

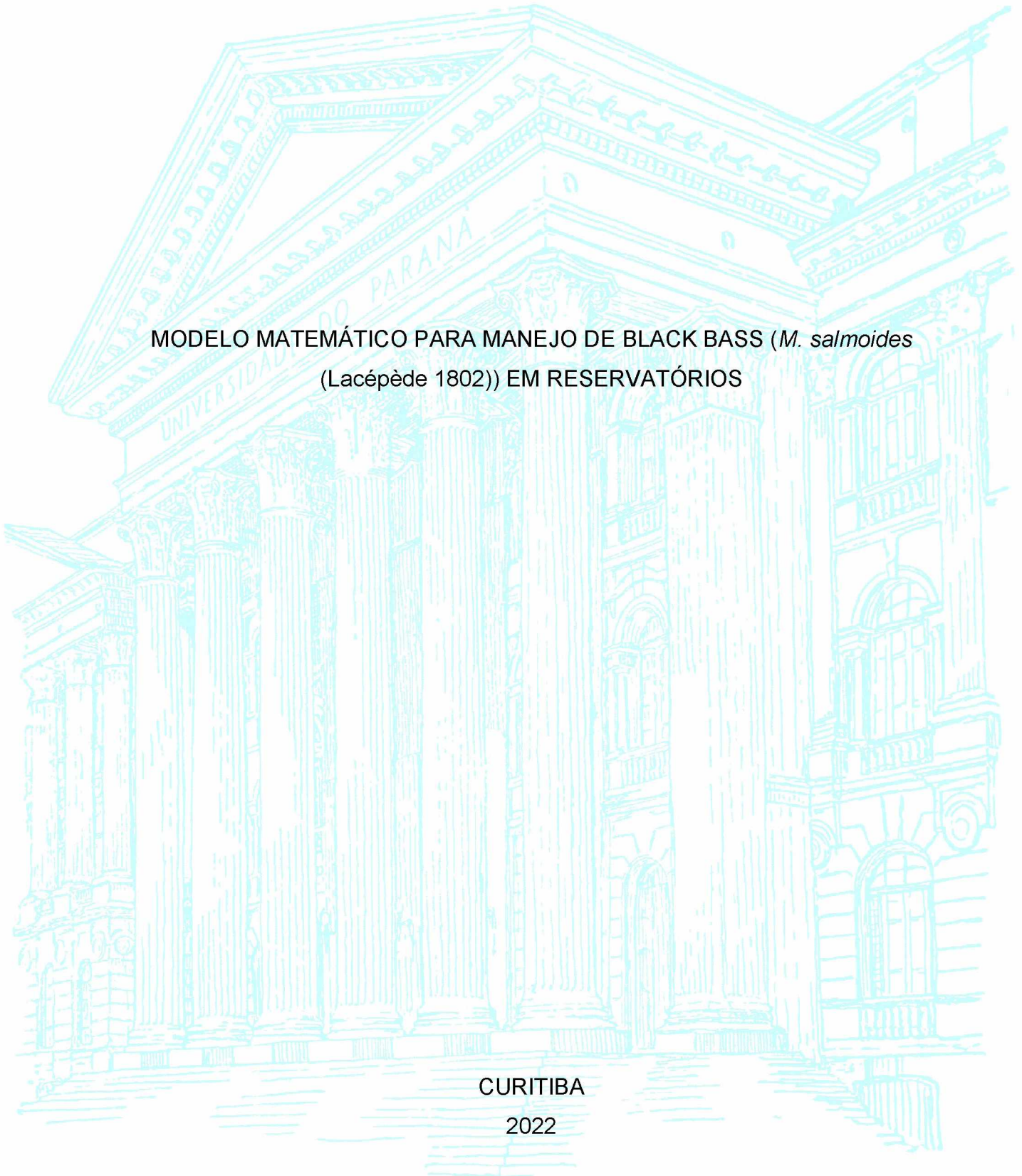
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDRÉ VINÍCIUS ROQUE CAVALCANTE

MODELO MATEMÁTICO PARA MANEJO DE BLACK BASS (*M. salmoides*  
(Lacépède 1802)) EM RESERVATÓRIOS

CURITIBA

2022



ANDRÉ VINÍCIUS ROQUE CAVALCANTE

MODELO MATEMÁTICO PARA MANEJO DE BLACK BASS (*M. salmoides*  
(Lacépède 1802)) EM RESERVATÓRIOS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Risso Errera

Coorientador: Prof. Dr. Jean R. S. Vitule

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Cavalcante, André Vinícius Roque

Modelo matemático para manejo de black bass (*M. salmoides*  
(Lacépède 1802) em reservatórios / André Vinícius Roque  
Cavalcante. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor  
de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Risso Errera

Coorientador: Prof. Dr. Jean Ricardo Simões Vitule

1. Reservatórios. 2. Bioinvasão. 3. Peixes (*Micropterus*  
*salmoides*). I. Errera, Marcelo Risso. II. Vitule, Jean Ricardo Simões.  
III. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Ambiental. IV. Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ANDRÉ VINÍCIUS ROQUE CAVALCANTE** intitulada: **MODELO MATEMÁTICO PARA MANEJO DE BLACK BASS (*M. salmoides* (Lacépède 1802)) EM RESERVATÓRIOS**, sob orientação do Prof. Dr. MARCELO RISSO ERRERA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 10 de Fevereiro de 2022.

Assinatura Eletrônica

23/02/2022 15:45:55.0

MARCELO RISSO ERRERA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

23/02/2022 16:40:42.0

EMILIO GRACILIANO FERREIRA MERCURI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

24/02/2022 08:39:48.0

RONALDO ANGELINI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE)

Dedico este trabalho aos meus Professores, aos Colegas da UFPR, aos meus familiares, especialmente ao meu esposo Jonatas Walter Becher e em memória de Tio José Airton Pereira dos Santos e de nossos Avós Juleuza Maria e Antônio Lopes Cavalcante e Almirinda de Jesus e Leones Walter.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos Professores Marcelo e Jean por aceitarem me orientar, serem instigantes, provocadores, propositores de ideias e leituras, gentis e generosos para reuniões, apoio e parcerias.

Aos Professores Ronaldo Angelini e Emílio G. F. Mercuri por compor minha banca de qualificação e defesa assim como por suas gentis e generosas contribuições.

Aos membros do PPGEA e demais PPGs da UFPR e o PPGCA - UTFPR que contribuíram direta e indiretamente para esse trabalho. Especialmente ao secretário Leonildo, aos colegas acadêmicos e profissionais Louise Kuana, Jonatha Matos, Claudia Gasparovic, Larissa Faria, João Bazzo, Denner Machado, Ellen Oliveira, Luiza Natalino, Márcio Carzino, Patrícia Charvet. E todos que fizeram parte direta ou indiretamente dessa jornada com sua gentileza, apoio e excepcionalidade inspiradora.

Aos profissionais de psicologia Paulo Coelho, João de Almeida, Árthemys Aires, Nayara Dall'Occo e Valeria Freitas, por seu trabalho de escuta, incentivo e apoio emocional.

Aos meus familiares, amigos e colegas de jornada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A todos o meu muito obrigado!

*Η Φύση δεν κάνει άλματα*  
*“A natureza não dá saltos”*  
*(Maximus de Tyrius, século II).*

## RESUMO

O estudo de espécies exóticas invasoras tem buscado cada vez mais abranger análises quantitativas de modelos ecológicos e econômicos para maximizar a eficiência do manejo. Publicações têm mostrado que os custos de longo prazo de cada invasão tornam imperativas as ações de manejo de espécies invasoras. Eventos como a superpopulação do voraz predador de topo *M. salmoides*, foco deste estudo, poderiam ser evitados com ações de detecção nos estágios iniciais do processo de invasão. Esta espécie está presente em vários reservatórios de abastecimento no sul do Brasil e, devido ao seu histórico de impactos globais, é uma espécie exótica invasora de alto risco ecológico, econômico e social. O que é de particular preocupação para reservatórios de abastecimento público. Assim, modelamos a dinâmica populacional com dados medidos por outros pesquisadores a fim dar subsídio inicial sobre o manejo da espécie através da identificação de padrões no manejo com as técnicas estudadas.

Palavras-chave: Manejo, Reservatório, *Micropterus salmoides*, Invasão biológica, Modelagem dinâmica populacional.



## **ABSTRACT**

The study of invasive alien species has increasingly sought to encompass quantitative analyses of ecological and economic models to maximize management efficiency. Publications have shown that the long-term costs of each invasion make invasive species management actions imperative. Events such as the overpopulation of the voracious top predator *M. salmoides*, the focus of this study, could be avoided with detection actions in the early stages of the invasion process. This species is present in several supply reservoirs in southern Brazil and, due to its history of global impacts, is an invasive alien species of high ecological, economic, and social risk. This is of particular concern for public supply reservoirs. Thus, we modeled the population dynamics with data measured by other researchers in order to provide initial input on the management of the species by identifying management patterns with the techniques studied.

Key-words: Management, Reservoir, *Micropterus salmoides*, Biological invasion, Population dynamics modeling.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RESERVATÓRIO (A) E DETALHE DO RESERVATÓRIO PASSAÚNA (B) .....	20
FIGURA 2 - <i>MICROPTERUS SALMODIES</i> .....	21
FIGURA 3 - EXEMPLO TEÓRICO DA REPRESENTAÇÃO DE DIFERENTES CLASSES ONTOGENÉTICAS OU ETÁRIAS DE UM ORGANISMO ATRAVÉS DE UM FLUXOGRAMA E A RESPECTIVA MATRIZ DE PROJEÇÃO DE LESLIE-LEFCOVITCH.....	25
FIGURA 4 - DESENHO ESQUEMÁTICO DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DE PEIXES ÓSSEOS (À ESQUERDA), EXEMPLAR DE <i>M. SALMOIDES</i> COM INDICAÇÃO DA MEDIDA DO COMPRIMENTO TOTAL (À DIREITA).....	27
FIGURA 5 – SIMPLIFICAÇÃO DA DINÂMICA DE VIDA DA ESPECIE <i>M. SALMOIDES</i> .....	32
FIGURA 6 – POPULAÇÃO DE FÊMEAS DE <i>M. SALMOIDES</i> SIMULADA AO LONGO DO TEMPO DE 24 TRIMESTRES.....	37
FIGURA 7 – POPULAÇÃO DE MACHOS DE <i>M. SALMOIDES</i> EM ESCALA LOG SIMULADA AO LONGO DO TEMPO DE 24 TRIMESTRES.....	38
FIGURA 8 – PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO DE FÊMEAS DE <i>M. SALMOIDES</i> EM ESCALA LOG SIMULADA AO LONGO DO TEMPO DE 48 TRIMESTRES.....	39
FIGURA 9 – PROPORÇÃO DE MACHOS DA POPULAÇÃO DE <i>M. SALMOIDES</i> EM ESCALA LOG SIMULADA AO LONGO DO TEMPO DE 48 TRIMESTRES. .....	40
FIGURA 10 – POPULAÇÃO DE FÊMEAS DE <i>M. SALMOIDES</i> NO TEMPO COM MANEJO POR REDE DE EMALHE.....	41
FIGURA 11 – POPULAÇÃO DE MACHOS DE <i>M. SALMOIDES</i> NO TEMPO COM MANEJO POR REDE DE EMALHE.....	42
FIGURA 12 – POPULAÇÃO DE FÊMEAS DE <i>M. SALMOIDES</i> NO TEMPO COM MANEJO POR VARA E ANZOL.....	43

FIGURA 13 – POPULAÇÃO DE MACHOS DE <i>M. SALMOIDES</i> NO TEMPO COM MANEJO POR VARA E ANZOL.....	44
FIGURA 14 – POPULAÇÃO DE FÊMEAS DE <i>M. SALMOIDES</i> NO TEMPO COM MANEJO POR PESCA ELÉTRICA.....	45
FIGURA 15 – POPULAÇÃO DE MACHOS DE <i>M. SALMOIDES</i> NO TEMPO COM MANEJO POR PESCA ELÉTRICA.....	46

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 1: M. SALMOIDES DA PREPARAÇÃO DO NINHO À FASE ADULTA.....	21
QUADRO 2: RESUMO DESCRITIVO DA ESPÉCIE <i>MICROPTERUS SALMOIDES</i> (BLACK BASS).....	22
TABELA 1: DESCRIÇÃO DO RESERVATÓRIO PASSAÚNA.....	19
TABELA 2: AMOSTRAGEM DE <i>M. SALMOIDES</i> NO LAGO CHICAMBA EM MOÇAMBIQUE – ÁFRICA DO SUL, IDENTIFICADOS POR IDADE EM MESES.....	28
TABELA 3: DADOS DA QUANTIDADE AMOSTRADA DE <i>M. SALMOIDES</i> EM FUNÇÃO DA FAIXA DE COMPRIMENTO TOTAL, EM MILÍMETROS, E DA IDADE, EM ANOS.....	28
TABELA 4: DADOS COLETADOS DE ACORDO COM TÉCNICA DE MANEJO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA. NÚMERO DE INDIVÍDUOS CAPTURADOS POR PESSOA POR HORA ( $\text{IND} \cdot (\text{P} \cdot \text{H})^{-1}$ ) E GRAMAS CAPTURADAS POR PESSOA POR HORA ( $\text{G}(\text{P} \cdot \text{H})^{-1}$ ).....	29
TABELA 5: DADOS COLETADOS COM TÉCNICA DE MANEJO NO RESERVATÓRIO DO IZUNUMA-UCHINUMA NÚMERO DE INDIVÍDUOS OU NINHOS CAPTURADOS POR PESSOA POR DIA OU ANO ( $\text{IND} (\text{P} \cdot \text{H})^{-1}$ ) E GRAMAS CAPTURADAS POR PESSOA POR HORA ( $\text{G} (\text{P} \cdot \text{H})^{-1}$ ).....	29
TABELA 6: PARÂMETROS USADOS NA DINÂMICA POPULACIONAL DA MATRIZ DE LESLIE.....	32
TABELA 7: CLASSIFICAÇÃO ONTOGENÉTICA DAS FASES DE <i>M. SALMOIDES</i> AVALIADAS.....	33
TABELA 8: CAPTURA POR UNIDADE DE ESFORÇO (CPUE OU H) POR TIPO DE CAPTURA.....	33

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
2.1 O RESERVATÓRIO.....	19
2.2 BLACK BASS - <i>MICROPTERUS SALMOIDES</i> .....	20
2.3 O MODELO DE DINÂMICA POPULACIONAL ESTRATIFICADO.....	22
<b>3 MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1 OS DADOS.....	27
3.2 O MODELO.....	30
3.3 DINÂMICA A SER ESTUDADA.....	32
3.3.1 SOLUÇÃO MATRICIAL.....	35
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
<b>5 DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>6 CONCLUSÃO E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>
APÊNDICE 1 - DESENVOLVIMENTO ALGÉBRICO DA DINÂMICA POPULACIONAL.....	56
APÊNDICE 2 – TABELA DA VIDA DA ESPÉCIE DE <i>M. SALMOIDES</i> .....	57
APÊNDICE 3 – CÓDIGO DO MODELO COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO.....	58

## 1 INTRODUÇÃO

Reservatórios de água doce são estruturas criadas para facilitar a gestão e o acesso à água com fim de abastecimento humano, aproveitamento na produção de energia, irrigação, evitar inundações, recreação e criação de animais, entre outros usos antrópicos (POMPEU 2002; MONCRIEF 2017). A água armazenada é inevitavelmente também o habitat de outros seres vivos como invertebrados, anfíbios, peixes e plantas aquáticas, e destes, muitos não são nativos do ecossistema ou região que se encontram (AGOSTINHO, GOMES & PELICICE 2007; BEZERRA *et al.* 2019).

Assembleias que ocupam corpos hídricos realizam funções ecológicas como controle de espécies, manutenção de determinadas populações e o controle de nutrientes (ATKINSON *et al.* 2016; NOBRE *et al.* 2019). Ao serem introduzidas espécies de outras regiões pode ser causado um desequilíbrio em toda a rede trófica (WALSH *et al.* 2016; Bezerra *et al.* 2019; Nobre *et al.* 2019), e consequente proliferação de algas a partir de maior biodisponibilidade de fósforo (P) e nitrogênio (N) que levam a eutrofização (HIGGINS, VANNI & GONZÁLES 2006; BOROS, TAKACKS & VANNI 2015; NOBRE *et al.* 2019). Essa tem como principais consequências a disseminação de substâncias tóxicas através da redução excessiva de oxigênio pela ação das algas verdes ou cianobactérias (CHISLOCK *et al.* 2013), o que prejudica o tratamento de água (CUNHA *et al.* 2013), eleva seus custos e ou inviabiliza a pesca comercial e recreativa (CHISLOCK *et al.* 2013).

Os processos de invasão em ecossistemas aquáticos podem acontecer pela soltura de espécies para pesca recreativa, transferência de água entre bacias, biocontrole, soltura de peixes ornamentais e aquicultura (ELLENDER & WEYL 2014).

Detectar novas populações é o primeiro passo para o manejo de espécies exóticas invasoras (PESTSMART 2021), uma vez que no ambiente existe grande dificuldade para serem controladas e tornam-se invasoras de impacto negativo (BRAGA *et al.* 2020). Algumas invasões, que começam a ser estudadas quantitativamente, estão associadas a perdas econômicas e de biodiversidade (BEEVER *et al.* 2019; CUTHBERT *et al.* 2021; DIAGNE *et al.* 2021), com impactos negativos sociais e econômicos, além dos ecológicos. Estes, por exemplo, pela inserção de salmonídeos em ambientes de todo o globo (BEEVER *et al.* 2019) que

levam a declínios populacionais, mudança de comportamento e restrição geográfica de espécies nativas (TOWNSEND 2003 *apud* BEEVER *et al.* 2019).

As consequências se estendem a espécies de topo de cadeia pelo processo de cascata trófica (ESTES *et al.* 2011; BEZERRA *et al.* 2019) que no caso dos centrarquídeos tem efeitos dramáticos de cima para baixo em teias aquáticas. Contudo, as pessoas podem se adaptar às espécies exóticas invasoras paralelamente aos seus impactos ecológicos, por sua apreciação social e econômica de curto prazo. Enquanto esses impactos se disseminam, as ações de manejo se tornam restritas técnica, econômica, organizacional e ou politicamente (BEEVER *et al.* 2019).

As técnicas usadas para conter ou mitigar os efeitos de invasões em reservatórios podem ser a inclusão ou exclusão por telas, remoção física por redes, gaiolas ou armadilhas, pescas esportiva, elétrica, subaquática, remoção química e controles biológico e integrado (ELLENDER & WEYL 2014; BRASIL 2019; PESTSMART 2021; FUJIMOTO *et al.* 2021). Essas estratégias exigem elevados custos e esforço em contraste com a prevenção e detecção de novas invasões, geralmente mais eficientes no início do processo (KAZUO 2016; CALIZZA *et al.* 2021), apesar de variarem segundo o grupo de organismos ou método utilizado (BEEVER *et al.* 2019). Para estimar populações alguns métodos são a captura-marcação e recaptura de indivíduos (RIBEIRO 2013; KREBS 2014; RIBEIRO *et al.* 2015; KAZUO 2016) e a contagem por análise visual (FREHSE *et al.* 2021).

Apresentar os custos de manejo e valores dos serviços ecossistêmicos realizados por espécies nativas atingidas pela invasão tem sido uma forma de incentivar gestores e população a apreciarem a importância dos ecossistemas e espécies nativas que contribuem para seu funcionamento (WALSH *et al.* 2016; DIAGNE *et al.* 2020; CALIZZA *et al.* 2021). Para estimar esses valores são necessários dados quantitativos obtidos a partir de medidas em campo que podem ser usados para fazer previsões com uso de recursos matemáticos (BERNSTEIN 2003; KAYFITZ & CASWELL 2005).

Entre os casos notáveis de peixes alóctones em biomas brasileiros está o *Micropterus salmoides*, espécie de peixe mundialmente estudada por seu potencial de adaptação em invasões e pela voracidade alimentar (ELLENDER & WEYL 2014; RIBEIRO *et al.* 2015; PEREIRA & VITULE 2019). Assídua em reservatórios neotropicais desde o início do século XX (GODOY 1954 *apud* RIBEIRO *et al.* 2015),

estudar a dinâmica populacional da espécie visa fornecer informações para capacitar tomadores de decisão avaliarem de um controle mais adequado. Isso se faz necessário no caso do reservatório de abastecimento público Passaúna, no sul do Brasil, em que estudos identificaram e analisaram a espécie (RIBEIRO *et al.* 2015; KAZUO 2016; BEZERRA *et al.* 2019; FREHSE, WEYL & VITULE 2021). Seja em virtude de repercussões negativas das invasões de *M. salmoides* (e.g. PEREIRA & VITULE 2019) ou ao fato da espécie ter invadido diversos reservatórios subtropicais brasileiros, particularmente os de abastecimento (e.g. FREHSE, HARGROVE, WEYL & VITULE 2019; FREHSE *et al.* 2021). Ou, ainda, devido aos seus efeitos de cascata trófica e consequências via efeito top-down nas teias aquáticas, potenciais para eutrofização (ATKINSON *et al.* 2016; NOBRE *et al.* 2019; BEZERRA *et al.* 2019). Essas consequências justificam a necessidade de avaliar diferentes técnicas de controle e manejo das populações da espécie (RIBEIRO *et al.* 2015).

Técnicas como a remoção de desovas da espécie através de ninhos artificiais (*Artificial Spawning Bed* - ASB) associadas à captura com redes de mergulho e de ajuste em tambor mostraram-se capazes de reduzir a população de invasoras e a recuperação de outras (FUJIMOTO *et al.* 2021). Fato também já observado na erradicação de *Smallmouth bass* por LOPPNOW *et al.* (2013) *apud* FUJIMOTO *et al.* (2021).

Neste sentido, ainda há lacunas de ferramentas numéricas de apoio à decisão para manejos ecológicos, seja pelo controle ou eliminação completa de populações. Assim, este projeto desenvolveu um modelo matemático para verificar os efeitos de diferentes técnicas de manejo sobre a dinâmica populacional de *M. salmoides*, a partir de dados coletados no reservatório Passaúna e na literatura. Dessa forma, pretende-se responder uma questão fundamental e muito relevante: é possível e viável manejar a população de *M. salmoides* nos reservatórios?



## 1.1 JUSTIFICATIVA

Visto que o *M. salmoides* é uma espécie exótica invasora de alto risco de impacto em potencial, já identificada em reservatórios de abastecimento brasileiros, especialmente no reservatório Passaúna (RIBEIRO *et al.* 2015; DAGA *et al.* 2016; KAZUO 2016; FREHSE *et al.* 2019; FREHSE *et al.* 2021); considerando não haver manejo de espécies exóticas invasoras no reservatório e a capacidade das mesmas causarem prejuízos econômicos por seu efeito na teia trófica, consequente aumento de algas, redução da diversidade e aumento dos custos ou inviabilidade do tratamento de água (ATKINSON *et al.* 2016; NOBRE *et al.* 2019); visto que avaliações econômicas de longo prazo permitem inferir consequências da ação ou omissão na gestão de espécies exóticas invasoras em reservatórios de abastecimento, propomos a realização de uma análise do manejo da espécie *M. salmoides* através do estudo de caso no reservatório Passaúna, em Curitiba, Brasil.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver um modelo matemático sendo consideradas as alternativas de manejo, controle e critérios que restrinjam a dinâmica de invasão populacional de *M. salmoides* no reservatório Passaúna.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Realizar revisão de literatura sobre a espécie *M. salmoides* como espécie exótica invasora em ambientes neotropicais, para obter dados biológicos a serem usados na construção do modelo;

b) Desenvolver um modelo matemático e simulador da dinâmica populacional estratificado para diferentes fases da história de vida da espécie, considerando diferentes estágios ontogenéticos: ovo-alevinos, alevinos-juvenis, juvenis-adultos, adultos maduros e adultos-senecentes.

c) Incorporar e simular no modelo matemático da dinâmica populacional diferentes técnicas de manejo estudadas na literatura.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

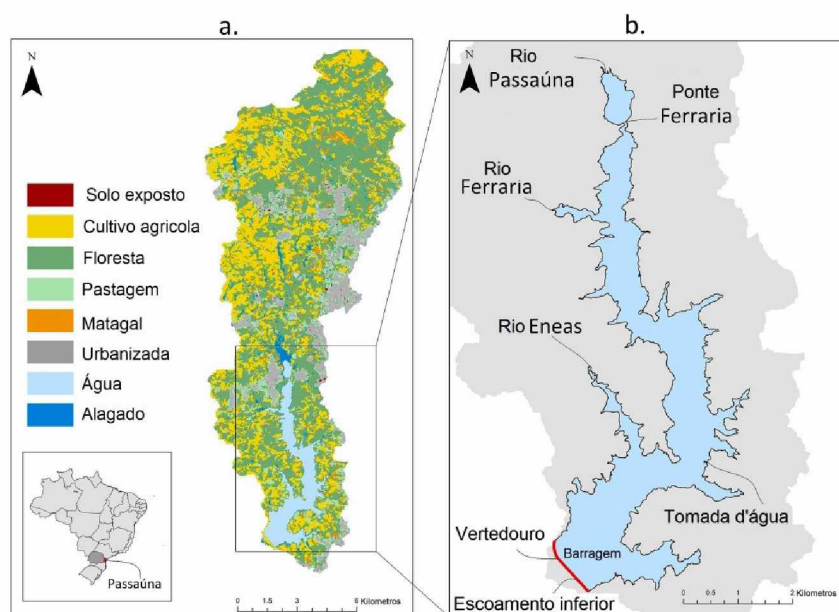
### 2.1 O RESERVATÓRIO

O reservatório Passaúna (FIGURA 1) está localizado na região sul do Brasil no estado do Paraná (DAGA *et al.* 2016). Ele pertence à bacia do rio Passaúna que é uma sub-bacia do Alto Rio Iguaçu (SAUNITTI, FERNADES & BITTENCOURT 2004). Localiza-se no Primeiro Planalto Paranaense entre os paralelos 25°15' e 25°35' Sul e os meridianos 49°25' e 49°20' Oeste (SOTIRI *et al.* 2020). A barragem foi construída entre os anos de 1986 e 1989, enchida a partir de 1990 (SAUNITTI *et al.* 2004) e inaugurada em 1991, com operação pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

O reservatório tem capacidade de 71,6 hm<sup>3</sup>, área superficial de 8,5 km<sup>2</sup>, profundidade média de 8,3 m e máxima de 17,5 m, eixo longitudinal de 10 km e 1 km de largura, tempo de residência de 292 dias e tem como principal afluente o rio Passaúna (CARNEIRO, KELDERMAN & IRVINE 2016; RUAEN *et al.* 2018; ONO, MANNICH, BLENNINGER E HILGERT 2020). Ele abastece os municípios de Araucária, Campo Largo, Campo Magro e Curitiba (ANA 2010), com capacidade máxima de 2,0 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> e atendimento a cerca de 500 mil habitantes, 30% da população regional, com água potável (RAUEN *et al.* 2018 e SOTIRI *et al.* 2020). Entre outros usos está a irrigação de produções rurais e atividades de esporte e lazer (RIBEIRO 2013).

Nos anos de 2009 a 2013, o Órgão Ambiental do Paraná (IAT) classificou o reservatório Passaúna como corpo d'água Oligotrófico e Moderadamente Degradado (devido à longa e frequente ocorrência de períodos de déficit de oxigênio no hipolímnio) (INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ 2017 *apud* SOTIRI 2020).

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RESERVATÓRIO (A) E DETALHE DO RESERVATÓRIO PASSAÚNA (B).



FONTE: SOTIRI *ET AL.* 2021, ADAPTADA.

TABELA 1 - DESCRIÇÃO DO RESERVATÓRIO PASSAÚNA

RESERVATÓRIO PASSAÚNA				
Bacia	Sub-bacia		Principal afluente	
Rio Passaúna	Rio Iguaçú		Rio Passaúna	
Construção	Enchimento		Inauguração	
1986-1989	1990		1991	
Abastecimento	Público atendido		Vazão de saída	
4 municípios	500.000 habitantes		2,0 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	
Volume	Área superficial	ymédio	ymáx.	T
71,6 hm <sup>3</sup>	8,5 km <sup>2</sup>	8,3 m	17,5 m	292 dias
Classificação			Gestora	
Oligotrófico e moderadamente degradado			SANEPAR	

FONTE: AUTOR 2022.

## 2.2 BLACK BASS - *Micropterus salmoides*

A espécie *M. salmoides* (Lacépède 1802) é nativa da América do Norte, mas está presente em muitos países (LATINI *et al.* 2016; PEREIRA & VITULE 2019). Esta espécie tem sido encontrada em reservatórios, rios e mesmo em estuários (ELLENDER & WEYL 2014; WEYL & HECHT 1999; TAYLOR & WEYL 2017;

FREHSE *et al.* 2019 e 2021). Uma das suas principais características é sua alta voracidade e ser predadora de topo (RIBEIRO 2013, STEED 2018).

Segundo Latini *et al.* (2016) a espécie apresenta 10 espinhos na nadadeira dorsal e de 12 a 14 raios e três espinhos na nadadeira anal de 10 a 12 raios. Tem boca grande, com o maxilar à frente dos olhos. A nadadeira caudal apresenta 17 raios de coloração bastante variada. A cor do peixe é verde-oliva no dorso e branco no ventre, com faixa lateral (LATINI *et al.* 2016, STEED 2018) e estágios ontogenéticos da espécie ilustrados na FIGURA 2 e QUADRO 1. Detalhes são apresentados na QUADRO 2.

FIGURA 2 - *MICROPTERUS SALMODIES*.



FONTE: DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS EUA APUD. BRIDGES & BESTER 2021.

QUADRO 1 - *M. SALMOIDES* DA PREPARAÇÃO DO NINHO A FASE ADULTA.

				
<i>M. Salmoides</i> limpa ninho (FONTE: MICHIGAN SCIENCE ART, 2003)	Ovos de <i>M. salmoides</i> (FONTE: FUJIMOTO <i>et al.</i> 2021)	<i>M. Salmoides</i> adulto protege o ninho. (FONTE: TWARDEK, W. em LUELL, S. 2020)	<i>M. Salmoides</i> juvenil (FONTE: SEELIG C. 2007)	<i>M. Salmoides</i> adulto. (FONTE: BASSONLINE 2020)

FONTE: AUTOR 2021.

QUADRO 2 - RESUMO DESCRITIVO DA ESPÉCIE *MICROPTERUS SALMOIDES* (BLACK BASS).

ESPÉCIE <i>MICROPTERUS SALMOIDES</i> (BLACK BASS)				
Ordem	Família	Gênero	Espécie	
Perciforme	Centrarchidae	<i>Micropterus</i>	<i>salmoides</i>	
Origem		Presença		
Norte dos EUA e sul do Canadá		Em todo o mundo		
Habitat Natural				
Águas doces, claras e calmas (rios grandes e pequenos, pântanos, piscinas de riachos, remansos, lagoas, lagos, represas e estuários (com salinidade até 13 ppt))				
Habitat preferencial		Latitude preferencial		
Bento pelágico		Subtropical		
Temperaturas (° C)		pH		
Entre 10 e 32		Entre 7,0 e 7,5		
Compr. méd. (mm)	Compr. máx.(mm)	Peso máx. (kg)	Idade máx. (anos)	
400	970	10,1	23	
Fase ontogenética de acordo com idade (dias) - baseado na literatura				
Ovos	Larvas	Juvenis L <sub>50</sub>	Juvenis Adultos	Adultos maduros
0 – 10	11 – 29	30 – 1824	1825 – 3650	> 3651
Fase ontogenética de acordo com a medida em milímetros (mm) – dados amostrais				
Alevinos	Juvenis	Juvenis L <sub>50</sub>	L <sub>100</sub>	Adultos maduros
3	5,9 – 6,3	141 – 160	181 – 200	> 200
Acasalamento				
Fêmea promiscua		Macho prepara ninho e aguarda		
Ambiente de acasalamento				
Temperatura ideal (° C)	Temperatura (° C)		Estação do ano	
> 15	5 a 37		Primavera	
Local	Profundidade (m)		Incubação (dias)	
Águas rasas e lamacentas	0,25 a 2,03		29	
Alimentação				
Alevinos	Juvenis		Jovens adultos e adultos	
Zooplâncton e insetos da ordem Hemiptera	Crustáceos, insetos e peixes menores.		Peixes, sapos e lagostins.	
Natural			Artificial	
Garças e Martim-pescador.			Pescadores humanos e uso como iscas.	

FONTE: RIBEIRO 2013 e 2015, STEED 2018, FROESE & PAULY 2021, BRIDGES & BESTER 2021.

### 2.3 O MODELO DE DINÂMICA POPULACIONAL ESTRATIFICADO

Em 1945, P.H. Leslie propôs em artigo intitulado “*On the use of matrices in certain population mathematics*” na revista *Biometrika*, um modelo para crescimento do número de fêmeas em uma população animal, estratificado em faixas etárias da população e adaptado dos trabalhos de Lotka no tempo discreto (BACAER 2011). Nele a população é dividida em  $K+1$  grupos, o número de fêmeas de idade  $k$  no tempo  $n$  com  $k=0,1,\dots,K$  e  $n=0,1,\dots$  é dado por  $P_{k,n}$ , a fertilidade na idade  $k$  ou mais precisamente o número de filhas fêmeas nascidos por fêmea entre o tempo  $n$  e  $n+1$  é dada por  $f_k$ ,  $K$  é a idade máxima com fertilidade maior que zero ( $f_k > 0$ ) e  $s_k$  é a probabilidade de um animal de idade  $k$  sobreviver até ao menos a idade  $k+1$ . Como apresentado no sistema a seguir.

$$\begin{aligned} P_{0,n+1} &= f_0 P_{0,n} + f_1 P_{1,n} + \dots + f_K P_{K,n} \\ P_{1,n+1} &= s_0 P_{0,n} \\ P_{2,n+1} &= s_1 P_{1,n} \\ P_{K,n+1} &= s_{K-1} P_{K-1,n} \end{aligned}$$

Todos os números  $f_k$  são não negativos enquanto  $s_k$  satisfaz  $0 < s_k < 1$ . O sistema de equações passa a ser representado abreviadamente por  $P_{k,n+1} = M_{k,0} P_{0,n} + M_{k,1} P_{1,n} + \dots + M_{k,K} P_{K,n}$ , para todo  $k$ , ou seja,

$$P_{n+1} = M P_n \quad (1).$$

Nela,  $P_{n+1}$  e  $P_n$  são vetores coluna da população futura e atual, e  $M$  é a matriz quadrada  $(K+1, K+1)$ .

Para entender o comportamento do sistema como função do tempo, Leslie usou a solução geométrica de crescimento e decrescimento  $P_n = r^n Y$ , na qual  $r$  e o vetor  $Y$  devem satisfazer a Equação 2.

$$M Y = r Y \quad (2).$$

Nesse caso  $r$  é chamado de autovalor e  $Y$  de autovetor da matriz  $M$ . O problema é encontrar a distribuição etária  $Y$ , que a cada passo de tempo multiplica a constante  $r$ , e segundo Lotka, são chamadas de distribuições estáveis. A solução é usualmente escrita pelos passos *i*, *ii* e *iii* a seguir (BACAER 2011).

$$f_0 Y_0 + f_1 Y_1 + \dots + f_k Y_k = r Y_0 \quad (i),$$

$$s_0 Y_0 = r Y_1, s_1 Y_1 = r Y_2, \dots, s_{k-1} Y_{k-1} = r Y_k \quad (ii),$$

$$Y_1 = \frac{s_0 Y_0}{r}, Y_2 = \frac{s_0 s_1 Y_1}{r^2}, \dots, Y_k = \frac{s_0 s_1 \dots s_{k-1} Y_{k-1}}{r^k} \quad (iii).$$

Após fazer as devidas substituições, temos a Equação 3 a seguir.

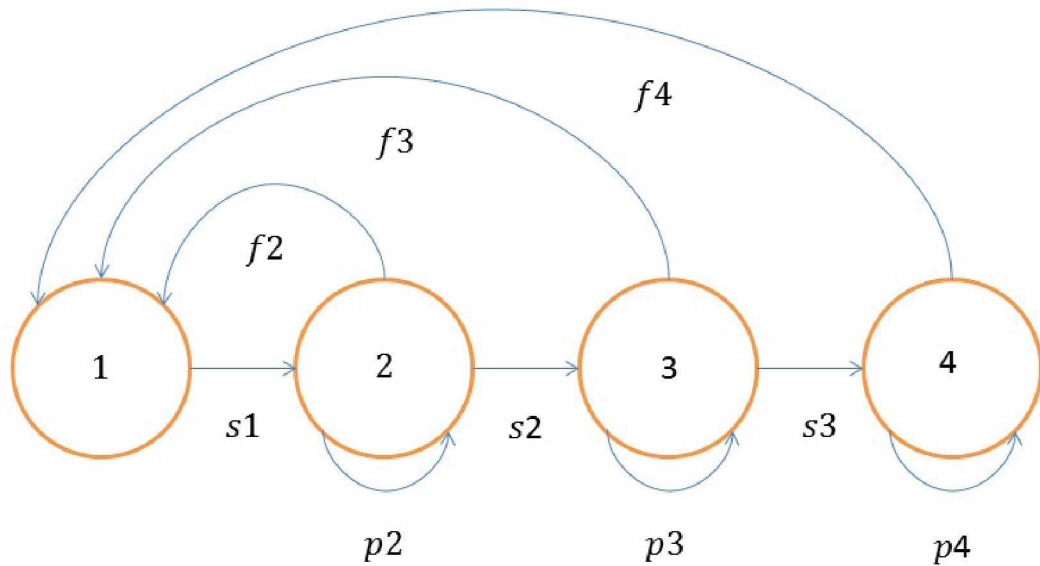
$$r^{k+1} = f_0 r^k + s_0 f_1 r^{k-1} + s_0 s_1 f_2 r^{k-2} + \dots + s_0 s_1 \dots s_{k-1} f_k \quad (3).$$

Ela é a equação polinomial em  $r$  de grau  $k+1$ , com raízes reais e complexas  $r_1, \dots, r_{K+1}, r_{K+1}$ . Leslie ainda noticiou que existe uma raiz real positiva chamada  $r_1$ . Cada componente do vetor de idade estruturado  $P_n$  aumenta ou decresce com  $(r_1)^n$ . Se  $r_1 > 1$ , então a população aumenta exponencialmente. Se  $r_1 < 1$ , então a população decresce exponencialmente. Para a equação 3, a condição  $r_1 > 1$  é verdadeira se e somente se  $R_0$ , definido por  $R_0 = f_0 + s_0 f_1 + s_0 s_1 f_2 + \dots + s_0 s_1 \dots s_{k-1} f_k$ , for maior que 1. Então,  $R_0$  será o número de filhas nascidas por fêmea ao longo de toda a sua vida.

Esse modelo pode ser ilustrado pela FIGURA 3, onde os círculos representam os estágios da história de vida e as setas as transições possíveis e a contribuição de cada um dos estágios na fertilidade global da população.



FIGURA 3 - EXEMPLO TEÓRICO DA REPRESENTAÇÃO DE DIFERENTES CLASSES ONTOGENÉTICAS OU ETÁRIAS DE UM ORGANISMO ATRAVÉS DE UM FLUXOGRAMA E A RESPECTIVA MATRIZ DE PROJEÇÃO DE LESLIE-LEFCOVITCH.



$$M = \begin{vmatrix} 0 & f_2 & f_3 & f_4 \\ s_1 & p_2 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & p_3 & 0 \\ 0 & 0 & s_3 & p_4 \end{vmatrix}$$

FONTE: AUTOR 2021.

Para isso, Leslie (1942) e Lefcovitch (1965) propuseram complementarmente um formato que descreve a representação da FIGURA 3. A fecundidade de cada estágio  $f_k$ , a probabilidade de permanecer no mesmo estágio  $s_k$  e a probabilidade de passar para a próxima fase de vida  $p_k$  são representadas para cada estágio de vida  $k$ , em uma matriz quadrada  $K+1$  por  $K+1$ , a matriz  $M$ . Assim, a transição de abundância entre períodos discretos ocorre simplesmente pelas operações matriciais sucessivas da Equação 1.

O modelo de Leslie-Lefcovitch é alimentado diretamente por uma tabela de vida da população estudada (BERNSTEIN 2003; BEGON, TOWNSEND & HARPER 2007). Informação que é organizada para cada novo estágio e identificada, por exemplo, através dos comprimentos laterais em peixes (BERNSTEIN 2003). Esses dados permitem inferir sobre a capacidade reprodutiva e podem ser obtidos a partir de medidas coletadas.

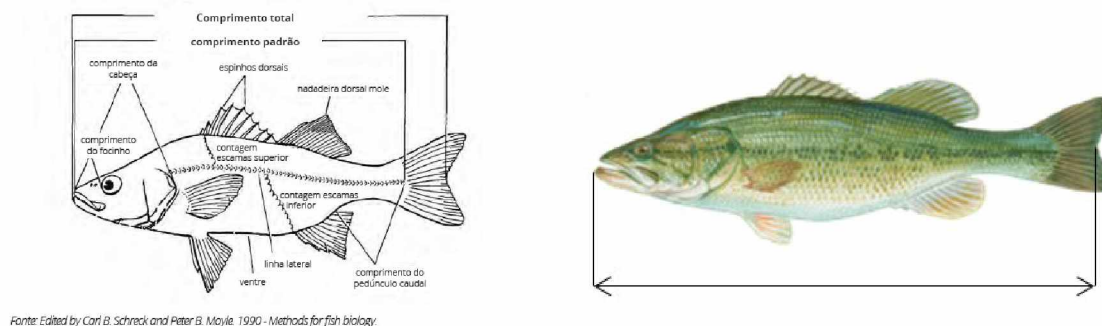
Neste trabalho o modelo original de Leslie-Lefkovich proposto é enriquecido com dados de captura por unidade de esforço (CPUE) em diferentes estágios de vida da espécie *M. salmoides* no ambiente aquático do reservatório Passaúna. De forma que o CPUE é utilizado para prever a distribuição etária estável e taxa de crescimento da população. A tabela de vida para a espécie é criada a partir dos dados obtidos em trabalhos de campo e da revisão de literatura (RIBEIRO *et al.* 2015, FREHSE *et al.* 2021).

### 3 MÉTODOS

Para realização de previsões matemáticas, foram usados dados da seção *M. salmoides*, obtidos através do Portal FishBase (FROESE & PAULY 2021), dados coletados em regiões subtropicais do lago Chicamba em Moçambique na África Austral (WEYL & HECHT 1999), do reservatório Passaúna em Curitiba, no Brasil (RIBEIRO *et al.* 2015 e FREHSE *et al.* 2021) e do Reservatório do Izunuma-Uchinuma no Japão (FUJIMOTO *et al.* 2021).

Para classificar as espécies capturadas, foram utilizadas médias das medidas de comprimento total, que se dá desde o lábio até a forquilha do rabo do peixe, como indicado na FIGURA 4.

FIGURA 4 - DESENHO ESQUEMÁTICO DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DE PEIXES ÓSSEOS (À ESQUERDA), EXEMPLAR DE *M. SALMOIDES* COM INDICAÇÃO DA MEDIDA DO COMPRIMENTO TOTAL (À DIREITA).



FONTE: BRASIL 2016 E BASSONLINE 2021, ADAPTADAS.

#### 3.1 OS DADOS

Os dados utilizados para realização da dinâmica são de coletas amostrais de *M. salmoides* realizadas no lago Chicamba em Moçambique (África Austral), Reservatório Passaúna (Brasil) e Reservatório do Izunuma-Uchinuma no Japão. Em todas as áreas analisadas a espécie foi introduzida e teve o desenvolvimento comprovado através de amostragem em diferentes fases ontogenéticas. O período amostral em Chicamba foi entre outubro de 1995 e setembro de 1996, no Passaúna entre dezembro de 2010 e setembro de 2011 e Izumuna-Ichinuma entre outubro de 2001 a 2009, conforme TABELAS 2, 3, 4 e 5 a seguir.

TABELA 2 - AMOSTRAGEM DE *M. SALMOIDES* NO LAGO CHICAMBA EM MOÇAMBIQUE – ÁFRICA DO SUL, IDENTIFICADOS POR IDADE EM MESES.

Idade (meses)	Num. De indiv.	Faixa de comprimento (mm)	Médias +- erro
1	815	30-97	57,5 +- 6,8
2	302	57-115	69,5 +- 17,6
3	149	69-120	86,1 +- 8,7
4	211	104-180	121,7 +- 10,8
5	31	90-212	161,5 +- 22,6
6	40	155-217	176,0 +- 14,7
7	44	95-260	201,0 +- 26,5

FONTE: HELTCH & WEYL 1999, ADAPTADA.

TABELA 3 - DADOS DA QUANTIDADE AMOSTRADA DE *M. SALMOIDES* EM FUNÇÃO DA FAIXA DE COMPRIMENTO TOTAL, EM MILÍMETROS, E DA IDADE, EM ANOS.

Faixas de comprimento total (mm)	Quantidade amostral (indiv.) por idade (anos)					
	0	1	2	3	4	5
41-290	78	0				
219-300	5	1				
301-310	3	6				
311-320	3	2				
321-330	2	8				
331-340		16	1			
341-350		18	4			
351-360		17	1			
361-370		3				
371-380			3			
391-400			2			
401-410			8			
411-420			10	2		
421-430			11	5	1	
431-440			9	5		
441-450			8	6		
451-460			4	5	2	
461-470			3		1	1
471-480				3	1	
481-490				2		
491-500				3	1	
501-510			1			1
511-520					1	
521-530						
531-540						1

FONTE: HELTCH & WEYL 1999, ADAPTADA.

TABELA 4 - DADOS COLETADOS DE ACORDO COM TÉCNICA DE MANEJO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA. NÚMERO DE INDIVÍDUOS CAPTURADOS POR PESSOA POR HORA (INDIV. (P H)<sup>-1</sup>) E GRAMAS CAPTURADAS POR PESSOA POR HORA (G (P H)<sup>-1</sup>).

Dados Ribeiro <i>et al.</i> 2015	Manejo		
	Vara e anzol	Pesca elétrica	Rede emaranhada
Total de indivíduos	313	167	9
Esforço de captura (indiv. (p h) <sup>-1</sup> )	0,065	0,089	0,0015
Efetividade (g(p h) <sup>-1</sup> )	24	0,958	0,526
Tamanho Méd. (mm)	219	63	216
Tamanho Min.(mm)	72	22	101
Tamanho. Max (mm)	450	183	353
Erro da medição (mm)	2,74	4,51	24,85
Indiv. nativos capt.	4	471	791
Período amostral (meses)	22	12	9

FONTE: RIBEIRO *et al.* 2015, ADAPTADA.

TABELA 5 - DADOS COLETADOS COM TÉCNICA DE MANEJO NO RESERVATÓRIO IZUNUMA-UCHINUMA. NÚMERO DE INDIVÍDUOS OU NINHOS CAPTURADOS POR PESSOA POR DIA OU ANO (INDIV. (P H)<sup>-1</sup>) E GRAMAS CAPTURADAS POR PESSOA POR HORA (G (P H)<sup>-1</sup>).

Período	Manejo			CPUE (Indiv. Rede <sup>-1</sup> )
	Rede	Rede emalhe	Cama de desova artificial	
2001	3	-	-	
2002	9	-	-	
2003	12	-	-	
2004	5	-	122	
2005	8	-	252	
2006	2	-	228	
2007	3	2,1	123	2,15
2008	2	1	162	1,10
2009	2	0,6	105	0,70
Período amostral (meses)	108	36	72	

FONTE: FUJIMOTO *et al.* 2021, ADAPTADA.

### 3.2 O MODELO

A matriz da dinâmica populacional é representada na Equação 4, a seguir. Em que  $P_{t+1}$  representa o vetor da população estimada,  $P_{k,t+1}$  a população estimada no tempo futuro ( $t+1$ , de cada estágio de vida  $k$ .  $M$ , é a matriz dos coeficientes de fecundidade  $f_k$ , probabilidade de permanência no estágio nos  $p_k$  e  $s_k$  a probabilidade de passar para o próximo estágio de vida,  $P_k$ , é a população atual, no tempo  $t$  para cada estágio de vida  $k$ .

$$P_{t+1} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}_{t+1} = M P_t = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 \\ s_1 & p_2 & 0 \\ 0 & s_2 & p_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}_t \quad (4).$$

Na ausência dos parâmetros  $f_k$ ,  $p_k$  e  $s_k$ , da população em estudos eles podem ser estimados (para detalhes ver FEDERICO & CANZIANI 2005), porém em no nosso caso foram usados os dados coletados e estimados a partir das coletas realizadas por outros pesquisadores.

Primeiramente, foi testada a dinâmica populacional com os dados obtidos por outros pesquisadores, a fim de verificar o comportamento da espécie no reservatório e se atendia ao crescimento esperado para populações de peixes, do Tipo III (GOTELLI 2009).

Para inserir os dados de captura no modelo da dinâmica populacional foram usados os CPUEs, obtidos por amostragem de Ribeiro *et al.* (2015) e FUJIMOTO *et al.* (2021), através da do termo de captura, dado pela Equação 5.

$$H P_{t+1} = H (M P_t) \quad (5).$$

Nesta,  $H$  é matriz diagonal, composta de  $h_k$ , que são os indivíduos extraídos da classe  $k$ ,  $M$  é a matriz principal e  $P_t$  é o vetor do número de indivíduos por classe  $k$ , em um dado tempo,  $t$ .

Assim, para estimar o vetor  $P_{t+1}$ , do número de indivíduos em cada classe com inclusão do termo de captura usamos a Equação 6. Nela,  $M$ , é a matriz

principal específica de cada transição, produto com o vetor  $P_t$  menos o termo de captura dado pela Equação 5.

$$P_{t+1} = M P_t - H(M P_t) \quad (6).$$

Seja  $I$  a matriz identidade  $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  e  $C$  é equivalente à  $M(I-H)$ , podemos

reescrever a Equação 6, como no conjunto solução apresentado em (7).

$$P_{t+1} = (M - HM) P_t = M(I - H) P_t$$

$$\hookrightarrow M \begin{bmatrix} 1-h_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1-h_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1-h_3 \end{bmatrix} P_t \quad (7).$$

Considerando que a espécie desova uma vez ao ano (conforme seção 2.2) podemos estimar as seções de captura conforme Equações 8 e montar cenários, para um período ou mais de pesca ou captura no ano (FEDERICO & CANZIANI 2005).

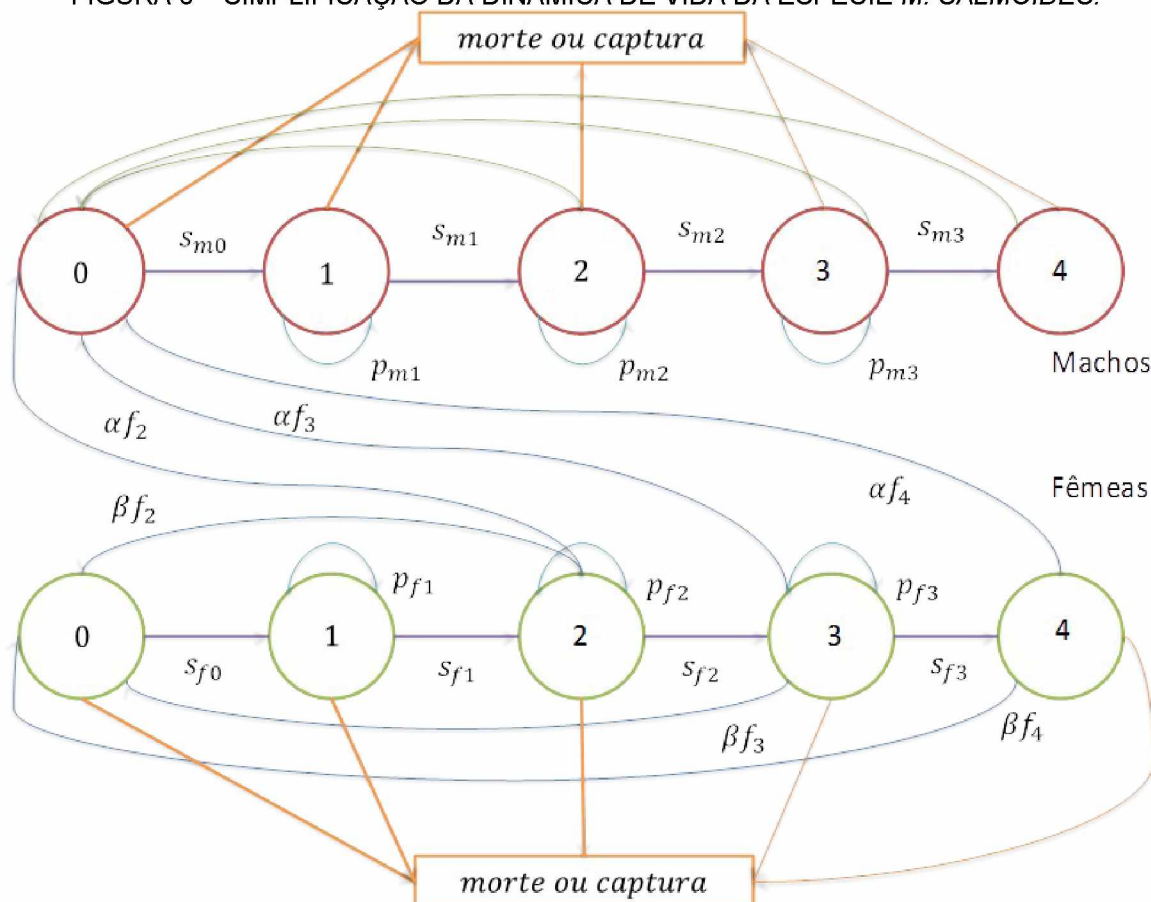
$$P_{t+1} = M(I - H) P_t = C P_t \quad (8)$$

O modelo conta com dados de captura (CPUE) mensais para pesca elétrica, com redes e pesca com iscas artificiais no reservatório Passaúna de dezembro de 2010 a setembro de 2012 (RIBEIRO *et al.* 2015), dados de capturas anuais de 2001 a 2009 no lago Izunuma-Uchinuma com capturas por rede de mergulho, ajuste e camas de desova artificiais (ASB) (FUJIMOTO *et al.* 2021). E com informações amostrais realizadas de outubro de 1995 a novembro de 1996 no lago Chicamba na África Austral (WEYL & HECHT, 1999), além de dados consolidados pela literatura.

### 3.3 DINÂMICA A SER ESTUDADA

Esse estudo usa a dinâmica de machos e fêmeas da espécie uma vez que seu sucesso reprodutivo envolve cuidado parental e esse comportamento é ilustrado pelas relações da FIGURA 5 a seguir.

FIGURA 5 – SIMPLIFICAÇÃO DA DINÂMICA DE VIDA DA ESPECIE *M. SALMOIDES*.



FONTE: AUTOR, 2022.

TABELA 6 – PARÂMETROS USADOS NA DINÂMICA POPULACIONAL DA MATRIZ DE LESLIE.

Parâmetro	Significado
$k=0,1,2,3e4.$	Fase ontogenética (ovos-alevinos, alevino-juvenis, juvenis-adultos, adultos-maduros e adultos-senescentes).
$f_k$	Fertilidade por idade, filhos por fêmea entre $n$ e $n+1$ .
$p_k$	Permanência na fase ontogenética atual.
$s_k$	Probabilidade do animal de idade $k$ sobreviver até $k+1$ .
$\alpha e(\alpha - 1)$ ou $\beta$	Proporções fêmeas e de machos respectivamente.

FONTE: AUTOR, 2021.



O modelo usado é considera a morte dos indivíduos em todas as fases ontogenéticas, assim como, fêmeas e machos começam a atuar reprodutivamente a partir da fase dois. Os indivíduos foram classificados de acordo com o comprimento total e tempo de vida em cinco fases ontogenéticas, de C0 a C4.

TABELA 7 – CLASSIFICAÇÃO ONTOGENÉTICA DAS FASES DE *M. SALMOIDES* AVALIADAS.

Classificação	Fase ontogenética	Tamanho (mm)	Idade (trimestre)	Classe etária
C0	Ovo-alevinos	1,5 a 5,0	0 a 0,5	1
C1	Alevino-juvenis	5 a 70	0,5 a 1,0	2
C2	Juvenil-adultos	70 a 190	1,0 a 3,0	3
C3	Adulto-maduros	190 a 430	3,0 a 20,0	4
C4	Adultos-senescentes	430 a 520	20,0 a 24,0	5

FONTE: AUTOR 2022.

A classificação foi baseada no crescimento das espécies para os diferentes estudos analisados, e complementarmente o tempo de cada fase, de acordo com dados de Hetch e Weyle (1999), Beamish *et al.* (2004) e Ribeiro *et al.* (2015).

São ovo-alevinos os menores que 5 mm, alevino-juvenis os maiores que 5 e menores que 70 mm, juvenis-adultos de 70 a 190 mm, adulto-maduros aqueles com medidas entre 190 e 430 mm, e os maduro-senescentes aqueles entre 430 e 520 mm.

A classificação contemplou ainda machos e fêmeas ( $C_k M$  e  $C_k F$ , sendo  $k$  a fase ontogenética) devido ao comportamento de cuidado parental do macho e desova em vários ninhos da fêmea.

TABELA 8 – CAPTURA POR UNIDADE DE ESFORÇO (CPUE OU H) POR TIPO DE CAPTURA.

Identificação	Tipo de Captura	Captura por unidade de esforço (CPUE ou H) $I(P h)^{-1}$
H1	Rede de Emalhe	0,0015
H2	Vara e anzol	0,065
H3	Pesca elétrica	0,089
H4	Cama de desova	2,15
H5	Rede menor	1,1

$I(P h)^{-1}$  = Indivíduo capturado (pessoa hora)<sup>-1</sup>

FONTE: AUTOR 2022.

A captura por unidade de esforço pode ser usada em diferentes situações. Segundo Ribeiro (2013) e Fujimoto *et al.* (2021) as redes de emalhe servem apenas para indivíduos adultos-maduros, porém foi pouco eficiente pela alta visibilidade dos reservatórios, as redes menores são uteis na captura de indivíduos alevino-juvenis. Vara e anzol foi uma técnica permitiu captura de indivíduos juvenis-adultos, adultos-maduros e adultos-senescentes, atraídos pelas iscas, segundo Ribeiro. Assim como, pesca elétrica foi efetiva para indivíduos alevinos-jovens. E de acordo com dados de Fjimoto a cama de desova mostrou-se eficiente para os indivíduos em fase de ovo-alevinos.

Uma vez coletados os dados através de ampla pesquisa bibliográfica foi possível esboçar a tabela de vida da espécie, vide APÊNDICE 2, simplificada nas cinco classificações selecionadas. Com uso de instruções algébricas do Modelo de Leslie (detalhadas no APÊNDICE 1) e complementarmente do recurso computacional software livre para cálculo de matrizes, Octave versão 5.2.0, foi projetada a dinâmica por passos trimestrais para a espécie.

A projeção que contou com o uso de ambos os sexos uma vez que existe cuidado parental decisivo na sobrevivência dos indivíduos mais recém-nascidos e mais novos. Assim foi modelada a dinâmica populacional para machos e fêmeas subdivididas em cinco classes ontogenéticas para um período de 24 trimestres.

### 3.3.1 SOLUÇÃO MATRICIAL

$$P_{n+1} = M P_n$$

$$M = \begin{pmatrix} p_{m0} & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha f_2 & 0 & \alpha f_3 & 0 & \alpha f_n \\ 0 & p_{f0} & 0 & 0 & 0 & \beta f_2 & 0 & \beta f_3 & 0 & \beta f_n \\ s_{m0} & 0 & p_{m1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_{f0} & 0 & p_{f1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_{m1} & 0 & p_{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{f1} & 0 & p_{f2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{m2} & 0 & p_{m3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{f2} & 0 & p_{f3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{mn-1} & 0 & p_{mn} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{fn-1} & 0 & p_{fn} \end{pmatrix}$$

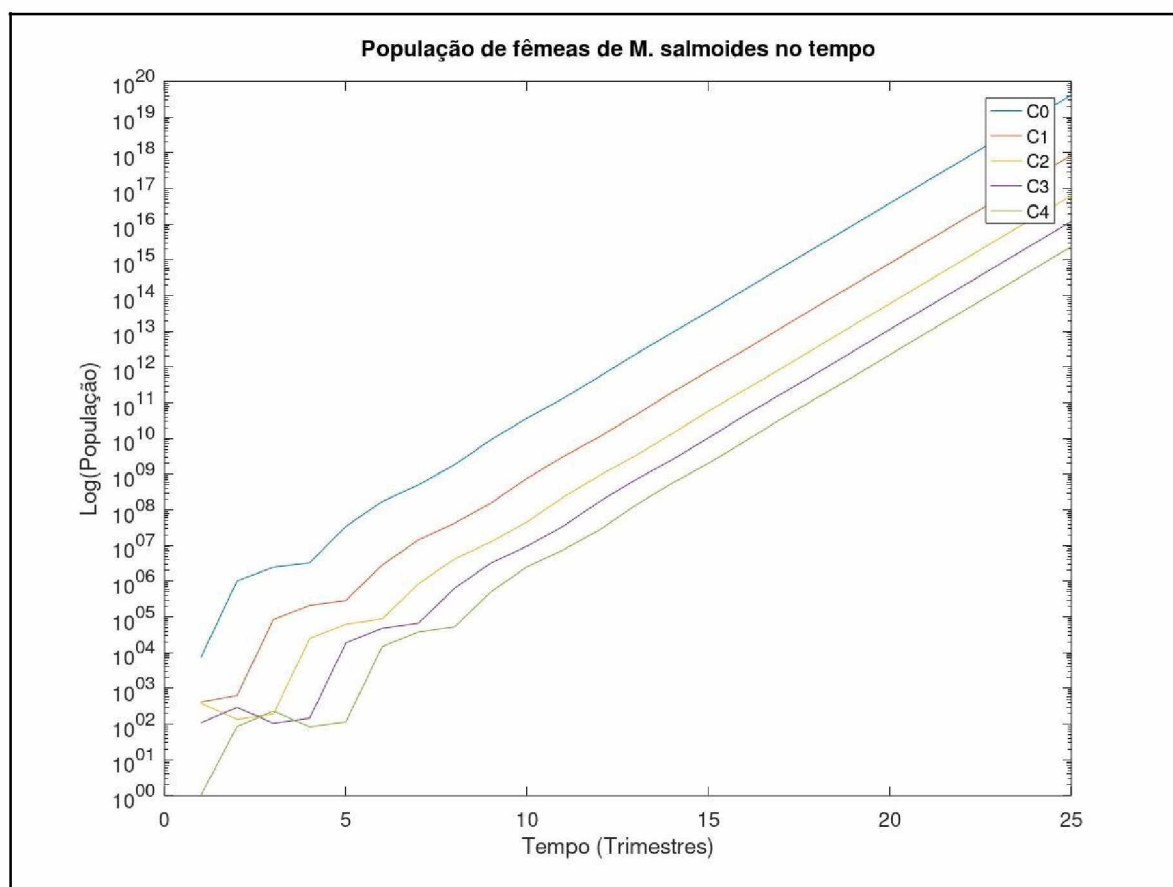
$$\begin{pmatrix} P_0 \\ P'_0 \\ P_1 \\ P'_1 \\ P_2 \\ P'_2 \\ P_3 \\ P'_3 \\ P_n \\ P'_n \end{pmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ t+1 \end{matrix} = \begin{pmatrix} p_{m0} & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha f_2 & 0 & \alpha f_3 & 0 & \alpha f_n \\ 0 & p_{f0} & 0 & 0 & 0 & \beta f_2 & 0 & \beta f_3 & 0 & \beta f_n \\ s_{m0} & 0 & p_{m1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_{f0} & 0 & p_{f1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_{m1} & 0 & p_{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{f1} & 0 & p_{f2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{m2} & 0 & p_{m3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{f2} & 0 & p_{f3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{mn-1} & 0 & p_{mn} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{fn-1} & 0 & p_{fn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_0 \\ P'_0 \\ P_1 \\ P'_1 \\ P_2 \\ P'_2 \\ P_3 \\ P'_3 \\ P_n \\ P'_n \end{pmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ t \end{matrix}$$



## 4 RESULTADOS

Na análise realizada por este trabalho foram estudadas 13 fases ontogenéticas segregadas simplificada em 5 classes de fases ontogenéticas que são representadas abaixo.

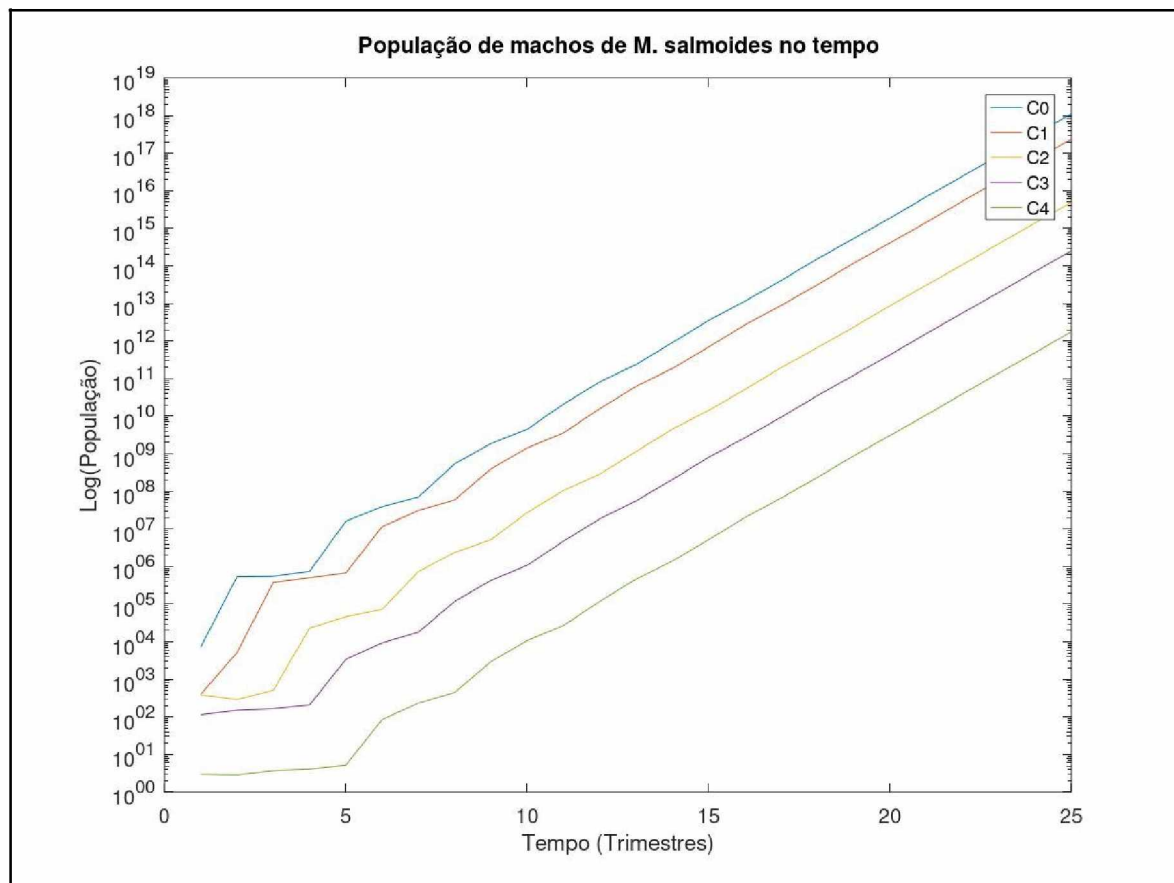
FIGURA 6 – POPULAÇÃO DE FÊMEAS DE *M. SALMOIDES* SIMULADA AO LONGO DO TEMPO DE 24 TRIMESTRES.



FONTE: AUTOR 2022.

Segundo o gráfico da Figura 6 a população aumenta com o passar do tempo de forma exponencial, linearmente representada na função log, com um pouco de oscilação antes do décimo trimestre, e destaque para a curva de C4 que começa com o menor valor e logo alcança o comportamento das demais.

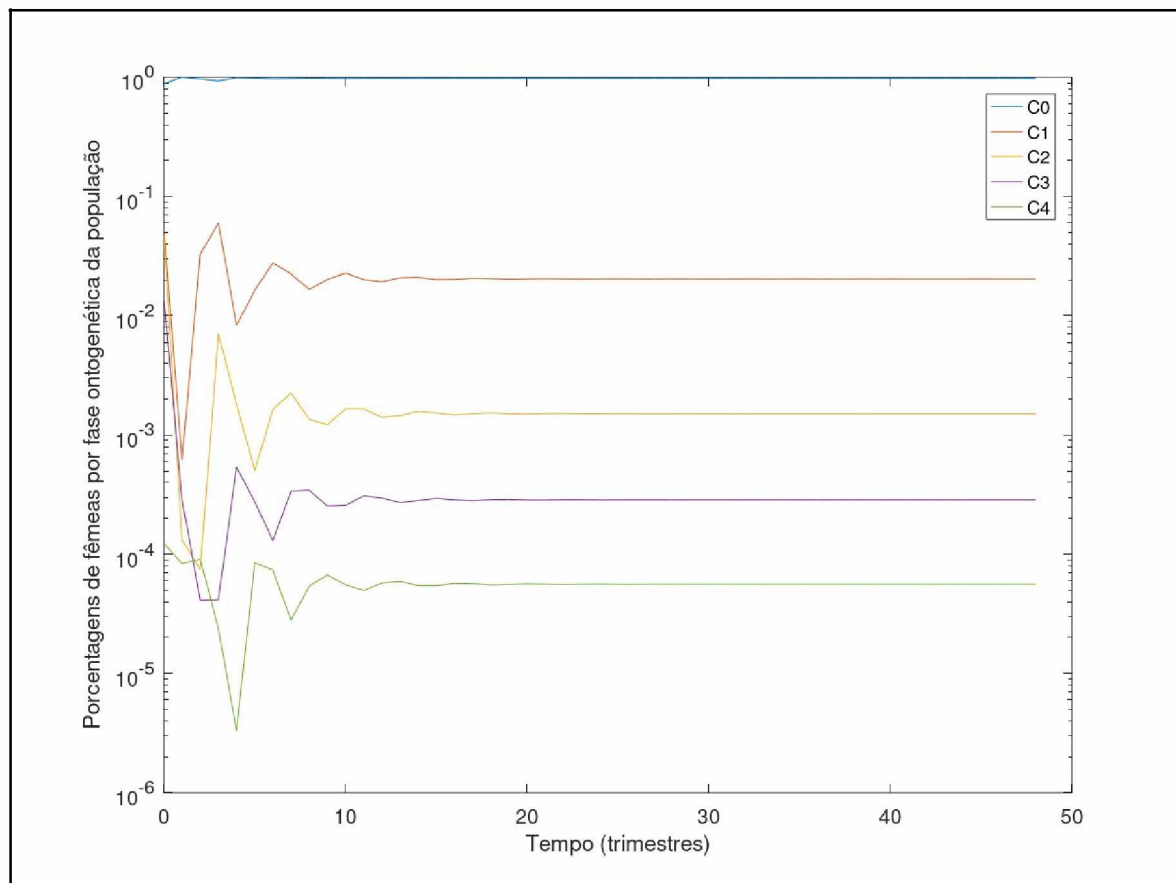
FIGURA 7 – POPULAÇÃO DE MACHOS DE M. SALMOIDES EM ESCALA LOG SIMULADA AO LONGO DO TEMPO DE 24 TRIMESTRES.



FONTE: AUTOR 2022.

Na Figura 7 o crescimento da população dos indivíduos machos tem comportamento similar ao das fêmeas, porém com a curva C4 diferindo do comportamento das demais e de forma geral um comportamento estável leva mais tempo para ocorrer.

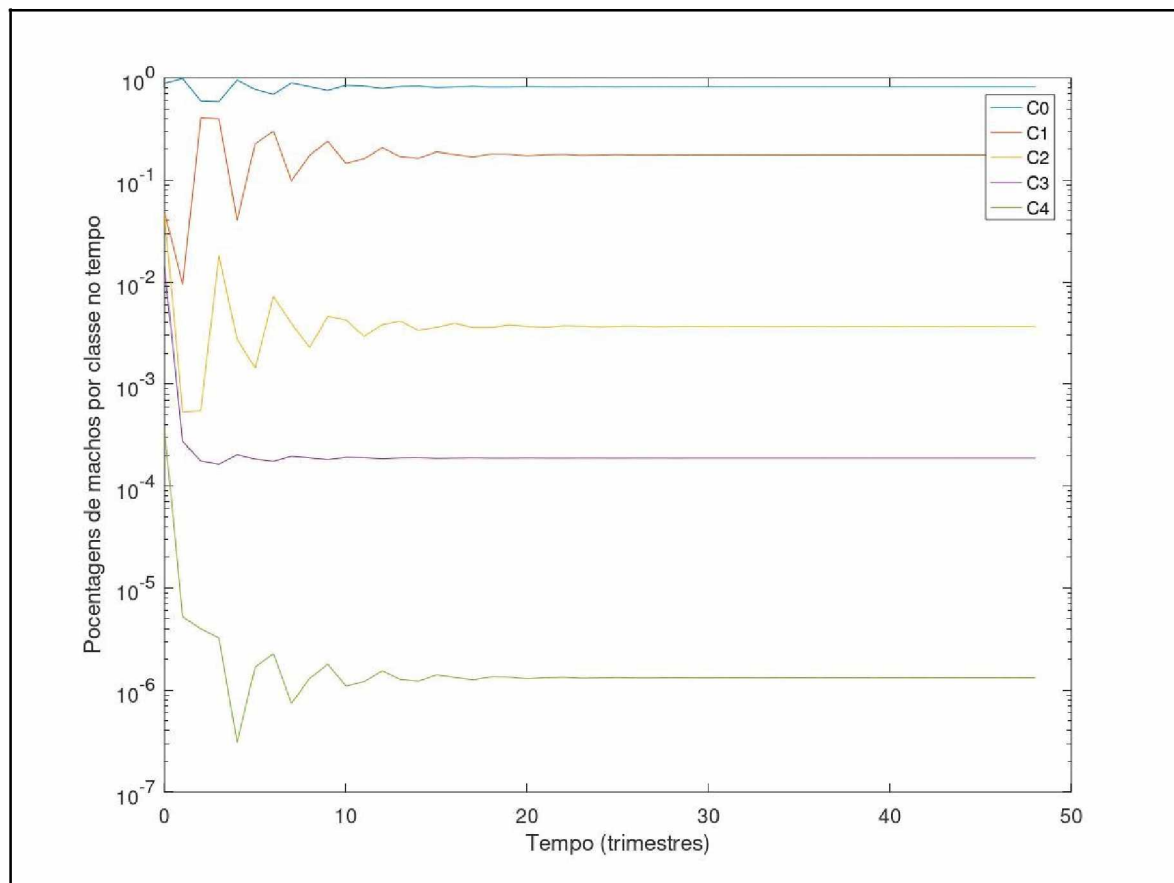
FIGURA 8 – PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO DE FÊMEAS DE M. SALMOIDES EM ESCALA LOG SIMULADA AO LONGO DO TEMPO DE 48 TRIMESTRES.



FONTE: AUTOR 2022.

A Figura 8 apresenta a porcentagem da população de fêmeas em cada fase ontogenética no tempo e tendendo a estabilidade após o vigésimo trimestre, proporcionalmente menor quanto maior a idade da fase.

FIGURA 9 – PROPORÇÃO DE MACHOS DA POPULAÇÃO DE *M. SALMOIDES* EM ESCALA LOG SIMULADA AO LONGO DO TEMPO DE 48 TRIMESTRES.



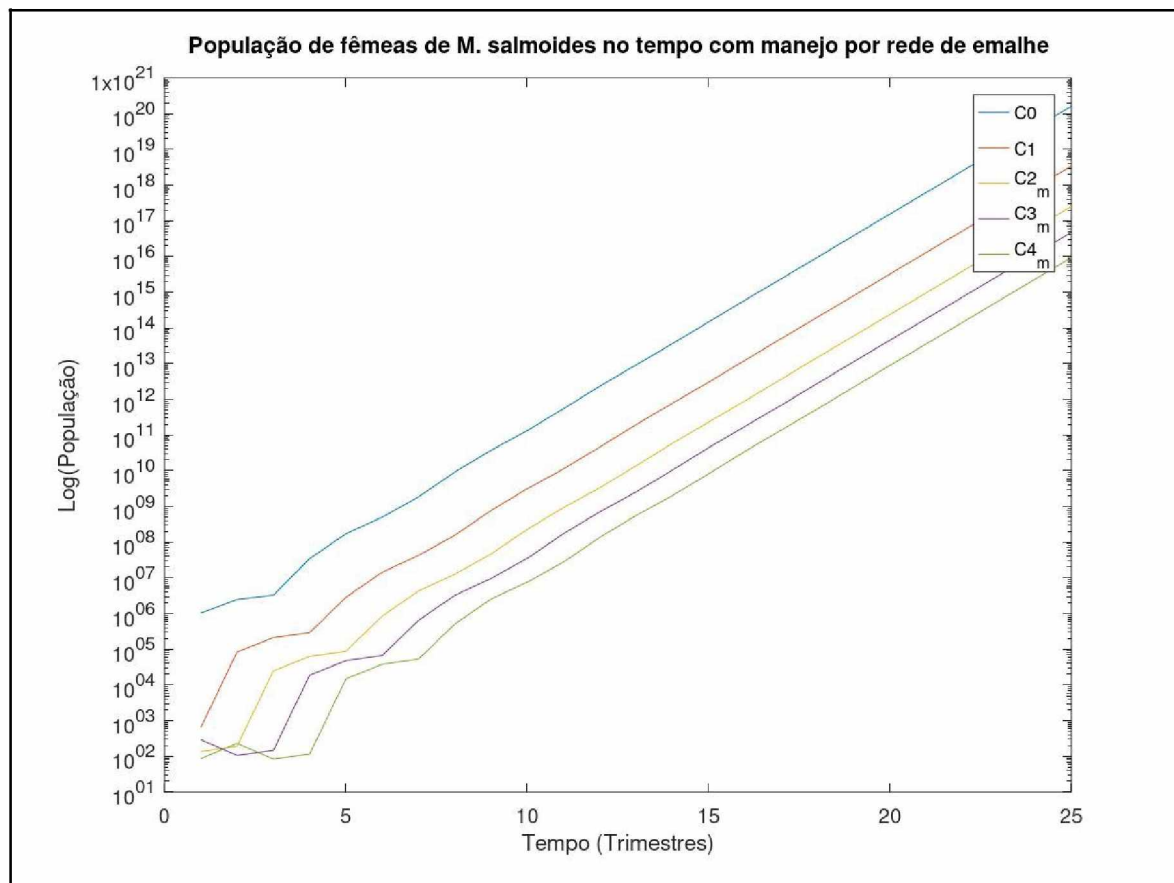
FONTE: AUTOR 2022.

A Figura 9 apresenta a porcentagem da população de machos em cada fase ontogenética no tempo de 48 trimestres com maior espectro de distribuição na escala log.

Então, foi implementado o manejo para suas respectivas classes de atuação conforme apresentado nos gráficos a seguir.



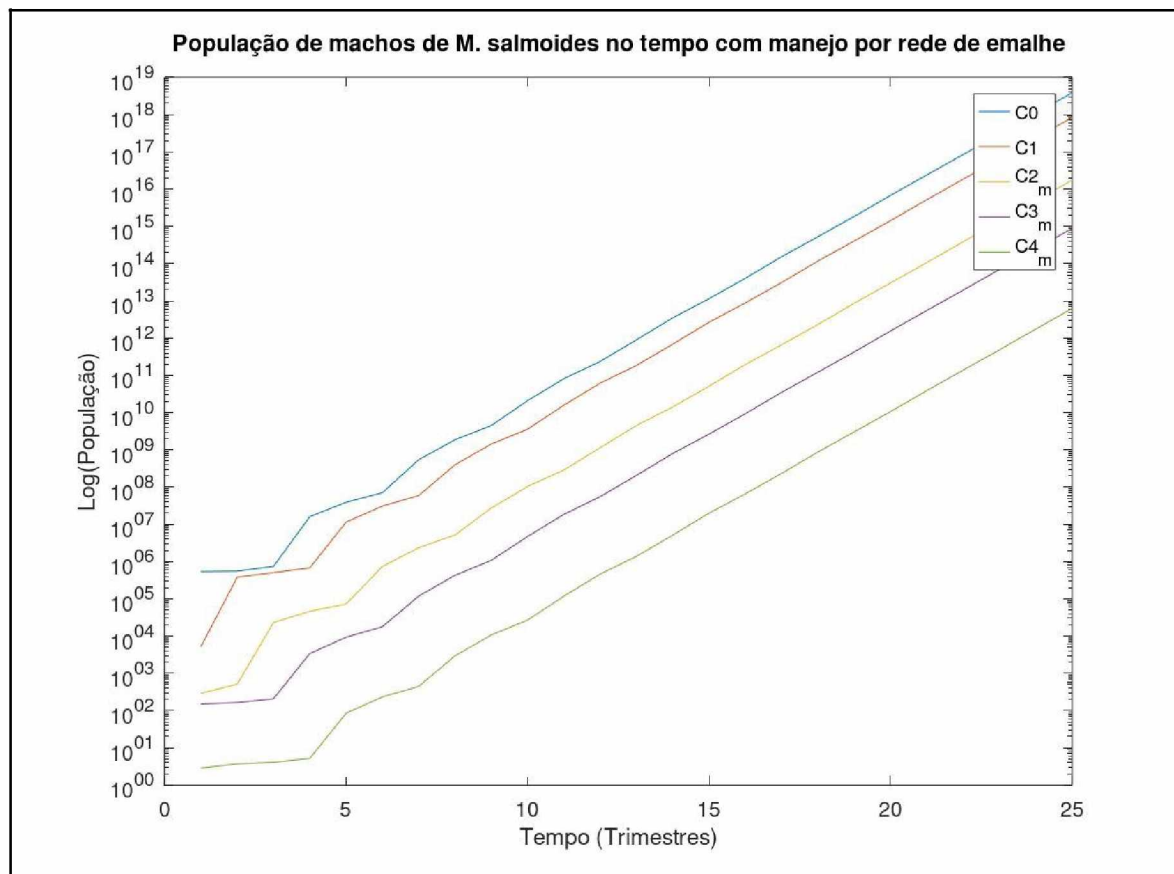
FIGURA 10 – POPULAÇÃO DE FÊMEAS DE *M. SALMOIDES* NO TEMPO COM MANEJO POR REDE DE EMALHE.



FONTE: AUTOR 2022.

Na Figura 10 é apresentado o cenário de manejo através de rede de emalhe para a população de fêmeas. Com mudança na dinâmica inicial quando comparada a população sem manejo.

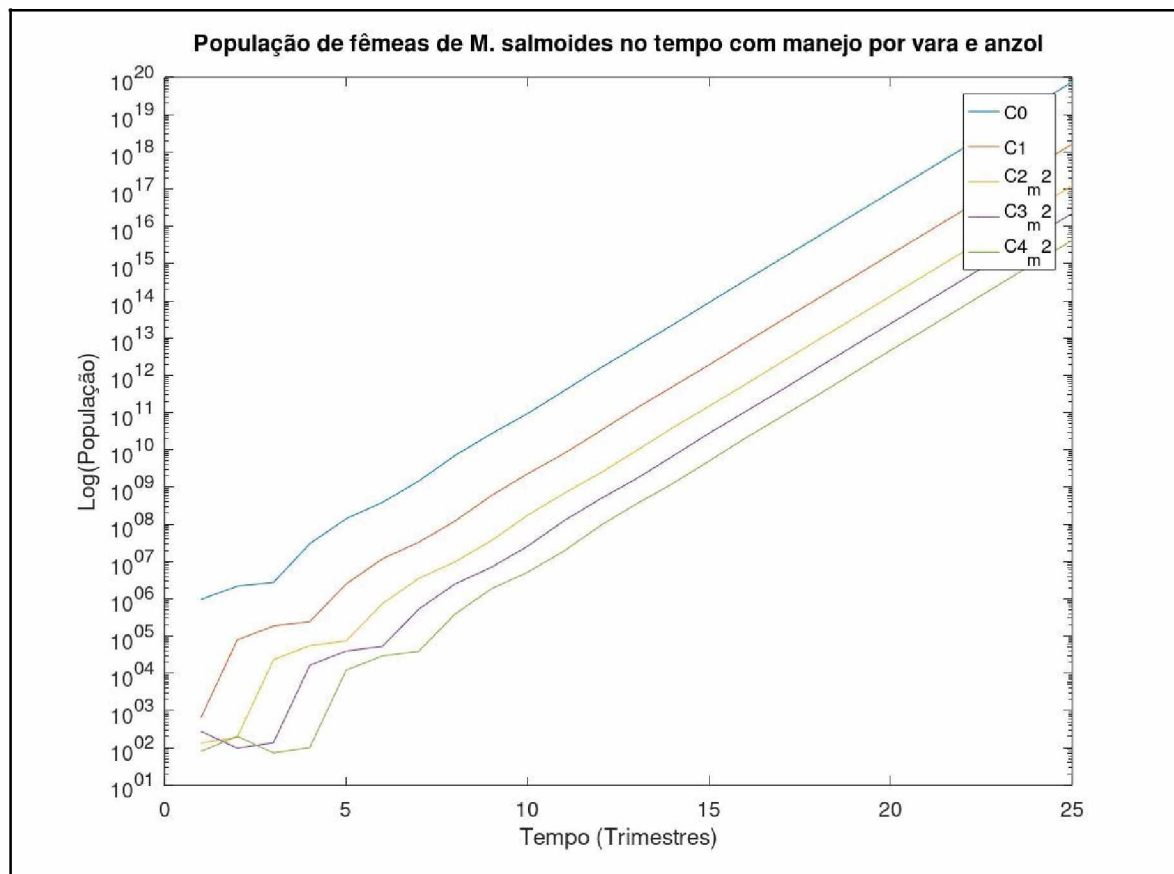
FIGURA 11 – POPULAÇÃO DE MACHOS DE *M. SALMOIDES* NO TEMPO COM MANEJO POR REDE DE EMALHE.



FONTE: AUTOR 2022.

No primeiro cenário de manejo da população de machos apresentado na Figura 11 destaca-se o a mudança nas classes C1 e C2 no início da dinâmica, com uma ordem de grandeza em relação a dinâmica sem manejo.

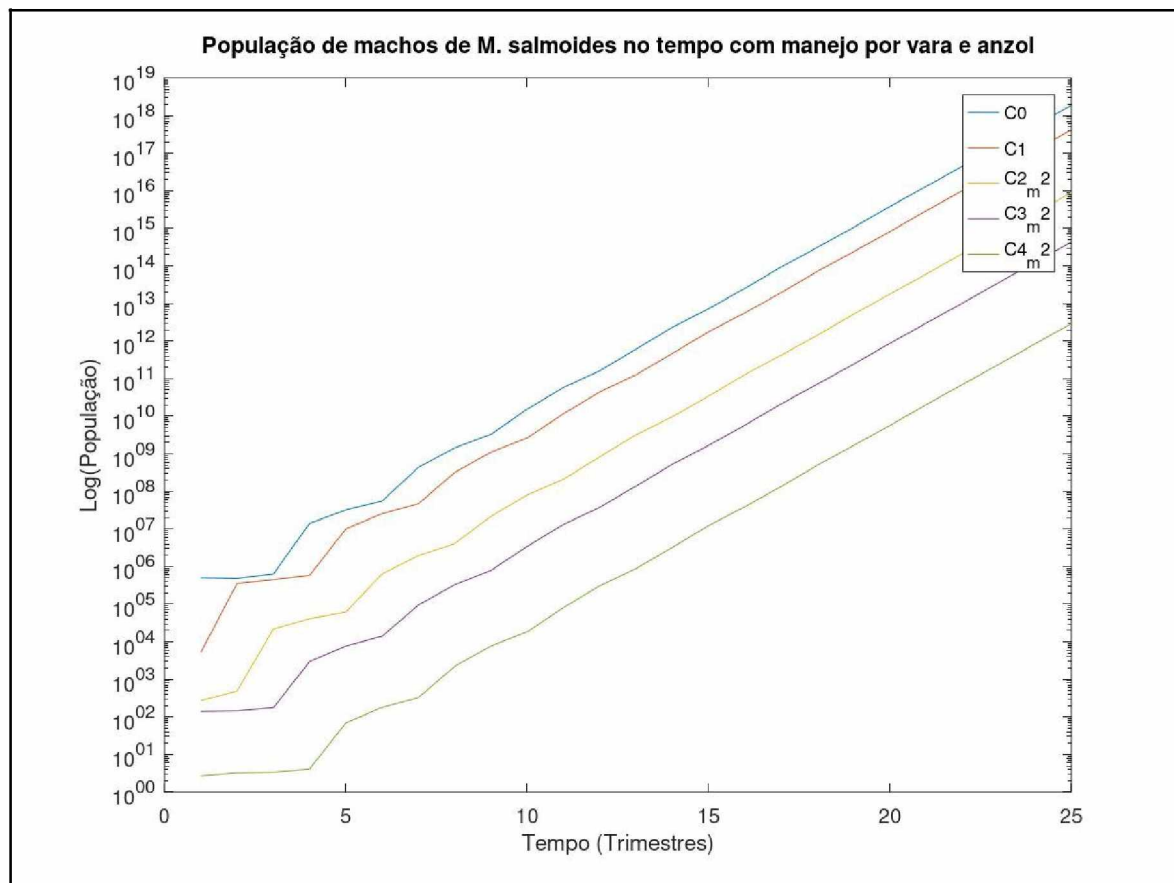
FIGURA 12 – POPULAÇÃO DE FÊMEAS DE *M. SALMOIDES* NO TEMPO COM MANEJO POR VARA E ANZOL.



FONTE: AUTOR 2022.

A Figura 12 apresenta a dinâmica pela técnica de manejo por vara e anzol, e nela destaca-se a alteração dos padrões populacionais no início principalmente com relação ao sentido das curvas mesmo nas que não tem ação direta na simulação.

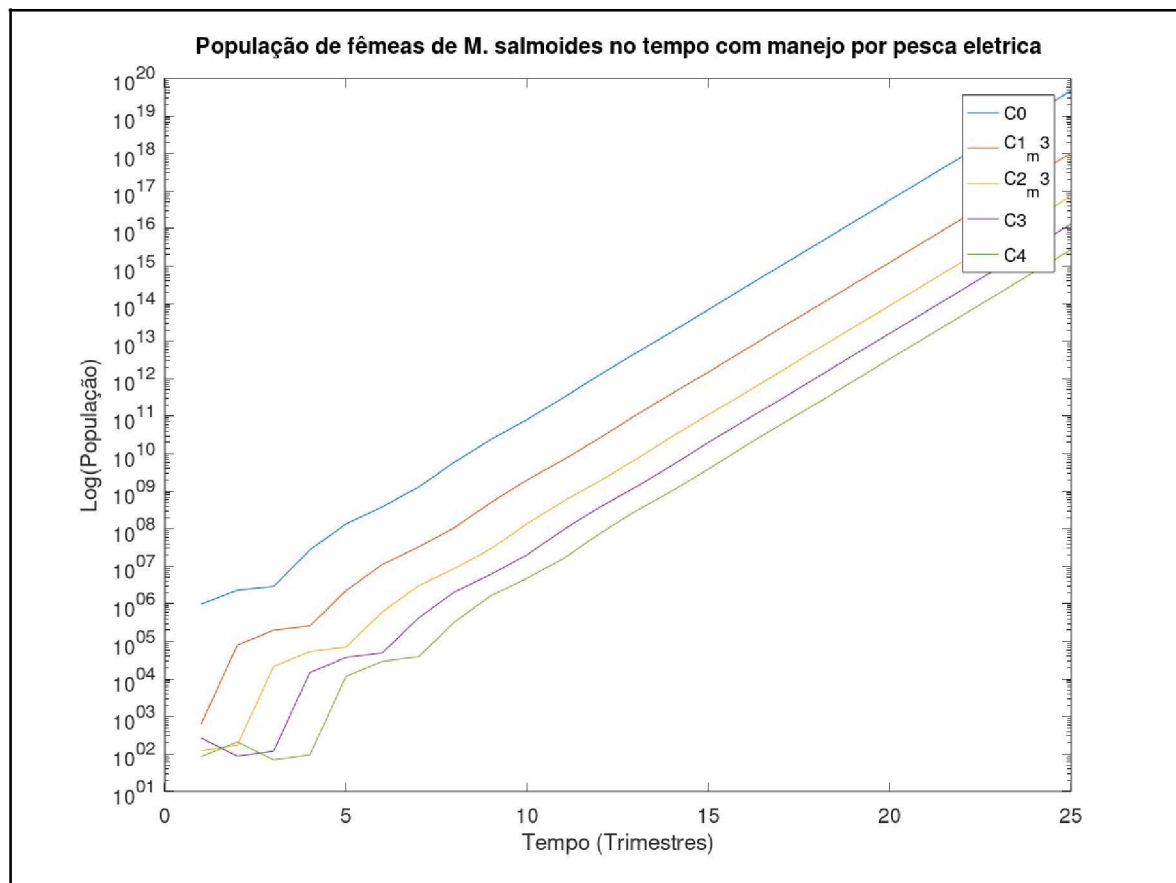
FIGURA 13 – POPULAÇÃO DE MACHOS DE *M. SALMOIDES* NO TEMPO COM MANEJO POR VARA E ANZOL.



FONTE: AUTOR 2022.

Da mesma forma que a dinâmica da figura 12, na figura 13 também há alteração no padrão das curvas das classificações não alteradas com destaque para a curva C0 que apresenta assintota contrária a inicial de duas ordens de grandeza.

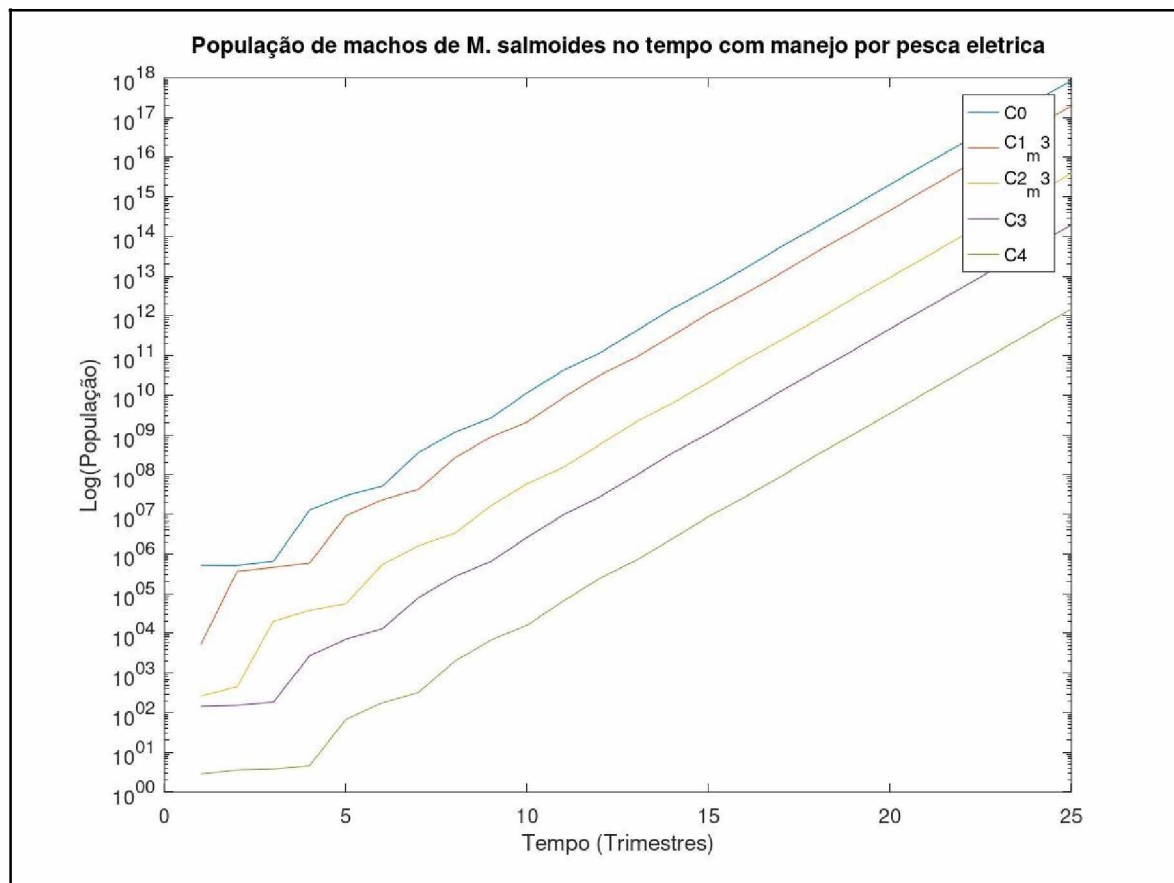
FIGURA 14 – POPULAÇÃO DE FÊMEAS DE *M. SALMOIDES* NO TEMPO COM MANEJO POR PESCA ELÉTRICA.



FONTE: AUTOR 2022.

Na figura 14 é apresentada a projeção da população de fêmeas para a técnica de manejo por pesca elétrica atuando nos indivíduos juvenis, porém toda a dinâmica é alterada, principalmente C4 e C0.

FIGURA 15 – POPULAÇÃO DE MACHOS DE *M. SALMOIDES* NO TEMPO COM MANEJO POR PESCA ELÉTRICA.



FONTE: AUTOR 2022.

Na figura 15 é apresentada a projeção da população de machos com a técnica de manejo por pesca elétrica, com destaque para as classes C0, C1 e C2, sendo C1 e C2 diretamente afetadas pela técnica de manejo.

## 5 DISCUSSÃO

Modelos matemáticos e computacionais são importantes para o desenvolvimento e consolidação da teoria, além da predição de processos ecológicos e manejos de espécies em geral. As invasões biológicas são processos cada vez mais estudados devido a sua importância para a conservação e suas implicações para a ecologia e sociedade. Neste trabalho foi simulada a dinâmica populacional de *M. salmoides*, uma das 100 piores espécies exóticas invasoras (PEREIRA & VITULE 2019), a fim de analisá-la a partir de dados empíricos de captura por unidade de esforço (CPUE) e tamanho populacional por classes (RIBEIRO *et al.* 2015, e referências do Quadro 2 deste trabalho).

Neste contexto, nossas simulações com matrizes de estruturação etárias concretizam-se em exercícios importantes no entendimento de dinâmicas populacionais dessa espécie exótica invasora no contexto global, em termos de mecanismos gerais da espécie (e.g. na construção estrutural do modelo) e no contexto de dinâmicas específicas (e.g. dados empíricos e construção das matrizes). Tornando-se algo inédito e crucial para considerarmos os dados e estruturas e variações ou oscilações específicas por faixas etárias relacionadas a espécie em questão.

Dessa forma, cabe ressaltar o fato de que todas as estabilizações nas proporções das fases ao longo do tempo nos nossos resultados, ou seja, a convergência e estabilização na estrutura da população de *M. salmoides* ao longo tempo, em essência é proveniente de artefato conhecido e bem discutido na literatura (e.g. GOTELLI 2007 e as referências nele citadas). Isso porque, por exemplo, as estabilizações são um artefato do tipo de métodos de estruturação, uma vez que também foram assumidas taxas de natalidade e mortalidade constantes para cada fase ontogenética analisada.

Destacamos como um ponto importante das simulações e projeção da população inicial de fêmeas e machos apresenta profundas oscilações no início do período analisado com comportamento exponencial com o avançar do tempo (GOTELLI 2007), e mais ainda se considerarmos a escala logarítmica da análise gráfica. Essas variações precisam ser melhores interpretadas e estudas com relação a técnica usual na captura de peixes usada no reservatório Passaúna, e que se mostrou pouco eficiente segundo Ribeiro *et al.* (2013) o que poderá facilitar técnicas

específicas de manejo. Neste contexto o uso potencial do manejo com uso de anzol e linha, que foi descrita como eficiente por Ribeiro *et al.* (2013) para captura seletiva dos maiores exemplares, foi testada computacionalmente e o comportamento da dinâmica também foi similar ao da população sem uso de nenhum manejo.

As variações entre as classes etárias finais mostraram que o grande impacto no processo de invasão. Poucos artigos focaram nas hipóteses do processo da invasão e na previsão de eventos de manejo e isso precisa ser verificado (VITULE *et al.* em preparação). As dinâmicas modeladas fazem uso de modelos matemáticos simples devendo serem exploradas as probabilidades de introdução, manejo e relacionar essas com hipóteses que geram o sucesso de invasão da espécie. Assim, serão maiores as possibilidades de prever eventos de invasões e consolidar o conhecimento teórico do processo de invasão biológica principalmente em etapas iniciais.



## **6 CONCLUSÃO E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS**

De acordo com as técnicas estudadas para o manejo foi possível interpretar dos resultados que a população tende ao crescimento exponencial analisando o padrão de sobrevivência da mesma para os ambientes em que os dados foram coletados.

Contudo, o modelo apresentado ainda deve ser melhor estruturado e acurado para confirmar as informações fornecidas estatisticamente, sendo um ponto sugerido para trabalhos futuros. Assim como o teste com outros modelos que também possam apoiar as informações analisadas, contribuindo com a validação das informações e para o conhecimento do ambiente estudado.

## REFERÊNCIAS

ACNEW, T. T. (1982) MODELS FOR FISHERIES MANAGEMENT. *Comput. Environ. Urban Systems* Vol. 7, 145-154p.

AGOSTINHO, A. A., GOMES, L. C., & PELICICE, F. M.. *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios no Brasil*. Maringá, Eduem, 2007. 500p

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Abastecimento Urbano de Água. Região Metropolitana de Curitiba. Atlas Brasil, 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=7>. Acesso em mar. 2021.

ARNOLD, D. e YOKOYAMA, K. The Leslie Matrix Math 45 — Linear Algebra. Disponível em: <<https://mse.redwoods.edu/context-leslie1-p>>. Acesso em Agosto de 2022.

ATKINSON, C.L., CAPPS, K.A., RUGENSKI, A.T. & VANNI, M.J., (2017). Consumer-driven nutrient dynamics in freshwater ecosystems: from individuals to ecosystems. *Biol. Rev.* 92, 2003–2023. DOI: 10.1111/brv.12318

BACAËR N. (2011). The Leslie matrix (1945) em: *A Short History of Mathematical Population Dynamics*. Springer - Verlag London Limited. [https://doi.org/10.1007/978-0-85729-115-8\\_21](https://doi.org/10.1007/978-0-85729-115-8_21).

BAITCLOUD (2021). The 10 best Bass Fishing Tournaments. News and Updates. From LAUREMEFISH (2020). Disponível em: [www.baitcloud.com/blogs/news/test](http://www.baitcloud.com/blogs/news/test). Acesso em fev.2021.

BASSONLINE. M. salmoides. Disponível em: <http://www.bassonline.com.br/blackbass.htm>. Acesso em Abr. 2021.

BEGON M., TOWNSEND, C. R. & HARPER, J. L., *Ecologia: de Indivíduos a ecossistemas: tradução de A. S. Melo.. [et al.]*, 4º ed. Porto Alegre, Artmed, 2007, 752 p.

BEEVER, E.A., SIMBERLOFF, D., CROWLEY, S. I., AL-CHOKHACHY, R., JACKSON, A. H., & PETERSEN, S. I. (2019) Social-ecological mismatches create conservation challenges in introduced species management. *Concepts and Questions*. The Ecological Society of America. *Front. Ecol. Environ.* DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.2000> Acesso em abr. 2021.

BELTRAN-ALVAREZ, R., *et al.* (2012). Aspectos reprodutivos de la lobina negra (*Micropterus salmoides*) em la presa José Lopes-Portilho, El Comedero, Sinaloa, México. *Ciencia Pesquera*. 20(1). 65-75p. Disponível em: [https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP%20/CP2020-1%20\(6\)%20Beltran%20et%20al.pdf](https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP%20/CP2020-1%20(6)%20Beltran%20et%20al.pdf). Acesso em dez. 2021.

BELTRAN-ALVAREZ, R. *et al.* (2013). Reproducción de *Micropterus salmoides* (Pisces: Centrarchidae), en el embalse Gustavo Díaz Ordaz, Sinaloa, México. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 61 (3): 1313-1325p. Disponível em: <https://scielo.sa.cr/pdf/rbt/v61n3/a25v61n3.pdf>. Acesso em dez. 2021.

BERNSTEIN, R.. *Population Ecology – An introduction to Computer Solutions*. Wiley, University of Colorado, 2003. 171p.

BEZERRA L. A. V., RIBEIRO, V. M., FREITAS, M. O., KAUFMAN, L., PADIAL, A. A. & VITULE, J. R. S., 2019. Benthification, biotic homogenization behind the trophic downgrading in altered ecosystems. *Ecosphere*, 10(6): e02757.10.1002/ecs2.2757.

BOROS, G., TAKÁCS P. & VANNI, M. J. 2015. The fate of phosphorus in decomposing fish carcasses: a mesocosm experiment. *Freshwater Biology*, vol. 60. 3 ed. p.479-489 <https://doi.org/10.1111/fwb.12483>. Acesso em abr. 2021.

BRAGA, Raul. *et al.* 2020. A invasão de espécies exóticas que se tornam pragas em ecossistemas naturais - como a ciência interpreta esses eventos. *Revista Bioika*, 5Ed.. Disponível em: <https://revistabioika.org/es/palavra-deespecialista/post?id=64>. Acesso em: mar. 2021.

BRASIL (2019). GUIA DE ORIENTAÇÃO PARA O MANEJO DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO FEDERAIS GUIA DE ORIENTAÇÃO PARA O MANEJO DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO FEDERAIS. ICMBio. Ministério do Meio Ambiente. Outubro de 2019. V.3, 136p.

BRIDGES, A. & BESTER, C. 2018. *Micropterus salmoides*. Florida Museum of Natural History. Gainesville, FL. Disponível em: <https://www.floridamuseum.ufl.edu/discover-fish/species-profiles/micropterus-salmoides/>. Acesso em: out. 2021.

CALIZZA, E., ROSSI, L., CAREDDU, G. *et al.* (2021) A novel approach to quantifying trophic interaction strengths in impact of invasive species in food webs. *Biol. Invasions*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02490-y>

CARNEIRO, C., KELDERMAN, P. & IRVENI, K., (2016). Assessment of phosphorus sediment-water exchange through water and mass budget in Passaúna Reservoir (Paraná State, Brazil). *Environmental Earth Sciences*, vol. 75. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5349-3>

CHISLOCK, M. F., DOSTER, E., ZITOMER, R. A. & WILSON, A. E.(2013) Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems. *Nature Education Knowledge* 4(4):10

CUNHA, C. L. N., GOBBI, E. F., ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C.. Eutrofização em reservatórios: gestão preventiva, estudo interdisciplinar na Bacia do Rio Verde, PR, UFPR, 2011. 515p

CUTHBERT, R. N. PATTISON, Z., N. G. et al. (2021) Global economic cost of aquatic invasive alien species. *Science of the total Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145238>. Acesso em abr. 2021.

DAGA, V. S., DEBONA, T., ABILHOA, V. et al. (2016). Non-native fish invasions of a Neotropical ecoregion with high endemism: a review of the Iguazu River. *Aquatic Invasions*, Volume 11, Issue 2: 209–223p. DOI: <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2016.11.2.10>

DIAGNE, C., LEROY, B. GOZLAN, R. E. et al. (2020). InvaCost, a public database of the economic cost of biological invasion worldwide. *Science Data*. *Nature*. 7:277 | <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00586-z>

ELLENDER, B.R. & WEYL, O.L.F. (2014). A review of current knowledge, risk and ecological impacts associated with non-native freshwater fish introductions in South Africa. *Aquatic Invasions*, vol. 9, 2ed., p.117-132 DOI: <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2014.9.2.01>

ESTES, J. A., TERBORGH, J., BRASHARES, J. S. et al. (2011) Trophic Downgrading of planet Earth. *Science*. Vol. 333, ed. 6040. Pp. 301-3006. DOI: 10.1126/science.1205106

FEDERICO, P. & CANZIANI, G. A. (2005). Modeling the population dynamics of capybara *Hydrochaeris hydrochaeris*: a first step towards a management plan. *Ecological Modelling* 186 (2005) 111-121 DOI: [doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.01.011](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.01.011)

FREHSE, F. A., WEYL, O.L.F. & VITULE, J.R.S. (2021). Differential use of artificial habitats by native and non-native fish species in Neotropical reservoirs. *Hydrobiologia*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04564-3>

FREHSE, F.A., HARGROVE, J.S., WEYL, O.L.F. & VITULE, J.R.S. (2019) The characteristics of invasive Largemouth bass in southern Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*. DOI: <https://doi.org/10.1111/jai.13987>. Acesso em abr. 2021.

FROESE, R. & D. PAULY. Editors. 2020. FishBase. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version (12/2020). Acesso em mar. 2021.

FUJIMOTO, Y., TAKAHASHI, K., SHINDO, K., FUJIWARA, T., ARITA, K., SAITOH, K. & SHIMADA T.. (2021). Success in population control of the invasive largemouth bass *Micropterus salmoides* through removal at spawning sites in a Japanese shallow lake. *Management of Biological Invasions* (2021) Volume 12. Disponível em: [https://www.reabic.net/journals/mbi/2021/Accepted/MBI\\_2021\\_Fujimoto\\_et\\_al\\_correctedproof.pdf](https://www.reabic.net/journals/mbi/2021/Accepted/MBI_2021_Fujimoto_et_al_correctedproof.pdf). Acesso em: nov. 2021.

FULLER, P., NEILSON, M., & PROCOPIO, J., 2021, *Micropterus salmoides* (Lacepède, 1802): U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, FL, <https://nas.er.usgs.gov/queries/factsheet.aspx?SpeciesID=401>, Revision Date: 6/21/2019, Peer Review Date: 7/23/2015, Acesso em: mar. 2021.

GREEN, S. J., UNDERWOOD, E. B., AKINS, J. L. (2017) Mobilizing volunteers to sustain local suppression of a global marine invasion. *Conservation Letters*. Wiley, 10, 726-735p. DOI: 10.1111/conl.12426

HIGGINS, K.A., VANNI, M. J. & GONZÁLEZ, M. J., (2006). Detritivory and stoichiometry of nutrient cycling by a dominant fish species in lakes of varying productivity. *Oikos*. Vol. 114, ed. 3. P.4419-430. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14745.x>. Acesso em abr. 2021.

KAZUO, B. N. (2016) *Biologia populacional do predador invasor Micropterus salmoides (Lacépède, 1802) em um reservatório Neotropical usando marcação e recaptura*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, UFPR, Curitiba. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/43486/R%20-%20D%20-%20BRUNO%20KAZUO%20NAKAGAWA.pdf?sequence=3>. Acesso em: fev. 2021.

KEYFITZ N. & CASWELL H., *Applied Mathematical Demography*. 3ed., Springer, 2005, 555p.

LATINI, A. O., RESENDE, D. C., POMBO, V. B., CORADIN, L. (Org.). *Espécies exóticas invasoras de águas continentais no Brasil*. Brasília: MMA, 2016. 791p. (Série Biodiversidade, 39)

LONG et al. (2015). A historical perspective of black bass management in the United States. *American Fisheries Society Symposium*, 82, 99-122p.

LUCKYLURES (2021). Almost World Record & Biggest Largemouth bass. Disponível em <[https://www.luckylures.nl/largemouth\\_bass\\_record.php#:~:text=The%20bass%20measured%2029%20inches%20in%20length](https://www.luckylures.nl/largemouth_bass_record.php#:~:text=The%20bass%20measured%2029%20inches%20in%20length)>. Acesso em maio 2022.

MACEDO, C.A.A., ALBUQUERQUE, A.A. de & MORALLES, H.F. (2017). Análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto eólico com simulação de Monte Carlo e avaliação de risco. *Gest. Prod.*, São Carlos, vol. 24., n.4, p.731-744. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/0104-530X3439-16>.

MONCRIEFF, C., *Developing Better dams: A primer on strategic approaches to large water infrastructure*. WWF Water Security Series 5, 2017, 37p Disponível em: <[https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/developing\\_better\\_dams\\_wwf.pdf](https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/developing_better_dams_wwf.pdf)>. Acesso em fev.2021.

NATURESERVE (2019). *Micropterus salmoides*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T61265A58310038. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20192.RLTS.T61265A58310038.en>>. Acesso em março de 2021.

NOBRE R.L.G., CARNEIRO L.S., PANEK S.E., GONZÁLEZ M.J. & VANNI M.J., (2019) Fish, Including Their Carcasses, Are Net Nutrient Sources to the Water Column of a Eutrophic Lake. *Front. Ecol. Evol.* 7:340. doi: 10.3389/fevo.2019.00340

ODUM, E. P. ECOLOGIA. Ed. Guanabara, 1988, 187-231p.

ONO, G. M., MANNICH, M., BLENINGER, T., & HILGERT, S. (2020). Monitoramento e análise da sedimentação no reservatório Passaúna. XIV ENES 2020. ABRHIDRO. Campinas. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=6656>. Acesso em fev. 2021.

PESTSMART. CENTRE FOR INVASIVE SPECIES SOLUTIONS. Department of Agriculture, Water and the Environment. Australian Government (2021). Tilapia control methods and their effectiveness. Disponível em: <https://pestsmart.org.au/toolkit-resource/tilapia-control-methods-and-their-effectiveness/>. Acesso em mar. 2021.

PEREIRA F. W. & VITULE, J. R. S.. The largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacépède, 1802): impacts of a powerful freshwater fish predator outside of its native range. *Rev. Fish Biol Fisheries* (2019) DOI: 10.1007/s11160-019-09570-2

PIRACICABA, SMMA. *Micropterus salmoides*. Disponível em: <http://www.sema.piracicaba.sp.gov.br/peixes/det12.html>. Acesso em maio 2022.

POMPEU, M. Represas do Brasil, Portal Ecologia Aquática, Depto. de Ecologia, IB, USP. 2002. Disponível em: [http://ecologia.ib.usp.br/portall/index.php?option=com\\_content&view=article&id=73&Itemid=416#possiveis](http://ecologia.ib.usp.br/portall/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=416#possiveis). Acesso em fev. 2021.

RAUEN W. B., FERRARES, A. C., MARANHO, L., OLIVEIRA, E., COSTA, R., ALCANTARA, J., & DZLEDZIC, M., (2018) Index-based and compliance assessment of water quality for a Brazilian subtropical reservoir. *Eng. Sanit, Ambiental* v23 n5 set/out 2018 841-848 DOI: 10.1590/S1413-4152201820180002

RAUSCHERL, E. (2010). Survivorship Curves. *Nature Education Knowledge* 3(10):18

RIBEIRO, V. M. (2013) *Micropterus salmoides*, Um predador introduzido em um reservatório neotropical: composição da dieta, táticas reprodutivas e métodos de captura. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação. UFPR, Curitiba. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/29866>. Acesso em fev. 2021.

RIBEIRO, V. M., BRAGA, R. R., ABILHOA, V. & VITULE, J. R. S. (2015). Evaluation of three capture techniques for invasive *Micropterus salmoides* (Lacépède, 1802) in a Neotropical reservoir: implications for population control and management. *Journal Applied Ichthyology* 31: p.1127–1129.

RODRIGUES, A. M. & SANCHES J. C.. A produção comercial de achigãs (*Micropterus salmoides*). Divulgação técnica. *Agroforum*, nº 28, ano 20, 2012. Disponível em: [https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/1356/1/Agroforum\\_28\\_produ%C3%A7%C3%A3o\\_achig%C3%A3.pdf](https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/1356/1/Agroforum_28_produ%C3%A7%C3%A3o_achig%C3%A3.pdf). Acesso em dez. 2021.

SAUNITTI, R. M., FERNANDES, L.A., & BITTENCOURT, A.L.V., (2004). Estudo de assoreamento do reservatório da barragem do Rio Passaúna – Curitiba – PR. Boletim Paranaense de Geociências. Vol.54. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/geo.v54i0.4253>.

SOTIRI, K. (2020). Tese de Doutorado, Integrated Sediment Yield and Stock Assessment for the Passaúna Reservoir, Brazil. Project Multidisciplinary data acquisition as the key for a globally applicable water resource management (MuDak-WRM). Dezembro 2020. DOI: 10.5445/IR/1000127716 Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/348621322\\_Integrated\\_Sediment\\_Yield\\_and\\_Stock\\_Assessment\\_for\\_the\\_Passauna\\_Reservoir\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/348621322_Integrated_Sediment_Yield_and_Stock_Assessment_for_the_Passauna_Reservoir_Brazil). Acesso em: março 2021.

SOTIRI, K., HILGER, S., MANNICH, M., BLENINGER, T., FUCHS, S. (2021) Implementation of comparative detection approaches for the accurate assessment of sediment thickness and sediment volume in Passaúna Reservoir. Journal of Environmental Management. Vol. 287 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112298>.

STEED, E. (2018). *Micropterus salmoides*. Animal Diversity Web, Museum of Zoology, University of Michigan, 2018. Disponível em: <[https://animaldiversity.org/accounts/Micropterus\\_salmoides/](https://animaldiversity.org/accounts/Micropterus_salmoides/)>. Acesso em: nov. 2021.

HEIDINGUER, R. (2000). BLACK BASS/LARGEMOUTH BASS CULTURE in Encyclopedia of Aquaculture. Edited by Robert R. Stickney. Texas Sea Grant College Program, Bryan. Texas. John Wiley & Sons, Inc. 1068p.

TAYLOR, G. C. & WEYL, O.L.F., (2017). Age, growth and reproduction of non-native largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacépède, 1802) populations in two temperate African impoundments. Journal of Applied Ichthyology. DOI: <https://doi.org/10.1111/jai.13353>

WALSH, J. R., CARPENTER, S. R., & ZANDEN J. V., (2016). Invasive species triggers a massive loss of ecosystem services through a trophic cascade. PNAS, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1600366113>

WEYL, O.L.F. & HECHT, T. (1999). A successful population of largemouth bass, *Micropterus salmoides*, in a subtropical lake in Mozambique. Environmental Biology of Fishes, vol. 54, p.53-66. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1007452320609>. Acesso em fev. 2021.

APÊNDICE 1 - DESENVOLVIMENTO ALGÉBRICO DA DINÂMICA POPULACIONAL

$$P_{n+1} = M P_n$$

$$P_0 = p_{m0} P_0 + \alpha f_2 P'_2 + \alpha f_3 P'_3 + \alpha f_n P'_n$$

$$P'_0 = p_{f0} P'_0 + (1 - \alpha) P'_2 + (1 - \alpha) f_3 P'_3 + (1 - \alpha) f_n P'_n$$

$$P_1 = s_{m0} P_0 + p_{m1} P_1$$

$$P'_1 = s_{f0} P'_0 + p_{f1} P'_1$$

$$P_2 = s_{m1} P_1 + p_{m2} P_2$$

$$P'_2 = s_{f1} P'_1 + p_{f2} P'_2$$

$$P_3 = s_{m2} P_2 + p_{m3} P_3$$

$$P'_3 = s_{f2} P'_2 + p_{f3} P'_3$$

$$P_n = s_{mn-1} P_{n-1} + p_{mn} P_n$$

$$P'_n = s_{fn-1} P'_{n-1} + p_{fn} P'_n$$

$$P_{t+1} = (M - HM) P_t = M(I - H) P_t$$

$$P_{t+1} = p_{m0}(1 - h_0) P_0 + \alpha f_2 P'_2 + \alpha f_3 P'_3 + \alpha f_n P'_n$$

$$P_{t+1} = p_{f0}(1 - h'_0) P'_0 + (1 - \alpha) f_2 P'_2 + (1 - \alpha) f_3 P'_3 + (1 - \alpha) f_n P'_n$$

$$P_{t+1} = p_{m1}(1 - h_1) P_1 + s_{m0} P_0$$

$$P_{t+1} = p_{f1}(1 - h'_1) P'_1 + s_{f0} P'_0$$

$$P_{t+1} = p_{m2}(1 - h_2) P_2 + s_{m1} P_1$$

$$P_{t+1} = p_{f2}(1 - h'_2) P'_2 + s_{f1} P'_1$$

$$P_{t+1} = p_{m3}(1 - h_3) P_3 + s_{m2} P_2$$

$$P_{t+1} = p_{f3}(1 - h'_3) P'_3 + s_{f2} P'_2$$

$$P_{t+1} = p_{mn-1}(1 - h_{n-1}) P_{n-1} + s_{mn-1} P_{n-1}$$

$$P_{t+1} = p_{fn-1}(1 - h'_{n-1}) P'_{n-1} + s_{fn-1} P'_{n-1}$$

$$P_{t+1} = p_{mn}(1 - h_n) P_n + s_{mn} P_n$$

$$P_{t+1} = p_{fn}(1 - h'_n) P'_n + s_{fn} P'_n$$



## APÊNDICE 2 – TABELA DA VIDA DA ESPÉCIE DE *M. SALMOIDES*.

PARÂMETROS DE DINÂMICA DA ESPÉCIE *M. SALMOIDES* EM 13 FASES ONTOGENÉTICAS (C0 A C12) PARA MACHOS E FÊMEAS (RESPECTIVAMENTE M E F). SENDO C O COMPRIMENTO TOTAL, NX A POPULAÇÃO NA FASE, SX A TAXA DE SOBREVIVÊNCIA NA FASE, LX A PROBABILIDADE DE SOBREVIVÊNCIA NA FASE, DX NÚMERO DE MORTOS, MX FERTILIDADE, FX FECUNDIDADE.

Fases ontogenéticas	Cmédio (mm)	Nx (indiv.)	Sx = nx+1/nx (%)	Lx = nx/n0 (%)	Dx = nx-nx+1 (indiv.)	Fertilidade mx	Fecundidade Fx
C0 M	1,6	4250	0,318	1,0	0,682	0,0	0,0
C0 F	1,6	4250	0,300	1,0	0,700	0,0	0,0
C1 M	4.25	3000	0,093	0,719	0,907	0,0	0,0
C1 F	4,25	3000	0,083	0,706	0,917	0,0	0,0
C2 M	32,0	400	0,313	0,090	0,687	0,0	0,0
C2 F	32,0	415	0,295	0,098	0,705	0,0	0,0
C3 M	86,0	150	0,621	0,035	0,379	0,0	0,0
C3 F	86,0	152	0,606	0,036	0,394	0,0	0,0
C4 M	129,0	75	0,713	0,018	0,287	0,0	0,0
C4 F	129,0	74	0,701	0,017	0,299	0,0	0,0
C5 M	172,0	45	0,770	0,011	0,230	0,0	0,0
C5 F	172,0	42	0,759	0,010	0,241	1750	1329
C6 M	215,0	33	0,807	0,008	0,193	0,0	0,0
C6 F	215,0	33	0,799	0,008	0,201	2867	2289
C7 M	258,0	27	0,834	0,006	0,166	0,0	0,0
C7 F	258,0	24	0,827	0,006	0,173	3074	2543
C8 M	301,0	20	0,855	0,005	0,145	0,0	0,0
C8 F	301,0	19	0,848	0,004	0,152	4023	3411
C9 M	344,0	15	0,871	0,004	0,129	0,0	0,0
C9 F	344,0	15	0,865	0,004	0,135	6717	5808
C10 M	387,0	12	0,883	0,003	0,116	0,0	0,0
C10 F	387,0	11	0,878	0,003	0,122	8200	7200
C11 M	430,0	8	0,818	0,002	0,182	0,0	0,0
C11 F	430,0	7	0,791	0,002	0,209	13874	10973
C12 M	510,0	3	0,0	0,001	1,0	0,0	0,0
C12 F	520,0	1	0,0	0,000	1,0	27750	27717

FONTE: AUTOR COM DADOS DE SCOTT & CROSSMAN (1973) E HETCH & WEYL (1999), RONCARATI ET AL. (2005), BELTRAN-ALVAREZ (2012 E 2013) E RIBEIRO (2013), Ribeiro et al. (no prelo).

### APÊNDICE 3 – CÓDIGO DO MODELO COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO.

```

1  # Atividade de mestrado PPGA
2  # Orientacao Marcelo R. Errera e Jean R. S. Vitule
3  # Discente Andre Vinicius Roque Cavalcante
4  #
5  # Fazer iterações para encontrar o lambida e estabelecer a matriz de Leslie
6  # Calcular as projeções da população normalmente
7  # Calcular as projeções da população com retirada por diferentes métodos de manejo
8  #
9  #
10 clear all
11 close all
12 clc
13 # Fazer iterações para encontrar o lambida e estabelecer a matriz de Leslie
14 # Dado o vetor coluna da população inicial para femeas
15 x0 = [7250; 415; 387; 109; 1]
16 # A Matriz de Leslie dos valores amostrais de permanencia, sobrevivencia e fecundidade
17 Lf = [0 0 1329 4605 10973; 0.082 .098 0 0 0;
18       0 .295 .035 0 0; 0 0 .759 .010 0; 0 0 0 .790 0.001]
19 # Reserva de espaço para a pop. projetada no tempo de 24 trimestres
20 X=zeros(5,25)
21 # atribui ao primeiro valor o vetor da pop. inicial
22 X(:,1)=x0
23 # faz iteração para calc. da população futura atraves da pop. inicial
24 for k = 2:25, X(:,k)=Lf*X(:,k-1);end
25 format short g
26 X # são as populações por fase para cada passo de tempo
27 # Plotamos a transposta do valor armazenado
28 # plot(X')
29 figure 1
30 semilogy(X')
31 legend('C0','C1','C2','C3','C4')
32 xlabel('Tempo (Trimestres)')
33 ylabel('Log(População)')
34 title('População de fêmeas de M. salmoides no tempo')
35 grid off
36 ## investigamos os autovalores e autovetores da matriz de Leslie
37 [V,D]=eig(Lf) # o valor maximo da diagonal D é o autovalor dominante
38 # as colunas de V são os autovetores
39 V*D*inv(V)
40 v1=V(:,1)
41 v1=v1/sum(v1)
42 ##
43 # projecao em 48 trimestres
44 x48 = Lf^48*x0
45 x=x48/sum(x48) # é o autovalor
46 #
47 X=zeros(5,49);
48 X(:,1) = [7250; 415; 387; 109; 1];
49 for k=2:49, X(:,k)=Lf*X(:,k-1);end
50 G=zeros(5,49);
51 for k=1:49,G(:,k)=X(:,k)/sum(X(:,k));end
52 figure 2
53 t=0:48;
54 semilogy(t,G')
55 xlabel('Tempo (trimestres)')
56 ylabel('Porcentagens de fêmeas por fase ontogenética da população')
57 legend('C0', 'C1', 'C2', 'C3', 'C4')
58 #
59 x47 = Lf^47*x0;
60 x48./ x47
61 ##
62 # Populacao de machos
63 # Dado o vetor coluna da população inicial para os machos
64 y0 = [7250; 400; 387; 115; 3]
65 # A Matriz de Leslie dos valores amostrais de sobrevivencia e fecundidade
66 Lm = [0 0 675 2300 5480; 0.70 0.31 0 0 0; 0 .06 .69 0 0; 0 0 .14 .83 0; 0 0 0 .025 0]
67 # Reserva de espaço para a pop. projetada no tempo de 24 trimestres
68 Y=zeros(5,25)
69 # o primeiro valor é a pop. inicial
70 Y(:,1)=y0
71 # iteração para calc. da população futura atraves da pop. inicial
72 for k = 2:25, Y(:,k)=Lm*Y(:,k-1);end

```

```

73 # format short g
74 # X
75 # Plotamos a transposta do armazenado
76 # plot(Y')
77 figure 3
78 semilogy(Y')
79 legend('C0', 'C1', 'C2', 'C3', 'C4')
80 xlabel('Tempo (Trimestres)')
81 ylabel('Log(População)')
82 title('População de machos de M. salmoides no tempo')
83 grid off
84 ## investigamos os autovalores e autovetores da matriz de Leslie
85 [V,D]=eig(Lm)# o maximo valor da diagonal de D é o autovalor e v2 é o autovetor
86 V*D*inv(V)
87 v2=V(:,1)
88 v2=v2/sum(v2)
89 ##
90 # projecao em 48 trimestres
91 y48 = Lm^48*y0
92 y=y48/sum(y48)
93
94 #
95 Y=zeros(5,49);
96 Y(:,1) = [7250; 400; 387; 115; 3];
97 for k=2:49, Y(:,k)=Lm*Y(:,k-1);end
98 J=zeros(5,49);
99 for k=1:49, J(:,k)=Y(:,k)/sum(Y(:,k));end
100 figure 4
101 t=0:48;
102 semilogy(t,J')
103 xlabel('Tempo (trimestres)')
104 ylabel('Pocentagens de machos por classe no tempo')
105 legend('C0', 'C1', 'C2', 'C3', 'C4')
106 #
107 y47 = Lm^47*y0;
108 y48./y47
109
110 # calculo de manejo por difentes metodos
111 #
112 # Calcular as projeções da população com retirada por diferentes métodos de manejo
113 #
114 # cada tecnica de manejo um cenário
115 # matriz 1-H
116 #
117 # H = [0.0015 0.065 0.089 2.15 1.1]; # vetor com todas as tecnicas
118 ##
119 # tecnica de manejo por rede de emalhe # funcional para peixes maiores
120 H1 = [0 0 0.0015 0.0015 0.0015];
121 matrizH1 = zeros(5);
122 matrizH1 = diag(H1);
123 matrizI = zeros(5);
124 matrizI = eye(5,5);
125 cpueH1 = matrizI-matrizH1;
126 cpueH1
127 ##
128 # cria espaco para guardar pop. com a tecnica de manejo com femeas
129 Manejolf=zeros(5,25)
130 # guarda posicao para pop. sem manejo
131 Manejolf(:,1)=x0
132 # calcula o manejo atraves do cpueH1 para essa tecnica
133 M1f = Lf*cpueH1
134 # calcula o produto das matrizes de manejo e cpueH1
135 Manejolf = M1f*x0
136 # itera para calc. da população futura atraves da pop. inicial com manejo
137 for k = 2:25, Manejolf(:,k)=M1f*Manejolf(:,k-1);end
138 # apresenta a figura para a tecnica
139 figure 5
140 semilogy(Manejolf')
141 legend('C0', 'C1', 'C2_m', 'C3_m', 'C4_m')
142 xlabel('Tempo (Trimestres)')
143 ylabel('Log(População)')
144 title('População de fêmeas de M. salmoides no tempo com manejo por rede de emalhe')
145 ##

```

```

146 # cria espaco para guardar pop. com a tecnica de manejo com machos
147 Manejo1m=zeros(5,25)
148 # guarda posicao para pop. sem manejo
149 Manejo1m(:,1)=y0
150 # calcula o manejo atraves do cpueH1 para essa tecnica
151 M1m = Lm*cpueH1
152 # calcula o produto das matrizes de manejo e cpueH1
153 Manejo1m = M1m*y0
154 # itera para calc. da população futura atraves da pop. inicial com manejo
155 for k = 2:25, Manejo1m(:,k)=M1m*Manejo1m(:,k-1);end
156 # apresenta a figura para a tecnica
157
158 figure 6
159 semilogy(Manejo1m')
160 legend('C0','C1','C2_m','C3_m','C4_m')
161 xlabel('Tempo (Trimestres)')
162 ylabel('Log(População)')
163 title('População de machos de M. salmoides no tempo com manejo por rede de emalhe')
164 grid off
165 ##
166 # cenario 2
167 # simulacao do manejo por vara e anzol nas especies maiores
168 H2 = [0 0 0.065 0.065 0.065];
169 matrizH2 = zeros(5);
170 matrizH2 = diag(H2);
171 matrizI = zeros(5);
172 matrizI = eye(5,5);
173 cpueH2 = matrizI-matrizH2;
174 cpueH2
175 # cria espaco par a tecnica de manejo para fêmeas
176 Manejo2f=zeros(5,25)
177 # guarda posicao para pop. sem manejo
178 Manejo2f(:,1)=x0
179 # calcula o manejo e cpueH2 para essa tecnica
180 M2f = Lf*cpueH2
181 # calcula o produto das matrizes de manejo e cpueH2
182 Manejo2f = M2f*x0
183 # itera para calc. da população futura atraves da pop. inicial com manejo
184 for k = 2:25, Manejo2f(:,k)=M2f*Manejo2f(:,k-1);end
185 # apresenta a figura para a tecnica
186 figure 7
187 semilogy(Manejo2f')
188 legend('C0','C1','C2_m2','C3_m2','C4_m2')
189 xlabel('Tempo (Trimestres)')
190 ylabel('Log(População)')
191 title('População de fêmeas de M. salmoides no tempo com manejo por vara e anzol')
192 grid off
193 #
194 # cria espaco par a tecnica de manejo para machos
195 Manejo2m=zeros(5,25)
196 # guarda posicao para pop. sem manejo
197 Manejo2m(:,1)=y0
198 # calcula o manejo e cpueH2 para essa tecnica
199 M2m = Lm*cpueH2
200 # calcula o produto das matrizes de manejo e cpueH2
201 Manejo2m = M2m*y0
202 # itera para calc. da população futura atraves da pop. inicial com manejo
203 for k = 2:25, Manejo2m(:,k)=M2m*Manejo2m(:,k-1);end
204 # apresenta a figura para a tecnica
205 figure 8
206 semilogy(Manejo2m')
207 legend('C0','C1','C2_m2','C3_m2','C4_m2')
208 xlabel('Tempo (Trimestres)')
209 ylabel('Log(População)')
210 title('População de machos de M. salmoides no tempo com manejo por vara e anzol')
211 ##
212 #cenario 3
213 # simulacao do manejo por pesca eletrica util para peixe menores
214 #
215 H3 = [0 0.089 0.089 0 0];
216 matrizH3 = zeros(5);
217 matrizH3 = diag(H3);
218 matrizI = zeros(5);

```

```

219 matrizI = eye(5,5);
220 cpueH3 = matrizI-matrizH3;
221 cpueH3
222 # cria espaco par a tecnica de manejo para fêmeas
223 Manejo3f=zeros(5,25)
224 # guarda posicao para pop. sem manejo
225 Manejo3f(:,1)=x0
226 # calcula o manejo e cpueH3 para essa tecnica
227 M3f = Lf*cpueH3
228 # calcula o produto das matrizes de manejo e cpueH1
229 Manejo3f = M3f*x0
230 # itera para calc. da população futura através da pop. inicial com manejo
231 for k = 2:25, Manejo3f(:,k)=M3f*Manejo3f(:,k-1);end
232 # apresenta a figura para a tecnica
233 figure 9
234 semilogy(Manejo3f')
235 legend('C0','C1_m3','C2_m3','C3','C4')
236 xlabel('Tempo (Trimestres)')
237 ylabel('Log(População)')
238 title('População de fêmeas de M. salmoides no tempo com manejo por pesca eletrica')
239 grid off
240 #
241 # cria espaco par a tecnica de manejo para fêmeas
242 Manejo3m=zeros(5,25)
243 # guarda posicao para pop. sem manejo
244 Manejo3m(:,1)=y0
245 # calcula o manejo e cpueH3 para essa tecnica
246 M3m = Lm*cpueH3
247 # calcula o produto das matrizes de manejo e cpueH1
248 Manejo3m = M3m*y0
249 # itera para calc. da população futura através da pop. inicial com manejo
250 for k = 2:25, Manejo3m(:,k)=M3m*Manejo3m(:,k-1);end
251 # apresenta a figura para a tecnica
252 figure 10
253 semilogy(Manejo3m')
254 legend('C0','C1_m3','C2_m3','C3','C4')
255 xlabel('Tempo (Trimestres)')
256 ylabel('Log(População)')
257 title('População de machos de M. salmoides no tempo com manejo por pesca eletrica')
258 grid off
259 #
260 # cenario 4
261 ## simulacao do manejo por cama de desova apenas ovos e alevinos
262 #
263 H4 = [2.15 0 0 0 0];
264 matrizH4 = zeros(5);
265 matrizH4 = diag(H4);
266 matrizI = zeros(5);
267 matrizI = eye(5,5);
268 cpueH4 = matrizI-matrizH4;
269 cpueH4
270 # cria espaco par a tecnica de manejo de femeas
271 Manejo4f = zeros(5,25)
272 # guarda posicao para pop. sem manejo
273 Manejo4f(:,1)=x0
274 # calcula o manejo e cpueH4 para essa tecnica
275 M4f = Lf*cpueH4
276 # calcula o produto das matrizes de manejo e cpueH4
277 Manejo4f = M4f*x0
278 # itera para calc. da população futura através da pop. inicial com manejo
279 for k = 2:25, Manejo4f(:,k)=M4f*Manejo4f(:,k-1);end
280 # apresenta a figura para a tecnica
281 figure 11
282 plot(Manejo4f')
283 legend('C0_m4','C1','C2','C3','C4')
284 xlabel('Tempo (Trimestres)')
285 ylabel('Log(População)')
286 title('População de fêmeas de M. salmoides no tempo com manejo por cama de desova')
287 grid off
288 #
289 # cria espaco par a tecnica de manejo de machos
290 Manejo4m = zeros(5,25)
291 # guarda posicao para pop. sem manejo

```

```

292 Manejo4m(:,1)=y0
293 # calcula o manejo e cpueH4 para essa tecnica
294 M4m = Lm*cpueH4
295 # calcula o produto das matrizes de manejo e cpueH4
296 Manejo4m = M4m*y0
297 # itera para calc. da população futura através da pop. inicial com manejo
298 for k = 2:25, Manejo4m(:,k)=M4m*Manejo4m(:,k-1);end
299 # apresenta a figura para a tecnica
300 figure 12
301 plot(Manejo4m')
302 legend('C0_m4','C1','C2','C3','C4')
303 xlabel('Tempo (Trimestres)')
304 ylabel('Log(População)')
305 title('População de machos de M. salmoides no tempo com manejo por cama de desova')
306 grid off
307 #
308 # cenario 5
309 # simulacao do manejo por rede para peixes pequenos
310 #
311 H5 = [0 1.1 0 0 0];
312 matrizH5 = zeros(5);
313 matrizH5 = diag(H5);
314 matrizI = zeros(5);
315 matrizI = eye(5,5);
316 cpueH5 = matrizI-matrizH5;
317 cpueH5
318 # cria espaco par a tecnica de manejo fêmeas
319 Manejo5f=zeros(5,25)
320 # guarda posicao para pop. sem manejo
321 Manejo5f(:,1)=x0
322 # calcula o manejo e cpueH3 para essa tecnica
323 M5f = Lf*cpueH5
324 # calcula o produto das matrizes de manejo e cpueH1
325 Manejo5f = M5f*x0
326 # itera para calc. da população futura através da pop. inicial com manejo
327 for k = 2:25, Manejo5f(:,k)=M5f*Manejo5f(:,k-1);end
328 # apresenta a figura para a tecnica
329 figure 13
330 plot(Manejo5f')
331 legend('C0','C1_m5','C2','C3','C4')
332 xlabel('Tempo (Trimestres)')
333 ylabel('Log(População)')
334 title('População de fêmeas de M. salmoides no tempo por redes menores')
335 grid off
336 # cria espaco par a tecnica de manejo de machos
337 Manejo5m=zeros(5,25)
338 # guarda posicao para pop. sem manejo
339 Manejo5m(:,1)=y0
340 # calcula o manejo e cpueH3 para essa tecnica
341 M5m = Lm*cpueH5
342 # calcula o produto das matrizes de manejo e cpueH1
343 Manejo5m = M5m*y0
344 # itera para calc. da população futura através da pop. inicial com manejo
345 for k = 2:25, Manejo5m(:,k)=M5m*Manejo5m(:,k-1);end
346 # apresenta a figura para a tecnica
347 figure 14
348 plot(Manejo5f')
349 legend('C0','C1_m5','C2','C3','C4')
350 xlabel('Tempo (Trimestres)')
351 ylabel('Log(População)')
352 title('População de machos de M. salmoides no tempo por redes menores')
353 #clear all
354 #close all
355 #clc
356

```