

“O mistério da vida não é um problema para se resolver, mas uma realidade a se vivenciar. Não se pode entender um processo interrompendo-o. É preciso acompanhar o fluxo do processo. Devemos nos juntar a ele e fluir junto com ele”.

Jamis para Paul em Duna (Filme, 2021).

RESUMO

Mesocyclops ogunnus (Copepoda, Cyclopoida) é uma espécie nativa dos continentes África e Ásia que se estabeleceu em corpos d'água doce no Brasil. Os indivíduos de *M. ogunnus* podem colonizar águas lênticas e eutróficas e têm uma alta taxa de dispersão, além de poderem produzir ovos de resistência, como muitos outros microcrustáceos. Atualmente, *M. ogunnus* é reconhecido como uma espécie invasora aquática (do Inglês, *Aquatic Invasive Species - AIS*), no entanto, há poucos artigos que investigam a expansão de sua distribuição. Aqui, foi realizada uma revisão sistemática da literatura abordando os dados de ocorrência de *M. ogunnus* e foram utilizados Modelos de Distribuição de Espécies (SDM) para avaliar as áreas adequadas para a espécie no Brasil. Para ajustar nossos modelos de SDM, 19 variáveis bioclimáticas do CHELSA (*Climatologies at high resolution for the earth's land surface area*) e 5 variáveis hidrográficas do HydroSHEDS (*Seamless hydrographic data for global and regional applications*) foram combinadas. Também foi testada uma nova abordagem para a seleção de variáveis. Através da revisão sistemática, foram encontrados 186 novos registros de ocorrência que não estavam registrados no GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) que abrangem os períodos de 2003 a 2022. Nossos modelos de distribuição indicaram novas áreas adequadas para a colonização por *M. ogunnus*. Para cenários futuro, espera-se que a espécie se disperse para novas regiões em bacias hidrográficas conectadas. A dispersão de *M. ogunnus* relatada aqui pode sinalizar um desafio potencial para o futuro. O manejo e a prevenção de espécies aquáticas invasoras exigem uma abordagem mais rigorosa das leis governamentais dedicadas à avaliação e controle de espécies invasoras em território nacional, uma vez que essas espécies podem causar vários impactos nos ecossistemas e levar à perda da biodiversidade local. A identificação das áreas suscetíveis a invasões é de extrema importância, pois pode permitir a otimização de recursos e gestão.

Palavras-chave: Invasões biológicas. Zooplâncton. Ecossistemas Aquáticos. Crustacea. Espécies invasoras. Modelagem de Nicho.

ABSTRACT

Mesocyclops ogunnus (Copepoda, Cyclopoida) is a species native from Africa and Asia which has become established in Brazilian freshwater waterbodies. *M. ogunnus* individuals can colonize eutrophic and lentic waters, and have a high dispersal rate, moreover as many other microcrustaceans they can produce resistance eggs. Currently *M. ogunnus* is recognized as an aquatic invasive species (AIS), nevertheless there are almost no research papers on the range expansions of this species. Here we performed a systematic literature review on the occurrence data of *M. ogunnus* and utilized a Species Distribution Models (SDM) approach to assess the species current suitable areas in Brazil. For fitting our SDM's models we combined 19 bioclimatic variables from CHELSA (Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas) and 5 Hydrographic variables from HydroSHEDS (Seamless hydrographic data for global and regional applications). We also tested a new approach for variable selection. Through our systematic review we returned 186 new occurrence records which were not registered in the GBIF (Global biodiversity Information Facility) from 2003 – 2022. Our SDM's models showed new areas which are suitable for *M. ogunnus* colonization. For the future is expected a spread of the species to new regions on connected hydrographic basins. The spread of *M. ogunnus* reported here can signalize a potential challenge for the future. The management and prevention of AIS require a stricter approach of the government laws dedicated to the assessment and control of invasive species in the national territory once these species can cause several impacts in the ecosystems and lead to the loss of the local biodiversity. Identification of the invasions susceptible areas nowadays are a practice of uppermost value once it can allow resource and management optimization.

Keywords: Biological Invasions. Zooplankton. Freshwater ecosystem. Crustacea. Invasive species. Niche Modelling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Fluxograma PRISMA.....	19
Figura 2	– Registros de ocorrência de <i>M. ogunnus</i> no Brasil.....	20
Figura 3	– Prancha com projeções dos modelos no território brasileiro.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Lista de variáveis bioclimáticas e hidrológicas.....	21
Tabela 2	– Métricas modelos MaxEnt.....	23
Tabela 3	– Importância relativa das variáveis para cada modelo.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIS	<i>Aquatic Invasive Species</i> (Espécie invasora aquática).
AUC	<i>Area Under Curve</i> (Área sobre a curva).
CHELSA	<i>Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas</i> (Climatologias em alta resolução para a superfície da Terra).
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility.</i> (Instalação de informação da biodiversidade global)
HydroSHEDS	<i>Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at multiple Scales</i> (Dados hidrológicos e mapas baseados em derivados da elevação Shuttle em múltiplas escalas).
MaxEnt	<i>Maximum entropy modeling</i> (Modelo de Máxima Entropia).
NIS	<i>Non-indigenous-species</i> (Espécies não nativas).
SDM	<i>Species Distribution Models</i> (Modelo de distribuição de espécies).
TSS	<i>True Skill Statistics.</i>
VIF	<i>Variance Inflation Factor</i> (Fator de Inflação da Variância).

LISTA DE SÍMBOLOS

\pm Dispersão dos dados ao redor da média - desvio padrão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.1	CONSTRUÇÃO DO BANCO DADOS	15
2.2	LIMPEZA DOS DADOS DE OCORRÊNCIAS.....	16
2.3	VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	16
2.4	SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	16
2.5	AJUSTE E VALIDAÇÃO DOS MODELOS.....	17
2.6	PROJEÇÃO DOS MAPAS DE ADEQUABILIDADE.....	18
3	RESULTADOS.....	18
3.1	DADOS DE OCORRÊNCIA.....	18
3.2	MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES (SDM'S).....	20
4	DISCUSSÃO	24
4.1	VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS.....	24
4.2	VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS E A OCORRÊNCIA DE <i>M. OGUNNUS</i>	25
4.3	ÁREAS POTENCIAIS DE OCORRÊNCIA.....	27
4.4	IMPACTOS DE <i>M. OGUNNUS</i> EM ÁREAS NÃO NATIVAS.....	27
4.5	MODELAGEM DE ESPÉCIES INVASORAS.....	28
5	CONCLUSÕES.....	29
	REFERÊNCIAS	29
	APÊNDICE A - Lista de artigos elegíveis após a revisão sistemática da literatura.....	35

1 INTRODUÇÃO

As invasões biológicas se tornaram nas últimas décadas um tópico de preocupação global, principalmente devido aos seus efeitos prejudiciais sobre as espécies nativas (Lockwood et al., 2007; Lowry et al., 2013; Morri et al., 2019). As espécies não nativas podem suprimir, extinguir e substituir as espécies nativas o que resulta em perturbações nas estruturas das comunidades locais (Dick et al., 2017; Britton et al., 2023; Morri et al., 2019). No que diz respeito aos ecossistemas de água doce há uma grande preocupação em compreender os processos de colonização, estabelecimento e impactos das espécies invasoras, uma vez que estes fornecem serviços essenciais para a sobrevivência da humanidade (Dudgeon et al., 2006; Strayer & Dudgeon, 2010; Kılıç, 2020). Ainda sobre ecossistemas aquáticos, podemos destacar a importância das espécies planctônicas que são essenciais para o estruturamento das teias tróficas. Nesse sentido, estudos sobre invasões biológicas de espécies microscópicas, como o zooplâncton, merecem atenção especial (Bollens et al., 2002; Gallardo et al., 2016; Suthers et al., 2019; Dexter & Bollens, 2020). Estas geralmente são introduzidas de forma inadvertida em ambientes novos através de mecanismo de transporte geralmente relacionados à liberação de água de lastro por embarcações e a piscicultura (Pearson & Duggan, 2018, Azevedo-Santos et al., 2021). Ao estabelecerem populações viáveis, essas espécies têm o potencial de desencadear a extinção e a redução no número de espécies nativas por meio de interações ecológicas antagônicas. (Yan et al., 2011; Macedo et al., 2020; Castoli-Noll 2022).

Um exemplo de espécie planctônica invasora introduzida através de atividades relacionadas a piscicultura é a espécie *Mesocyclops ogunnus* (Onabamiro, 1957), que atualmente é encontrada em diversos reservatórios e rios ao redor do mundo. O copépode ciclopóide *M. ogunnus* tem sua distribuição nativa restrita a algumas regiões da África e da Ásia e é comumente encontrado em águas lentas e eutróficas (Reid & Pinto-Coelho, 1994; Silva, 2003; Perbiche-Neves et al., 2021). No Brasil, estudos recentes demonstraram que sua entrada na região Amazônica está possivelmente associada à criação de tilápias (*Oreochromis niloticus* (Linaeus, 1758)) (Coelho & Henry, 2017; Macêdo et al., 2020).

O primeiro registro de invasão de *M. ogunnus* no Brasil foi observado no reservatório de Furnas, a maior e mais importante usina hidrelétrica do Sudeste do Brasil, no início da década de 1990 (Reid & Pinto-Coelho, 1994). Desde então, *M. ogunnus* foi registrado em diferentes corpos d'água de grande importância econômica e ambiental, como o reservatório de Barra Bonita (Matsumura-Tundisi & Tundisi, 2005), a bacia do rio Tietê (Silva, 2003), a bacia do Baixo Paraná (Lansac-Toha et al., 2002) e a bacia do rio Amazonas (Silva & Roche, 2017). O estabelecimento desses copépodes em ambientes artificiais (por exemplo, reservatórios e usinas hidrelétricas) ocorre devido à variedade de nichos disponíveis, especialmente para *M. ogunnus*, uma vez que esta espécie é altamente tolerante a ambientes eutróficos e, portanto, é mais propenso a invadir e ocupar esses ambientes (Perbiche-Neves et al., 2021).

A ocupação de nichos em ambientes eutróficos por espécies invasoras, como *M. ogunnus* e outras espécies tolerantes, é a segunda causa da diminuição da biodiversidade a nível local em ecossistemas aquáticos, causando diferentes mudanças e alterações drásticas na estrutura trófica do ecossistema invadido (Sala et al., 2000). Apesar disso, pouco se sabe acerca dos impactos para o meio ambiente gerados por espécies zooplâncton não nativas, bem como a pressão de propágulos de espécies com potencial invasor. Neste sentido vale-se destacar que no zooplâncton certas espécies têm estratégias que facilitam o estabelecimento e a propagação da população nichos específicos, como ovos de resistência que são facilmente dispersos, o que aumenta a possibilidade de estabelecimento em um local onde as condições ambientais são favoráveis para a eclosão dos ovos efípios (Peixoto, 2010).

Embora na literatura atualmente existam diversos registros abordando táxons de zooplâncton já considerados invasores ou potencialmente invasivos, os registros de ocorrência não estão totalmente depositados em bancos de dados. Portanto, a visualização das áreas onde essas espécies ocorrem, bem como quais ambientes estão em alto risco e suscetíveis a invasões, é difícil. A espécie *M. ogunnus* tem o potencial de se estabelecer em ambientes eutróficos, que estão se tornando mais comuns devido às atividades antrópicas. Além disso muitos países relataram perdas econômicas relacionadas com os processos de invasão que só começaram a ser percebidas a partir de 1980. Desde então, os custos das invasões de organismos planctônicos foram estimados em cerca de 5 bilhões de dólares das décadas de 1960 a 2021 (Macêdo et al., 2020). Considerando que o Brasil possui aproximadamente

12% das reservas de água doce do mundo, e é portanto, uma região essencial para a preservação da biodiversidade global, este estudo foi realizado com o objetivo de mapear a ocorrência do copépode invasor *M. ogunnus* com base em estudos publicados entre os anos de 2003 a 2022 no Brasil, a fim de se identificar novas áreas de potenciais para a ocupação da espécie através de modelos de distribuição de espécies (SDM) e gerar informações que possam apoiar estratégias de manejo e conservação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS.

O banco de dados para utilizado para treinar e calibrar nossos modelos de distribuição de *M. ogunnus* foi construído em duas etapas: 1) Busca por ocorrências no banco de dados do GBIF (do Inglês, *Global Biodiversity Information Facility*) e 2) uma revisão sistemática de estudos que apresentaram ocorrência da espécie de interesse. Os registros de ocorrência de *M. ogunnus* retornados pelo GBIF registraram a ocorrência da espécie em um período que foi de 1984 a 2003 (GBIF.org (29 de julho de 2023) *GBIF Occurrence Download* [<https://doi.org/10.15468/dl.yu4evy>] (<https://doi.org/10.15468/dl.yu4evy>)).

Para cobrir a ausência de registros recentes no banco de dados GBIF, foi realizada uma revisão sistemática para obter dados de ocorrência de *M. ogunnus*. As pesquisas foram realizadas nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus*, *SciELO* e *Google Scholar*, utilizando o código: ALL= (“*Mesocyclops ogunnus*” OR “*M. ogunnus*”), nosso código de busca abrangeu estudos publicados a qualquer período, sendo a busca realizada no dia 6 de fevereiro de 2023. A criação do banco de dados seguiu quatro etapas, de acordo com o estabelecido pela metodologia PRISMA (MOHER et al., 2009).

Após a busca nas bases de dados, os estudos duplicados foram removidos. Em seguida, os estudos passaram por uma leitura primária, onde o título, o resumo e as palavras-chave de cada artigo foram avaliados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão. Foram selecionados artigos, teses e dissertações em português e inglês, com registros de ocorrência de *M. ogunnus* no Brasil. Foram considerados apenas estudos observacionais e experimentais com amostragem de campo. Não foram incluídos estudos de revisão e modelagem, livros e capítulos de livros, trabalhos

experimentais com dados de cultura de laboratório e ocorrências fora do Brasil. Após realizar a etapa de triagem primária, os estudos selecionados foram lidos de maneira integral. Aqueles que, mesmo após esta etapa, não continham a localização precisa dos reservatórios (coordenadas) ou continham dados incompletos também foram eliminados. Os artigos que continham os dados necessários foram selecionados. A partir dos artigos selecionados que atenderam a todos os critérios, foram extraídos e/ou inferidos dados referente a localização geográfica da espécie a qual utilizamos para ajustar os modelos de distribuição.

2.2 LIMPEZA DOS DADOS DE OCORRÊNCIA

As coordenadas geográficas dos pontos de ocorrência obtidos do GBIF e da revisão sistemática foram plotadas em um mapa usando o pacote "wallace" no software R (Kass et al., 2022). Usando o mesmo pacote, as coordenadas foram selecionadas e restritas apenas à área de estudo. Os pontos duplicados, problemáticos e aqueles dentro da mesma *grid* foram removidos também utilizando-se esse pacote.

2.3 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

As variáveis bioclimáticas e hidrológicas utilizadas para o ajuste dos modelos foram obtidas, respectivamente, nas bases de dados: *Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas* (CHELSA) e *Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at Multiple Scales* (HydroSHEDS). Utilizando os pacotes "rnaturalearth" (Massicotte et al., 2023) e "raster" (Hijmans et al., 2023) no software R (R Core Team, 2023), as variáveis foram recortadas para a área de estudo, que corresponde ao domínio político do Brasil. Todas as variáveis foram redimensionadas para uma resolução de 30 arco segundos quando essas possuíam resoluções mais finas, utilizando o pacote "raster"; (Hijmans et al., 2023) no software R (R Core Team, 2023).

2.4 SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA A CONSTRUÇÃO DOS MODELOS

Três abordagens diferentes foram adotadas para selecionar as variáveis ambientais que seriam incluídas no ajuste de cada modelo.

A primeira abordagem de seleção consistiu em construir uma matriz de correlação usando a função "*Band collection statistics*" no software ArcGIS (Redlands,

CA: Environmental Systems Research Institute, 2014) e o pacote "*ENMtools*" (Warren et al., 2021) no software R. Utilizando um ponto de corte de 0,7 (Valor padrão do pacote), todas as variáveis com valores de correlação acima do ponto de corte foram removidas da matriz usando o pacote "*caret*" (Kuhn et al., 2022) no R. As variáveis restantes foram então usadas no ajuste do modelo identificado no presente trabalho como M00.

A segunda abordagem de seleção envolveu o uso da análise do Fator de Inflação de Variância (do Inglês, *Variance Inflation Factor*, VIF) com duas funções diferentes do pacote "*USDM*" (Naimi, 2022) no software R. Ambas as funções foram usadas com um ponto de corte de 0,7. A primeira função, chamada "VIFcor", procura um par de variáveis com a maior correlação e remove a variável com o maior VIF, repetindo o processo até que apenas variáveis com valores de correlação abaixo do valor de corte permaneçam. A segunda função, chamada "VIFstep", calcula o VIF global para todas as variáveis no conjunto de dados e remove a variável com o valor mais alto até que apenas aquelas com VIF abaixo do ponto de corte permaneçam. As variáveis selecionadas por ambos os métodos foram então usadas para o ajuste de modelos individuais. O modelo ajustado usando as variáveis selecionadas pela função "VIFcor" foi identificado como M01 e o modelo ajustando usando a função "VIFstep" foi identificado como M002.

Além dos métodos acima, uma quarta seleção de variáveis foi realizada experimentalmente, usando apenas as variáveis bioclimáticas e hidrológicas selecionadas por pelo menos dois dos métodos anteriores, a fim de expandir o conhecimento das técnicas de modelagem.

2.5 AJUSTE E VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Para a construção do modelo de distribuição de espécies, foi escolhido o algoritmo MaxEnt (Phillips et al., 2006), utilizando os pacotes "SDM"; (Naimi & Araújo, 2016) e "DISMO"; (Hijmans et al., 2019) no software R (R Core Team, 2023). Os pontos de ocorrência usados no ajuste do modelo foram divididos aleatoriamente entre teste e treinamento, 25% e 75%, respectivamente. Os modelos MaxEnt foram gerados usando 10.000 pontos de *background* e dez réplicas de cada modelo foram geradas.

Os modelos foram avaliados usando duas métricas: AUC [área sob a curva ROC (curva característica de operação do receptor)] e *True Skill Statistics* (TSS). Os

valores de AUC variam de 0 a 1, com valores entre 0,9 e 1,0 classificados como excelentes, 0,8-0,9 como bons e 0,7-0,8 como úteis (Peterson & Soberón, 2012). A métrica TSS é um método dependente de limiar e seus valores podem variar de -1 a +1, com valores positivos variando de 0,2 a 0,5 considerados ruins, 0,6 a 0,8 considerados úteis e valores superiores a 0,8 considerados excelentes (Coetzee et al., 2009; Peterson & Soberón, 2012).

2.6 PROJEÇÃO DOS MAPAS DE ADEQUABILIDADE

Baseado nos modelos gerados, foram feitas projeções para o território brasileiro. Utilizando-se os modelos com acurácia estatística aceitável, as projeções de suas réplicas foram sobrepostas e a média entre elas foi calculada, gerando uma única projeção em uma resolução de 30 arco segundos que sintetiza a informação produzida pelos modelos.

3 RESULTADOS

3.1 DADOS DE OCORRÊNCIA

O banco de dados do GBIF retornou 83 ocorrências de *M.ogunnus* do ano de 1984 até 2003. Destas, 59 ocorrências foram validadas. Alguns registros ($n=11$) apresentaram a data, mas sem localização, e outros eram registros incompletos ($n=10$). A etapa de revisão sistemática retornou um total de 657 artigos. Após a remoção de duplicatas, um total de 516 artigos foram avaliados (Figura 1). O título, resumo e palavras-chave desses artigos foram lidos e 90 artigos foram selecionados para a fase de elegibilidade de acordo com os critérios de inclusão e exclusão. Após a leitura completa dos textos, 70 artigos foram selecionados para extrair coordenadas e alimentar os modelos de distribuição.

Os dados de coordenadas extraídos e inferidos da revisão da sistemática após a limpeza totalizaram 186 registros de ocorrência de *M. ogunnus* no território brasileiro. Os dados do GBIF, quando limpos, representaram 53 registros ocorrência. Após a soma dos dois conjuntos de dados, foi realizada outra limpeza a fim de excluir registros repetidos e ao final obtemos 239 registros de ocorrência únicos de *M. ogunnus* no Brasil (Figura 2). Entre os pontos de ocorrência incluídos na revisão sistemática, a maioria está concentrada nas bacias do Paraná e do Sudeste Atlântico.

No entanto, houve inclusão de pontos no Norte e Nordeste do país, na bacia Amazônica e no Atlântico Nordeste.

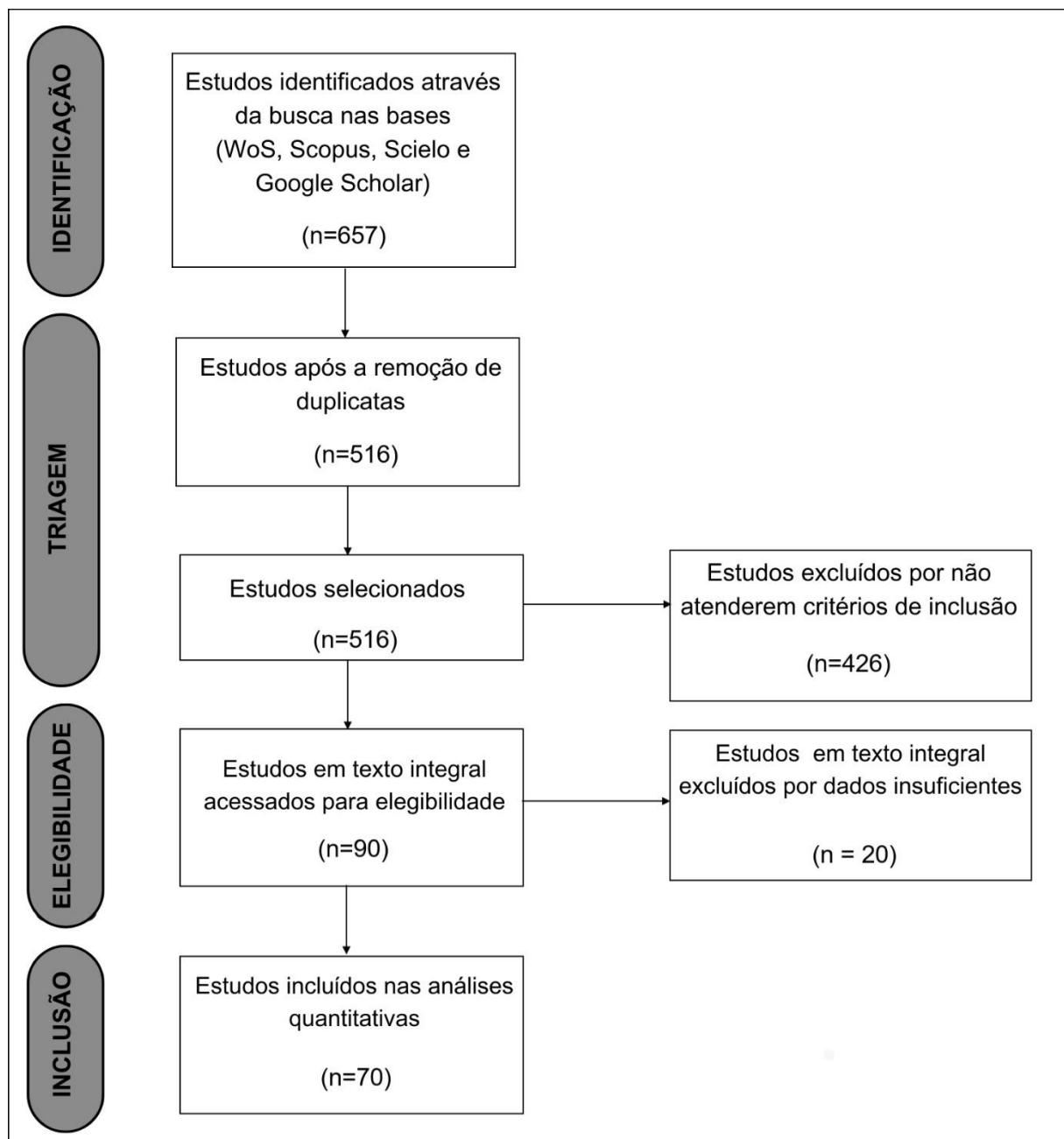


Figura 1: Diagrama Prisma demonstrando o processo de seleção de artigos na revisão sistemática acerca de dados de ocorrência de *Mesocyclops ogunnus* no Brasil. Adaptado de Moher et al., 2009.

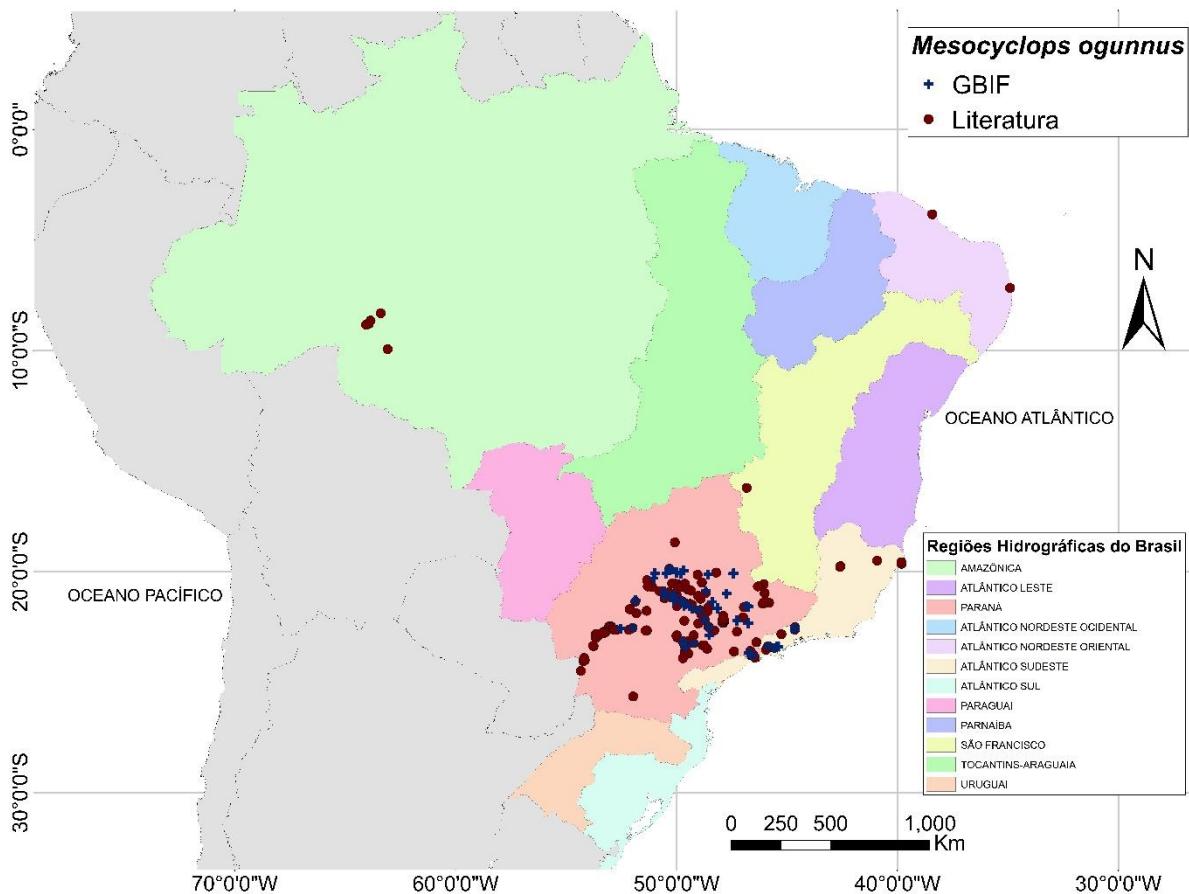


Figura 2: Registros de ocorrência de *Mesocyclops ogunnus* no Brasil. Cruzes em azul representam dados extraídos do GBIF; Pontos vermelhos representam dados extraídos da revisão de literatura realizada nesse artigo.

3.2 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES

As variáveis obtidas nos bancos de dados CHELSA e HydroSHEDS e selecionadas por meio de diferentes metodologias foram compiladas em uma tabela (veja Tabela 1), juntamente com uma breve descrição de suas propriedades. As variáveis selecionadas por cada metodologia estão marcadas com um "X".

Nossos modelos ajustados apresentaram valores de AUC acima de 0,9, que são categorizados como excelentes, e o valor do TSS variou de 0,79 a 0,86, classificando nossos modelos como úteis e excelentes (veja Tabela 2).

As três variáveis mais importantes para cada modelo SDM utilizando o algoritmo *MaxEnt* foram compiladas na Tabela 3, com diferentes variáveis bioclimáticas sendo identificadas como as variáveis mais importantes em todos os nossos modelos. Apenas o modelo de correlação (M00) tinha uma variável hidrológica

classificada entre as três variáveis mais importantes, que era o comprimento do fluxo (HYD_SA LUP), representando 5,4% da explicação.

Nossos mapas de adequabilidade criados através do algoritmo *MaxEnt para M. ogunnus* são mostrados na figura 3 (A-D). Todos os modelos gerados apresentaram desempenho considerado bom, com base nos valores de AUC e TSS, com valores acima de 0,9 para o AUC e acima de 0,75 para o TSS. Embora o modelo M00 (Figura 3 A) tenha as métricas mais baixas entre os quatro modelos, ele demonstrou ser o modelo com maior capacidade de predição. Os modelos M01, M02 e M03 (Figura 3 B-D) apresentaram projeções semelhantes, com apenas uma pequena expansão longitudinal das áreas adequadas em direção à Bacia dos Rios Paraguai e Paraná. O modelo mais restritivo foi o modelo M02 (Figura 3C), mostrando áreas de alta adequação restritas apenas nas regiões onde a espécie foi registrada na Bacia do Rio Paraná. Os modelos M01 (Figura 3B) e M03 (Figura 3D) mostraram apenas uma pequena expansão longitudinal em direção à costa atlântica.

Tabela 1: Variáveis Bioclimáticas e Hidrológicas usados no ajuste dos modelos. Variáveis selecionadas por cada método estão sinalizadas com um “X”.

Classe	Variável	Descrição	Matriz de correlação (Th = 0.7)	VIFcor (Th = 0.7) (Naimi, 2022)	VIFstep (Th = 0.7) (Naimi, 2022)
Bioclimática	BIO1	Temperatura Média Anual			
	BIO2	Faixa diurna média (média mensal (temperatura máxima - temperatura mínima))		X	
	BIO3	Isotérmica (BIO2/BIO7) ($\times 100$)		X	X
	BIO4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão $\times 100$)			
	BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente			
	BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio			
	BIO7	Faixa Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)			X
	BIO8	Temperatura média do trimestre mais úmido		X	X

	BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco			
	BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente			
	BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio			
	BIO12	Precipitação anual		X	X
	BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso	X	X	
	BIO14	Precipitação do mês mais seco	X		
	BIO15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)			X
	BIO16	Precipitação do trimestre mais úmido			
	BIO17	Precipitação do trimestre mais seco			
	BIO18	Precipitação do trimestre mais quente		X	X
	BIO19	Precipitação do trimestre mais frio		X	X
Hidrológica	HYD_SA_ACC	Mapa de acumulação de fluxo derivado do mapa de direção de fluxo			X
	HYD_SA_DIR	Mapa de direção de drenagem derivado dos dados de elevação condicionados	X	X	X
	HYD_SA_LUP	Mapa de comprimento de fluxo derivado do mapa de direção de fluxo	X	X	
	HYD_SA_MSK	Máscara terrestre que indica a distribuição terra-oceano e a localização dos sumidouros costeiros e interiores.	X	X	X
	SA_CON	Modelo digital de elevação hidrologicamente condicionado			

Tabela 2: Métricas de cada modelo MaxEnt. TSS = *True Skill Statistic*; AUC[ROC] = *Area under the curve [Receiver Operator Characteristic]*. Seguindo Peterson & Soberón (2012) para valores TSS: 0,2 - 0,5 (insatisfatório) ; 0,6 - 0,8 (Útil); 0,8 > (Excelente). Seguindo Trifonova et al., (2012) para valores de AUC(ROC): 0,5 -0,6 (Insatisfatório); 0,6 -0,7 (Satisfatório); 0,7 - 0,8 (Bom); 0,8 - 0,9 (Muito bom); 0,9 - 1,0 (Excelente). Modelo M00 variáveis selecionadas pela metodologia matriz de correlação de Pearson. Modelo M01 ajustado por variáveis selecionadas por uma análise do fator de inflação de variância (VIF) utilizando a função "vifcor" pacote USDM (Naimi, 2014). Modelo M02 ajustado através de variáveis selecionadas por uma análise fator de inflação de variância (VIF) utilizando a função "vifstep" do pacote USDM (Naimi, 2014). O modelo M03 foi ajustado através da seleção de variáveis selecionadas em pelo menos duas das três abordagens utilizadas anteriormente.

Modelo	TSS	ROC
Matriz de correlação M.00	0,79	0,95
vifcor M.01	0,86	0,97
vifstep M02	0,84	0,96
consenso M03	0,85	0,97
Média	0,83	0,96

Tabela 3: Importância relativa das variáveis para cada modelo. Modelo M00 variáveis selecionadas pela metodologia matriz de correlação de Pearson. Modelo M01 ajustado por variáveis selecionadas por uma análise do fator de inflação de variância (VIF) utilizando a

função "vifcor" pacote USDM (Naimi, 2014). Modelo M02 ajustado através de variáveis selecionadas por uma análise fator de inflação de variância (VIF) utilizando a função "vifstep" do pacote USDM (Naimi, 2014). O modelo M03 foi ajustado através da seleção de variáveis selecionadas em pelo menos duas das três abordagens utilizadas anteriormente.

Modelo	Importância relativa da variável
M00 (Matriz de correlação)	BIO14(59,9%), BIO13 (59,3%), HYDSA_LUP (5,4%)
M01 (Vifcor)	BIO12(41,4%), BIO19(37,2%), BIO18(20%)
M02 (Vifstep)	BIO12(33%), BIO18 (31,3%), BIO 19(26,1%)
M03 (Consenso)	BIO12(40,7%), BIO19 (36,5%), BIO18 (31,2%)

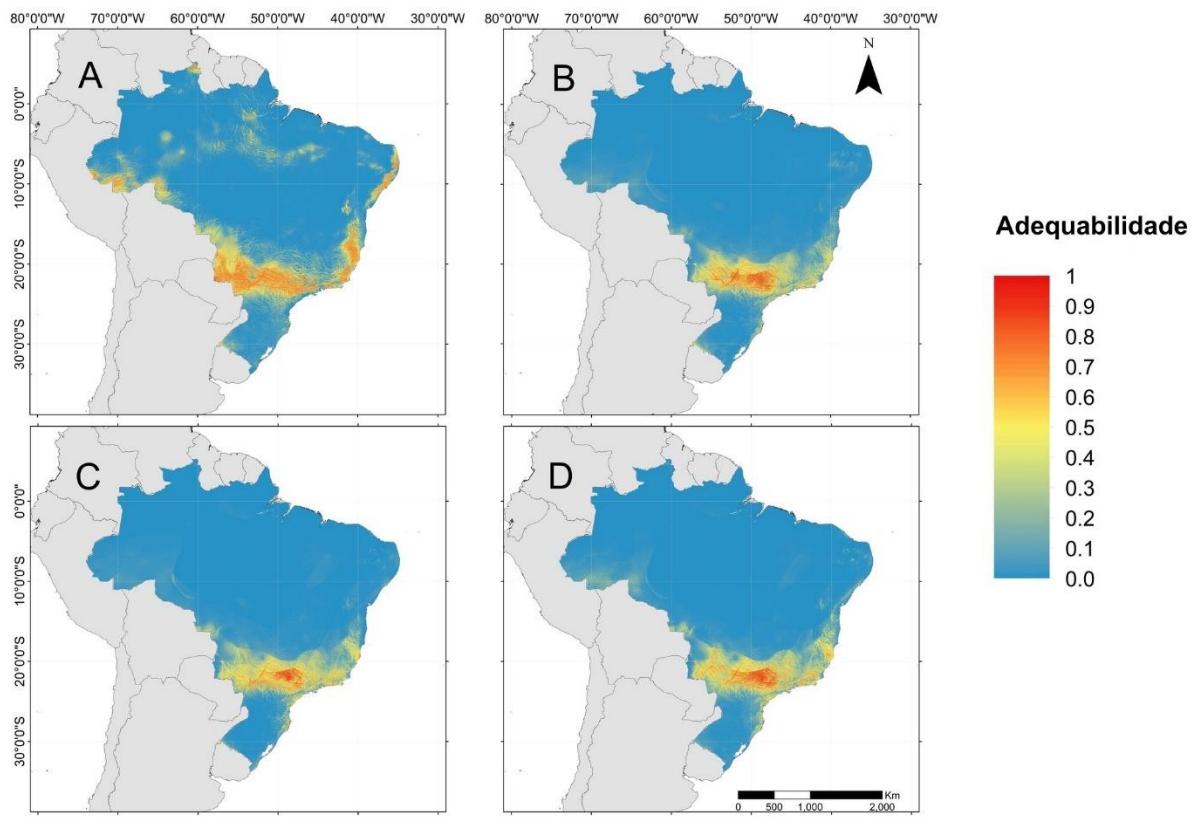


Figura 3: Projeções dos modelos ajustados através de diferentes métodos de seleção de variável. (A) Modelo M00 – Matriz de correlação; (B) Modelo M01 - Vifcor; (C) Modelo M02 - Vifstep (D) Model M03 - Consenso. Tons vermelhos indicam maior adequabilidade e tons azuis indicam menor adequabilidade da área.

4 DISCUSSÃO

4.1 VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

Neste trabalho foi verificado que a dispersão de *M. ogunnus* a partir dos sítios de introdução é possivelmente mediada por variáveis hidrológicas. A fim de demonstrar isto foram incorporadas em nossa análise cinco variáveis hidrológicas distintas (Tabela 3). O modelo ajustado a partir das variáveis selecionadas pela matriz de correlação (M00) teve as menores métricas em relação aos demais modelos, entretanto esse teve a maior performance preditiva, destacando áreas de adequabilidade em um espectro latitudinal mais amplo próximo a Costa Atlântica e em algumas regiões próximas a borda da Bacia do Rio Amazonas. Além disso apenas o modelo M00, identificou a variável Comprimento de fluxo (“*Flow Length Upstream*” (HYD_SA_LUP)) como uma das três mais importantes variáveis. Essa variável mede a distância em relação a nascente do rio. A relativa pouca importância das variáveis hidrológicas pode ser atribuída a efeitos estatísticos resultantes dos métodos de

seleção das variáveis. É possível que combinar os processos de seleção de variáveis bioclimáticas do CHELSA e variáveis hidrológicas do HydroSHEDS tenha influenciado esses resultados. Como recomendação para pesquisas futuras, nos propomos que a seleção de variáveis seja conduzida de maneira independente para cada conjunto de variáveis ambientais, permitindo uma análise mais compreensiva e precisa destas.

4.2 VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS E A OCORRÊNCIA DE *M. OGUNNUS*

A introdução de *M. ogunnus* no Brasil foi creditada a práticas de aquicultura e estocagem de peixes (Coelho & Henry, 2017). Uma revisão recente por Pelissoli (2023) demonstrou que maior parte da soltura de peixes para fins de estocagem no Brasil ocorreu em reservatórios, uma tendência consistente com a distribuição de *M. ogunnus* retornada pelos registros compilados em nossa revisão de literatura. Duggan & Pullan (2018) também demonstraram que a aquicultura pode aumentar a presença de espécies exóticas, não apenas nos sítios de introdução, mas também em áreas próximas e adjacentes a estes corpos de água. Neste trabalho as variáveis bioclimáticas relacionadas com a precipitação, como por exemplo ‘precipitação anual’ (BIO12), ‘precipitação do mês mais seco’ (BIO14), ‘precipitação do trimestre mais quente’ (BIO18), e ‘precipitação do trimestre mais frio’ (BIO19) exercem uma influência significativa em nossos modelos (Tabela 3). Esses achados possivelmente revelam dinâmicas ecossistêmicas relacionadas com a dispersão e persistência de *M. ogunnus* em corpos de água Brasileiros. Indo mais além, a conectividade hidrológica promovida por altos índices de precipitação pode aumentar a pressão de propágulo em corpos de água próximos a sítios de introdução da espécie. Recentemente, Thomaz (2022), demonstrou padrões semelhantes em planícies de inundação durante a estação chuvosa, onde a conectividade hidrológica amplificada pode aumentar a colonização por espécies não nativas (NIS). Em adição, a conectividade hidrológica em períodos de elevada precipitação tem o potencial de aumentar a dispersão passiva do zooplâncton como o indicado por Santos et al., (2022).

A região sudeste do Brasil, onde maior parte das ocorrências de *M. ogunnus* foi registrada, é caracterizada por grande sazonalidade da precipitação (Avila-Diaz et al., 2020). Isso sugere que a conectividade hidrológica possivelmente é aumentada regularmente durante a estação chuvosa, e possivelmente atua mediando a prevalência de *M. ogunnus* nos corpos de água em estações subsequentes através dos regimes de precipitação. A persistência de *M. ogunnus* também pode estar

associada com a entrada de nutrientes nos reservatórios, uma vez que grandes quantidades destes são transportadas para dentro dos corpos de água durante regimes de precipitação sazonal intensos, como o observado no sudeste do Brasil (Moji et al.,2009; Moss et al.,2011; Junior et al.,2018; Avila-Diaz et al.,2020). Entretanto também vale destacar a possibilidade da existência de um viés de amostragem, porém o presente trabalho não se propõem a análise desse tipo de viés.

Apesar de nosso estudo inferir correlações importantes entre os padrões relativos ao fluxo de água e o movimento de *M. ogunnus*, é importante ressaltar que essa relação pode ser influenciada por uma grande variedade de fatores. Os resultados demonstram que a variações sazonais no fluxo de água podem ter um impacto direto na distribuição espacial, o que está em sinergia com o demonstrado em estudos anteriores que demonstram a importância do fluxo de água como um fator determinante par ao estabelecimento de espécies invasoras (Picapedra et al.,2020b).

Ademais, destaca-se que a influência do fluxo de água pode aumentar a capacidade dispersão dos propágulos (Moreno et al.,2016). Espécies com uma maior capacidade de se adaptar a ambientes com grande velocidade de fluxo, demonstraram maior taxas de colonização em áreas sujeitas a fortes correntes de água. Essa relação entre fluxo e capacidade dispersão converge com estudos anteriores que destacam a adaptações específicas de espécies invasoras a diferentes regimes de fluxo (Winder et al.,2011, Dexter et al., 2020).

Existem ainda outros fatores ambientais podem ter um fato significativo nas dinâmicas de espécies invasoras. Como exemplo, temos as variáveis de temperatura, que apesar de incluídas em nossos modelos não estiveram ranqueadas entre as variáveis mais importantes. Nesse sentido nosso trabalho contrasta com a modelagem da espécie feita em Cârdoso (2020) uma vez que neste a variável “Temperatura Média Anual” exibe a maior influência sobre o modelo produzido. Adicionalmente podemos destacar que alguns estudos demonstraram de maneira experimental que a temperatura pode influenciar no tempo de vida, desenvolvimento, número de ovos produzidos, duração do período de postura de ovos, porcentagem de ovos eclosos, número de desovas e eficiência metabólica de *M. ogunnus* (Gophen et al., 2015). Aqui argumentamos que nossas variáveis selecionadas através das abordagens de estatísticas de redução de colinearidade, representam também as variações na temperatura na área de estudo.

Por fim é de vital importância relembrar que modelos de distribuição de espécies geralmente não são capazes de considerar as interações bióticas entre diferentes táxons que podem auxiliar na dispersão das espécies, sendo suas previsões baseadas no nicho fundamental da espécie (Hutchinson, 1957, Araújo & Guisan, 2006). No caso de copépodes de vida livre, a dispersão de formas de resistência através de macrófitas já foi documentada em lagos da bacia do Rio Paraná (Battauz et al. 2016); além disso Duggan & Pullan (2017) demonstra que o estabelecimento de espécies de invasoras de copópode também é possível através da mediação de aves aquáticas. Neste sentido, devemos nos atentar as atuais deficiências dos modelos de distribuição de espécies, e com base nisso recomendamos que para estudos futuros a procura de meios que busquem mitigar essas deficiências como por exemplo o uso de modelos de co-ocorrência.

4.3 ÁREAS POTENCIAIS DE OCORRÊNCIA

Nossos modelos identificaram novas potenciais áreas para a ocupação de *M. ogunnus* por todas as regiões da Bacia do Rio Paraná e por toda extensão longitudinal da Bacia do Atlântico Sul (latitudes 30° S até 10° S). As bacias do rio Amazonas, São Francisco e Atlântico Norte possuem relativamente poucos registros de *M. ogunnus* (n=8). Entretanto nosso modelo feito através da matriz de correlação (M00) sugere a existência de áreas potenciais para o estabelecimento de *M. ogunnus* próximo ao local das ocorrências nestas bacias. Dado que a introdução de *M. ogunnus* pode ocorrer através da criação de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) em aquiculturas – um peixe extremamente popular para fins comerciais no Brasil – a dispersão de *M. ogunnus* em estados de baixa prevalência de ocorrência é provável em caso do aumento da pressão propágulo (Silva & Roche, 2016; Coelho & Henry, 2017; Valenti et al., 2021). Levando em conta esses fatores, é possível que as áreas potenciais previstas pelos nossos modelos possam se tornar áreas de ocupação efetiva no futuro.

4.4 IMPACTOS DE *M. OGUNNUS* EM ÁREAS NÃO NATIVAS

Apesar a ecologia da invasão ser uma área bem estabelecida dentro da biologia, números questões permanecem sem resposta no que diz respeito a processos de invasão por inúmeros táxons. No contexto do plâncton por exemplo,

apesar da classificação de inúmeras espécies como não nativas ou invasoras, existe uma escassez de estudos que elucidam as interações e consequências destas introduções nos ecossistemas. Um caso notável no contexto do zooplâncton é a invasão do cladocero *Bythotrephes longimanus* (Leydig, 1860), que se tornou um invasor nos Grandes Lagos da América do Norte (Miehls et al., 2011; Mills et al., 1993). Nos ecossistemas Norte Americanos, *B. longimanus* rapidamente supriu através da competição populações nativas, resultando na redução da diversidade local de espécies de zooplâncton (Yan et al., 2011). Acerca da competição, *M. ogunnus* foi caracterizado como uma espécie euritópica, o que possivelmente pode dar uma vantagem competitiva dessa espécie em relação as espécies nativas, especialmente no contexto das mudanças climáticas (Mantovano et al., 2021; Dexter et al., 2020).

Outro fator que pode potencialmente alterar o balanço competitivo nas assembleias de zooplâncton é o processo de eutrofização (Agostinho et al., 2007; Picapedra et al., 2020a). *M. ogunnus* foi observado em reservatórios eutróficos no Brasil (Matsumura-Tundis & Silva, 2002), e com a incidência crescente de eventos de eutrofização relacionados com as mudanças climática é possível que haja um aumento na prevalência de espécies invasoras em reservatórios Brasileiros. Além disso existem crescentes evidências de desdobramentos não previstos de invasões biológicas, como por exemplo alterações na biogeoquímica dos ecossistemas, a transmissão de novas doenças e perdas econômicas (Mori et al., 2019; Hulme, 2014).

4.5 MODELAGEM DE ESPÉCIES INVASORAS.

Quando a distribuição de uma espécie é modelada, geralmente o modelo tem como base o nicho fundamental, que depende unicamente dos fatores ambientais para determinar a adequabilidade de um ambiente (Soberón & Peterson, 2005). Entretanto, quando se lida com a distribuição de espécies invasoras e se avalia a acurácia ecológica dos modelos, uma abordagem mais meticulosa se faz necessária. Quando se modela espécies invasoras aquáticas, fatores como a pressão de propágulo, capacidade de dispersão, conectividade dos corpos de água e o grau de atividades antropogênica próximas devem ser levados em conta afim de se produzir modelos com significado ecológico (Domisch et al., 2015; Rodríguez-Rey et al., 2019).

Nossos modelos de distribuição de espécie foram ajustados de maneira precisa usando registros de ocorrência no território brasileiro. Enquanto muitos estudos na literatura recomendam o uso de pontos de ocorrência na área nativa de

ocorrência para calibrar o modelo (e.g., Loo et al.,2007; Fitzpatrick et al.,2007; Goldsmit et al.,2018; Oliveira et al.,2023), nos seguimos o protocolo proposto por Hui (2023) e foram utilizados dados de ocorrência limitados a área de estudo. Dado que microcrustáceos são conhecidos por responder rapidamente a variáveis ambientais e possuírem ciclos de vida curtos, é plausível que as populações do introduzidas no continente americano exibam diferenças morfológicas e genéticas das suas contrapartes nativas (Winkler et al., 2008; Sukhikh et al.,2016; Sodré & Bozelli, 2019). Neste sentido, modelar a distribuição potencial da espécie baseado apenas nas populações invasoras pode aumentar a especificidade do modelo e mitigar os efeitos de super predição, uma vez que considera apenas a distribuição da espécie no novo ambiente. Para o futuro, é recomendado também a modelagem das áreas potenciais de *M. ogunnus* para diferentes cenários climáticos.

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho, foram identificados 186 novos registros de ocorrência para a espécie invasora *Mesocyclops ogunnus* no Brazil que não estavam presentes no banco de dados do GBIF através de uma revisão sistemática. A partir destes dados foi modelada pela primeira vez a distribuição de *M. ogunnus* utilizando variáveis de alta resolução (30 arcos segundos) bioclimáticas e hidrológicas. Os resultados aqui apresentados demonstraram que as variáveis relacionadas com a precipitação foram as que mais explicaram a variação das áreas de adequabilidade dos nossos modelos, essas últimas estão fortemente relacionadas com os métodos de dispersão da espécie. Também foi apontado aqui área de adequabilidade para a presença de *M. ogunnus* em áreas de interesse para a conservação, como a bacia do Rio Amazonas. Portanto aqui, destacamos a importância dos dados levantados para o direcionamento de esforços de monitoramento de áreas sobre potenciais risco de invasão e no suporte de futuras estratégias de manejo e conservação.

REFERÊNCIAS

- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., & Pelicice, F. M. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Uem, 2007.
- Araújo, M.B.; Guisan, A. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of biogeography*, v. 33, n. 10, p. 1677-1688, 2006.
- Azevedo-Santos, V. M., Rodrigues-Filho, J. L., Fearnside, P. M., Lovejoy, T. E., & Brito, M. Conservation of Brazilian freshwater biodiversity: Thinking about the next 10 years and beyond. *Biodiversity and Conservation*, 30: 235-241, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2022. São Paulo: PEIXEBR. 2022. 79p. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>. Acesso em: 22 de setembro de 2023.
- Battauz, Y. S., de Paggi, S. B. J., & Paggi, J. C. Macrophytes as dispersal vectors of zooplankton resting stages in a subtropical riverine floodplain. *Aquatic Ecology*, 51, 191-201, 2017.
- Brito, S. L., Maia-Barbosa, P. M., & Pinto-Coelho, R. M. Zooplankton as an indicator of trophic conditions in two large reservoirs in Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, v. 16, n. 4, p. 253-264, 2011.
- Britton, J. R., Lynch, A. J., Bardal, H., Bradbeer, S. J., Coetzee, J. A., Coughlan, N. E., ... & Pritchard, E. G. Preventing and controlling nonnative species invasions to bend the curve of global freshwater biodiversity loss. *Environmental Reviews*, v.31, n.2, p. 310-326, 2023.
- Cârdoso. H. Distribuição potencial de *Mesocyclops ogunnus* onabamiro 1957 (crustacea: copepoda: cyclopoida). *enciclopedia biosfera*, v. 17, n. 32, 2020.
- Castilho-Noll, M. S. M., Neves, G. P., dos Santos, N. G., Schwind, L. T. F., Lansac-Tôha, F. M., da Silva, A. C. S., ... & Simões, N. R. A review of 121 years of studies on the freshwater zooplankton of Brazil. *Limnologica*, p. 126057, 2023.
- Coelho, P. N., & Henry, R. The small foreigner: new laws will promote the introduction of non-native zooplankton in Brazilian aquatic environments. *Acta Limnologica Brasiliensis*, v. 29, 2017.
- Beatriz Gomes e Souza Dabés, M., & Felipe Machado Velho, L. Assemblage of testate amoebae (Protozoa, Rhizopoda) associated to aquatic macrophytes stands in a marginal lake of the São Francisco River floodplain, Brazil. *Acta Scientiarum*, v.23, p. 291–297, 2001.

- Dexter, E., Bollens, S. M., & Rollwagen-Bollens, G. Native and invasive zooplankton show differing responses to decadal-scale increases in maximum temperatures in a large temperate river. *Limnology and Oceanography Letters*, v. 5, n. 6, 2020.
- Dick, J. T., Alexander, M. E., Ricciardi, A., Laverty, C., Downey, P. O., Xu, M., ... & Shaw, R. H. Functional responses can unify invasion ecology. *Biological invasions*, v. 19, p. 1667-1672, 2017.
- Domisch, S., Amatulli, G., & Jetz, W. Near-global freshwater-specific environmental variables for biodiversity analyses in 1 km resolution. *Scientific data*, v. 2, n. 1, 2015.
- Duggan, I. C., & Pullan, S. G. Do freshwater aquaculture facilities provide an invasion risk for zooplankton hitchhikers?. *Biological Invasions*, v. 19, p. 307-314, 2018.
- Finke, D. L., & Snyder, W. E. Niche partitioning increases resource exploitation by diverse communities. *Science*, v. 321, n. 5895, p. 1488-1490, 2008.
- Fitzpatrick, M. C., Weltzin, J. F., Sanders, N. J., & Dunn, R. R. The biogeography of prediction error: why does the introduced range of the fire ant over-predict its native range? *Global Ecology and Biogeography*, v. 16, n. 1, 2007.
- Goldsmid, J., Archambault, P., Chust, G., Villarino, E., Liu, G., Lukovich, J. V., ... & Howland, K. L. Projecting present and future habitat suitability of ship-mediated aquatic invasive species in the Canadian Arctic. *Biological Invasions*, v. 20, n. 2, 2018.
- Gophen, M. Thermal preference by *Mesocyclops ogunnus* (Onabamiro, 1957). *Open Journal of Ecology*, v. 5, n. 02, p. 15, 2015.
- Hui, Cang. The dos and don'ts for predicting invasion dynamics with species distribution models. *Biological Invasions*, v. 25, n. 4, 2023.
- Hutchinson, G. E. (1957, January). Concluding remarks. In *Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology* (Vol. 22, pp. 415-427). Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Lansac-Tôha, F. A., Velho, L. F. M., Higuti, J., & Takahashi, E. M. Cyclopidae (Crustacea, Copepoda) from the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 62, p. 125-133, 2002.
- Loo, S. E., Nally, R. M., & Lake, P. S. Forecasting New Zealand mudsnail invasion range: model comparisons using native and invaded ranges. *Ecological Applications*, v. 17, n.1, 2007.
- Macêdo, R. L., Franco, A. C. S., Kozlowsky-Suzuki, B., Mammola, S., Dalu, T., & Rocha, O. The global social-economic dimension of biological invasions by plankton: Grossly underestimated costs but a rising concern for water quality benefits?. *Water Research*, v. 222, p. 118918, 2022.

- Matsumura-Tundisi, T., & Silva, W. M. Occurrence of *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, 1957 (Copepoda Cyclopoida) in water bodies of São Paulo state, identified as *Mesocyclops kieferi* Van de Velde, 1984. Brazilian Journal of Biology, v. 62, p. 615-620, 2002.
- Matsumura-Tundisi, T., & Tundisi, J. G. Plankton richness in a eutrophic reservoir (Barra Bonita Reservoir, SP, Brazil). Hydrobiologia, v. 542, n. 1, p. 367-378, 2005.
- Miehls, A. L., Peacor, S. D., & McAdam, A. G. Genetic and maternal effects on tail spine and body length in the invasive spiny water flea (*Bythotrephes longimanus*). Evolutionary Applications, v. 5, n. 3, p. 306-316, 2012.
- Mills, E. L., Leach, J. H., Carlton, J. T., & Secor, C. L. Exotic species in the Great Lakes: a history of biotic crises and anthropo-genic introductions. Journal of Great Lakes Research, v. 19, n.1, p. 1–54, 1993.
- Mooij, W. M., Domis, L. D. S., & Janse, J. H. Linking species-and ecosystem-level impacts of climate change in lakes with a complex and a minimal model. Ecological Modelling, v. 220, n. 21, 2009
- Moreno, E., Pérez-Martínez, C., & Conde-Porcuna, J. M. Dispersal of zooplankton dormant propagules by wind and rain in two aquatic systems. Limnetica, v. 35, n. 2, p. 323-336, 2016.
- Operador nacional do sistema elétrico. disponível em:
<https://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/reservatorios>. acesso em 22 de setembro, 2023.
- Pearson, A. A., & Duggan, I. C. A global review of zooplankton species in freshwater aquaculture ponds: what are the risks for invasion?. Aquatic Invasions, v. 13, n. 3, 2018.
- Peixoto, R. S., Brandão, L. P. M., Valadares, C. D. F., & Barbosa, P. M. M. Occurrence of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) and *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, 1957 in lakes of the Middle river Doce, MG, Brazil. Acta Limnologica Brasiliensis, v. 22, p. 356-360, 2010.
- Picapedra, P. H. S., Fernandes, C., Baumgartner, G., & Sanches, P. V. Zooplankton communities and their relationship with water quality in eight reservoirs from the midwestern and southeastern regions of Brazil. Brazilian Journal of Biology, v. 81, p. 701 – 713, 2020a.
- Picapedra, P. H., Fernandes, C., Taborda, J., Baumgartner, G., & Sanches, P. V. A long-term study on zooplankton in two contrasting cascade reservoirs (Iguacu River, Brazil):

- effects of inter-annual, seasonal, and environmental factors. PeerJ, v.8, p. e8979, 2020b.
- Reid, J. W., & Pinto-Coelho, R. M. Planktonic Copepoda of Furnas Reservoir: initial survey of species (1993) and review of literature. Ecology and human impact on lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies. SEGRAC, Belo Horizonte, p. 93-114, 1994.
- Rodríguez-Rey, M., Consuegra, S., Börger, L., & Garcia de Leaniz, C. Improving Species Distribution Modelling of freshwater invasive species for management applications. PLoS One, v. 14, n. 6, 2019.
- Sala, O. E., Stuart Chapin, F. I. I. I., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., ... & Wall, D. H. Global biodiversity scenarios for the year 2100. science, v. 287, n. 5459, p. 1770-1774, 2000.
- Santos, K. N. J. D., Carvalho, P. D., Vieira, L. C. G., Granzotti, R. V., & Bini, L. M. The relationship between zooplankton occupancy and abundance in a floodplain is mediated by the hydrological regime. Acta Limnologica Brasiliensis, v. 34, 2022.
- Silva, W. M. D. Diversidade de Cyclopoida (Crustacea, Copepoda) de água doce do estado de São Paulo: taxonomia, ecologia e genética. São Carlos, UFSCAR. 154 p. 2003. Tese de Doutorado. Tese de doutorado
- Silva, W. M., & Roche, K. F. Occurrence of the AFRO-Asian species *Mesocyclops ogunnus* onabamiro, 1957 (Crustacea: copepoda) in the Amazon river basin. Brazilian Journal of Biology, v. 77, p. 209-211, 2016.
- Smith, V. H., & Schindler, D. W. Eutrophication science: where do we go from here?. Trends in ecology & evolution, v. 24, n. 4, p. 201-207, 2009.
- Sodré, E. D. O., & Bozelli, R. L. How planktonic microcrustaceans respond to environment and affect ecosystem: a functional trait perspective. International Aquatic Research, v. 11, n. 3, 2019.
- Soberon, J., & Peterson, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. 2005.
- Smith, V. H., & Schindler, D. W. Eutrophication science: where do we go from here?. Trends in ecology & evolution, v. 24, n. 4, p. 201-207, 2009.
- Straskraba, M. Limnological differences between reservoirs and lakes: management consequences. In: Proceedings: 7th International Conference on Lakes, Conservation and Management, San Martin de las Andes, Argentina. 1997.

- Straškraba, M. Reservoir ecosystem functioning: theory and application. *Theoretical reservoir ecology and its applications*, p. 565-583, 1999.
- Sukhikh, N., Souissi, A., Souissi, S., Winkler, G., Castric, V., Holl, A. C., & Alekseev, V. Genetic and morphological heterogeneity among populations of *Eurytemora affinis* (Crustacea: Copepoda: Temoridae) in European waters. *Comptes rendus biologies*, v. 339, n. 5-6, 2016.
- Thomaz, S. M. Propagule pressure and environmental filters related to non-native species success in river-floodplain ecosystems. *Hydrobiologia*, 849(7-18), 3679-3704, 2022.
- Valenti, W. C., Barros, H. P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G. W., & Cavalli, R. O. Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, v. 19, p. 100611, 2021.
- Winder, M., Jassby, A. D., & Mac Nally, R. Synergies between climate anomalies and hydrological modifications facilitate estuarine biotic invasions. *Ecology letters*, v. 14, n. 8, p. 749-757, 2011.
- Winkler, G., Souissi, S., Poux, C., & Castric, V. Genetic heterogeneity among *Eurytemora affinis* populations in Western Europe. *Marine Biology*, v. 158, p. 1841- 1856, 2011.
- Yan, N. D., Leung, B., Lewis, M. A., & Peacor, S. D. The spread, establishment and impacts of the spiny water flea, *Bythotrephes longimanus*, in temperate North America: a synopsis of the special issue. *Biological Invasions*, v. 13, p. 2423 -2432, 2011.

APÊNDICE A – Lista de artigos elegíveis após a revisão sistemática da literatura

Número	Título do artigo	Autor	Ano de publicação
1	An Afro-Asian continental copepod, <i>Mesocyclops ogunnus</i> , found in Brazil; with a new key to the species of Mesocyclops in South America and a review of ...	Reid & Pinto-Coelho	1994
2	Gradiente trófico no rio Sapucaí (Reservatório de Furnas-MG): Relação com a distribuição do zooplâncton e os usos do solo	Aguila	2001
3	Structure and dynamics of the cyclopoid copepod (Crustacea) assemblage associated with aquatic macrophytes in two lotic environments of the Upper ...	Luiz et al.	2001
4	Zooplâncton dos lagos do parque estadual das fontes do Ipiranga (SP) e relações entre espécies zooplânticas e estado trófico em corpos do Estado de São Paulo	Piva-Bertoletti	2001
5	Cyclopidae (crustacea, copepoda) from the upper Paraná River floodplain, Brazil	Lansac-Tôha	2002
6	Occurrence of <i>Mesocyclops ogunnus</i> Onabamiro, 1957 (Copepoda cyclopoida) in water bodies of São Paulo state, identified as <i>Mesocyclops kieferi</i> Van De Velde, 1984	Matsumura-Tundisi & Silva	2002
7	Crustacean zooplankton in lakes and reservoirs of temperate and tropical regions: variation with trophic status	Pinto-Coelho et al.	2005
8	DNA extraction and ITS2 (internal transcribed spacer 2) gene sequences of some Brazilian freshwater copepods	Silva & Matsumura-Tundisi	2005
9	Plankton richness in a eutrophic reservoir (Barra Bonita Reservoir, SP, Brazil)	Matsumura-Tundisi & Tundisi	2005
10	Spatial and temporal density variation of microcrustacean assemblages in different systems of the assemblages in different systems of the upper Paraná River ...	Choueri et al.	2005
11	Distribuição espacial e produção secundária de Copepoda em um reservatório tropical em Barra Bonita, SP, Brasil	Santos-Wisniewski & Rocha	2007
12	Spatial distribution and secondary production of Copepoda in a tropical reservoir: Barra Bonita, SP, Brazil	Santos-Wisniewski & Rocha	2007
13	Aspectos do enchimento da represa Paraitinga, sistema produtor Alto Tietê: Zooplâncton e qualidade da água	Nascimento	2008
14	Efeitos do represamento sobre a estrutura e dinâmica da comunidade zooplântônica.	Takahashi	2008
15	Efeitos do tempo de residência, morfometria e estado trófico sobre as assembléias de microcrustáceos (Cladocera e Copepoda) dos reservatórios de ...	Perbiche-Neves	2008
16	Impacto da piscicultura em tanques-rede sobre a estrutura da comunidade zooplântônica em um reservatório subtropical, Brasil.	Dias	2008
17	Seasonal fluctuations of the microcrustacean assemblages in the littoral zone of Lake Dom Helvécio (Parque Estadual do Rio Doce, MG)	Peixoto et al.	2008
18	Size and dry weight of main zooplankton species in Bariri reservoir (SP, Brazil)	González et al.	2008

19	Efeitos dos pulsos de vazão dos reservatórios do baixo rio Paranapanema (SP/PR) sobre os sistemas de jusante-variáveis físicas, químicas e assembléias ...	Naliato	2009
20	Effects of a small fish cage farm on zooplankton assemblages (Cladocera and Copepoda: Crustacea) in a sub-tropical reservoir (SE Brazil).	Zanatta et al.	2010
21	Occurrence of <i>Kellicottia bostoniensis</i> (Rousselet, 1908) and <i>Mesocyclops ogunnus</i> Onabamiro, 1957 in lakes of the Middle River Doce, MG, Brazil	Peixoto et al.	2010
22	The influence of environmental factors on the seasonal dynamics and composition of Rotifera in the Sapucaí River arm of Furnas Reservoir, MG, Brazil	Negreiros et al.	2010
23	Análise comparativa da dieta, seletividade alimentar e estrutura da ictiofauna, juvenil e espécies de pequeno porte, em lagoas marginais do reservatório de Rosana ...	Feitosa	2011
24	Checklist dos Copepoda Cyclopoida de vida livre de água doce do Estado de São Paulo, Brasil	Silva & Matsumura-Tundisi	2011
25	Copépodes planctônicos (Crustacea, Calanoida e Cyclopoida) em reservatórios e trechos lóticos da bacia do Rio da Prata (Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai) ...	Perbiche-Neves	2011
26	Efeitos causados por chuvas intensas nas variáveis limnológicas e assembléias zooplâncticas dos reservatórios de Chavantes e Salto Grande (Rio ...)	Prezzotto	2011
27	Estudo limnológico de um trecho do médio Rio Madeira (região de Porto Velho-RO), com ênfase na comunidade zooplânctonica	Arantes Junior	2011
28	Importance of lateral lagoons for the zooplankton assemblages (Cladocera and Copepoda) in a large tropical reservoir	Nogueira	2011
29	Inter-relações entre zooplâncton e fitoplâncton mediante herbivoria na Lagoa do Camargo (zona de desembocadura do Rio Paranapanema na Represa de ...)	Alves	2011
30	Transposição e fragmentação do Rio Piumhi (Bacia do Rio São Francisco, MG): variáveis limnológicas e microcrustáceos zooplânctônicos da Lagoa dos Tropeiros	Sonoda	2011
31	Copepods (Crustacea, Maxillopoda) from shallow reservoirs [Copépodes (Crustacea, Maxillopoda) em reservatórios rasos]	Castilho-Noll et al.	2012
32	Ecologia do mesozooplâncton de um estuário semiárido tropical	Garcia	2012
33	Heterogeneidade espacial e temporal do zooplâncton em sistemas lóticos e lênticos da bacia hidrográfica do Lobo (Itirapina-Brotas/SP)	Freitas	2012
34	<i>Mesocyclops ogunnus</i> Onabamiro 1957 (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida): First report for northeastern Brazil	Cardôso et al.	2013
35	Padrões de coocorrência da assembleia de Copépodes (Crustacea) em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná/PR/MS.	Lopes Filho	2013
36	Reservoir design and operation: effects on aquatic biota—a case study of planktonic copepods	Perbiche-Neves & Nogueira	2013
37	Structure of the zooplankton communities in macrophytes stand of a Neotropical floodplain (the Paraná River, Brazil)	Colares et al.	2013
38	Copépodes (Crustacea, Calanoida, Cyclopoida) Planctônicos em Reservatórios Profundos e Dendríticos: efeitos do tempo de residência e da idade de formação	Perbiche-Neves et al.	2014

39	Estimating cyclopoid copepod species richness and geographical distribution (Crustacea) across a large hydrographical basin: comparing between samples ...	Perbiche-Neves et al.	2014
40	Estrutura da comunidade de copépodes (Crustacea, Copepoda) em área de reservatório com atividade de piscicultura em tanques-rede	Tibúrcio	2014
41	A comunidade zooplânctônica de rios amazônicos na área de influência da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio do Madeira, RO: diferentes abordagens no ...	Silva	2015
42	Alterações na estrutura da comunidade zooplânctônica e na morfologia de cladóceros relacionadas ao aumento no grau de trofia do reservatório da UHE de Furnas ...	Melo	2015
43	Comparação da diversidade da comunidade zooplânctônica ativa e dos ovos de resistência presentes no sedimento do reservatório da UHE de Furnas-MG	Coelho	2015
44	Efeitos do incremento de nutrientes sobre a comunidade de copépodes em um reservatório com tanques-rede	Tibúrcio et al.	2015
45	Estrutura da comunidade de copépodes (crustacea: copepoda) em um gradiente longitudinal ambiental no sistema rio-planície de inundação do Alto rio Paraná	Palhiarini	2016
46	Increases in microcrustaceans (Cladocera and Copepoda) associated with phytoplankton peaks in tropical reservoirs	Perbiche-Neves	2016
47	O papel do ambiente, espaço e uso de solo sobre a estruturação da composição funcional e taxonômica de comunidades fitoplanctônicas e zooplânctônicas em ...	Rocha	2016
48	Zooplankton community and tributary effects in free-flowing section downstream a large tropical reservoir	Portinho et al.	2016
49	Checklist of the free-living copepoda (Crustacea) from Mato Grosso do Sul state [Checklist dos copepoda (Crustacea) de vida livre do estado de Mato Grosso do Sul]	Rosa & Silva	2017
50	Comparison among zooplankton communities in hydrologically different lentic ecosystems	Stephan et al.	2017
51	Diferentes métricas da diversidade de organismos planctônicos têm respostas distintas à adição experimental de nutrientes.	Dittrich	2017
52	Estrutura da assembleia de copépodes (Crustacea: Copepoda) em um gradiente longitudinal ambiental em um sistema rio-planície de inundação tropical ...	Palhiarini et al.	2017
53	Occurrence of the Afro-Asian species <i>Mesocyclops ogunnus</i> Onabamiro, 1957 (Crustacea: Copepoda) in the Amazon River basin	Silva & Roche	2017
54	Zooplankton diversity in eutrophic systems and its relation to the occurrence of cyanophycean blooms	Matsumura-Tundisi et al.	2017
55	Efeito da predação do zooplâncton na estrutura da comunidade fitoplânctônica em uma lagoa rasa subtropical	Silva	2018
56	Restabelecimento da comunidade zooplânctônica em uma lagoa temporária Neotropical: regime hidrológico e formas de dormência.	Golec-Fialek	2018
57	Zooplankton community and their relationship with water quality in São Paulo State reservoirs	Picapedra et al.	2018
58	A thin temperature label reveals temporal changes in the zooplankton structure on a Neotropical floodplain	Mantovano et al.	2019
59	Estruturação funcional do zooplâncton no espaço e no tempo em uma planície de inundação Neotropical.	Braghin	2019

60	Heterogeneidade de habitats mantém alta substituição de traços funcionais do zooplâncton em um rio neotropical.	Ribeiro	2019
61	Preditendo os efeitos de tanques-rede sobre a estrutura da comunidade de microcrustáceos planctônicos (Cladocera e Copepoda) em um reservatório neotropical	Tibúrcio	2019
62	Zooplâncton como indicador da qualidade ambiental em reservatórios do estado de São Paulo	De-Carli et al.	2019
63	Distribuição potencial de <i>Mesocyclops ogunnus Onabamiro</i> 1957 (CRUSTACEA: COPEPODA: CYCLOPOIDA)	Cardoso	2020
64	Predação e estruturação de habitat por macrófitas modificam a diversidade taxonômica e funcional do zooplâncton.	Deosti	2020
65	Distribuição espacial, composição taxonômica e diversidade funcional de copepoda em águas doces do estado de São Paulo	Duarte	2021
66	Diversidade taxonômica e funcional do zooplâncton no Baixo Rio Doce (ES, Brasil): uma avaliação após o maior acidente com rejeito de mineração de ferro do Brasil ...	Paula	2021
67	Patterns of β diversity in aquatic ecosystems at different spatial and temporal scales.	Diniz	2021
68	Response of the zooplankton community to extreme hydrological variations in a temporary lake in a neotropical floodplain system	Golec-Fialek et al.	2021
69	A prolonged drought period reduced temporal β diversity of zooplankton, phytoplankton, and fish metacommunities in a Neotropical floodplain	Diniz et al.	2023
70	Human-induced pressures driving biodiversity and functioning of freshwater ecosystems.	Moi	2023