

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 21/02/2024.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Protocolo tecnológico para gestão da  
capacidade de suporte ambiental e outorga  
da produção de tilápias em reservatório  
neotropical sob diferentes cenários  
climáticos, zootécnicos e ambientais**

**Elisa Maia de Godoy**

Jaboticabal, São Paulo  
2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Protocolo tecnológico para gestão da  
capacidade de suporte ambiental e outorga  
da produção de tilápias em reservatório  
neotropical sob diferentes cenários  
climáticos, zootécnicos e ambientais**

**Elisa Maia de Godoy**

**Orientador: Dr. Guilherme Wolff Bueno  
Coorientadora: Dra. Tavani Rocha Camargo**

Dissertação apresentada ao  
programa de Pós-Graduação em  
Aquicultura do Centro de Aquicultura  
da UNESP - CAUNESP, como parte  
dos requisitos para obtenção do título  
de Mestre.

Jaboticabal, São Paulo  
2022

G589p

Godoy, Elisa Maia de

Protocolo tecnológico para gestão da capacidade de suporte ambiental e outorga da produção de tilápias em reservatório neotropical sob diferentes cenários climáticos, zootécnicos e ambientais / Elisa Maia de Godoy. -- Jaboticabal, 2022

116 f. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Guilherme Wolff Bueno

Coorientadora: Tavani Rocha Camargo

1. Aquicultura. 2. Águas da União. 3. Capacidade de suporte. 4. Mudanças climáticas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** Protocolo tecnológico para gestão da capacidade de suporte ambiental e outorga da produção de tilápias em reservatório neotropical sob diferentes cenários climáticos, zootécnicos e ambientais

**AUTORA:** ELISA MAIA DE GODOY

**ORIENTADOR:** Dr. GUILHERME WOLFF BUENO

**COORIENTADORA:** Dra. TAVANI ROCHA CAMARGO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. GUILHERME WOLFF BUENO (Participação Virtual)  
Facul. de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira – FCAVR, Campus de Registro - UNESP, Registro - SP



Pesquisadora Dra. FLÁVIA TAVARES DE MATOS (Participação Virtual)  
Núcleo Temático de Pesca e Aquicultura / Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas - TO



Prof. Dr. GIANMARCO SILVA DAVID (Participação Virtual)  
Rôlo Regional Centro Oeste / Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio, Bauru - SP

Jaboticabal, 21 de fevereiro de 2022

## SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS .....	8
LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABELAS .....	12
AGRADECIMENTOS .....	14
DEDICATÓRIA.....	15
APOIO FINANCEIRO E INSTITUCIONAL .....	16
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	17
2. OBJETIVOS.....	24
3. REFERÊNCIAS .....	25
<b>1. CAPÍTULO I .....</b>	<b>31</b>
<b>PATENTE DE INVENÇÃO: PROCESSO DE CÁLCULO DA CAPACIDADE DE SUPORTE AMBIENTAL PARA PRODUÇÃO DE PESCADOS E OUTORGA EM ÁGUAS CONTINENTAIS DA UNIÃO.....</b>	<b>31</b>
Resumo:.....	31
1.1. Campo da invenção .....	32
1.2. Estado da técnica.....	32
1.3. Breve descrição da invenção: processo de estruturação do protocolo tecnológico.....	35
1.4. Desenvolvimento da proposta do protocolo .....	38
Etapa 1: <i>Benchmarking</i> dos processos de certificação e atributos ambientais para produção de pescado .....	38
Etapa 2. <i>Benchmarking</i> das abordagens para avaliação da capacidade de suporte ambiental para produção de pescado baseado no lançamento e concentração de fósforo na água .....	42
Etapa 3: Definição dos critérios que subsidiaram a escolha das equações e modelos a serem utilizados no protocolo.....	42
Etapa 4: Sequência das equações e modelos matemáticos utilizados.....	43
1.5. O Protocolo Tecnológico: etapas do processo de desenvolvimento e aplicação.....	45
Etapa 1: Análises ambientais gerais.....	45
1.1. Dados secundários .....	45
1.2. Dados <i>in loco</i> e analisados em laboratório.....	45
Etapa 2: Mensuração do potencial lançamento de resíduos fosfatados no ambiente aquático.....	47
2.1. Previsão da biomassa de pescado à ser produzida no empreendimento por meio do modelo do Coeficiente de Crescimento Térmico (TGC) .....	47

2.2. Modelagem bioenergética nutricional para definição do lançamento de efluentes oriundos da produção aquícola .....	48
Etapa 3: Determinação dos limites da capacidade de suporte ambiental para produção de pescados com base na concentração de fósforo na água .....	50
3.1. Capacidade de suporte ambiental baseada na concentração e lançamento de fósforo na água (CSAp) durante a produção de tilápia sob diferentes cenários climáticos, zootécnicos e ambientais.....	50
3.2. Avaliação do Índice de Estado Trófico (IET) da água durante a produção aquícola .....	54
Etapa 4: Análises para tomada de decisão e gestão da outorga para produção de tilápia em águas da União .....	55
4.1 Probabilidade da ocorrência dos cenários da CSAp por meio da Simulação estatística de Monte Carlo (SMC).....	55
1.6. REIVINDICAÇÕES.....	57
<b>2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>65</b>
<b>NOVA ABORDAGEM PARA MODELAGEM DA CAPACIDADE DE SUPORTE AMBIENTAL EM RESERVATÓRIO NEOTROPICAL SOB DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E DE PRODUÇÃO DA TILÁPIA DO NILO .....</b>	<b>65</b>
Resumo:.....	65
Abstract: .....	66
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>68</b>
2.1. Área de estudo.....	68
2.2. Levantamento de dados secundários, históricos e das condicionantes ambientais.....	71
2.3. Levantamento de dados <i>in loco</i> e análise em laboratório .....	71
<b>2.3.1.</b> Qualidade da água .....	71
<b>2.3.2.</b> Dieta e alimentação .....	71
<b>2.3.3.</b> Desempenho zootécnico .....	72
2.4. Mensuração do potencial lançamento de resíduos no ambiente aquático ..	72
<b>2.4.1.</b> Previsão da biomassa de pescado à ser produzida no empreendimento por meio da Modelagem Térmica de Crescimento Corporal (TGC).....	72
<b>2.4.2.</b> Modelagem bioenergética nutricional para definição do potencial lançamento de fósforo na água oriundo da piscicultura.....	73
<b>2.4.1.</b> Simulação da carga de resíduos da produção de tilápia sob diferentes cenários climáticos.....	74
2.5. Determinação da capacidade de suporte ambiental baseada na concentração de fósforo na água (CSAp) durante a produção de tilápia sob diferentes cenários climáticos, zootécnicos e ambientais .....	75

2.6. Avaliação do Índice de Estado Trófico (IET) da água durante a produção aquícola .....	78
2.7. Análises para tomada de decisão e gestão da outorga para produção de tilápia no reservatório de Chavantes.....	78
<b>2.7.1.</b> Probabilidade da ocorrência dos cenários da CSAp por meio da Simulação de Monte Carlo (SMC) .....	78
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>79</b>
3.1. Dados secundários, históricos e condicionantes ambientais .....	79
3.2. Dados <i>in loco</i> e laboratório.....	81
<b>3.2.1.</b> Qualidade da água .....	81
<b>3.2.2.</b> Dieta e alimentação .....	83
<b>3.2.3.</b> Desempenho zootécnico .....	83
3.3. Mensuração do potencial lançamento de resíduos no ambiente aquático ..	84
<b>3.3.1.</b> Previsão da biomassa de pescado à ser produzida no empreendimento por meio de Modelagem Térmica de Crescimento Corporal (TGC).....	84
<b>3.3.2.</b> Modelagem bioenergética nutricional para definição do lançamento de fósforo oriundo da piscicultura .....	85
3.4. Determinação da capacidade de suporte ambiental para produção de tilápia com base na concentração e lançamento de fósforo na água (CSAp) sob diferentes cenários climáticos, zootécnicos e ambientais.....	89
3.5. Avaliação do Índice de Estado Trófico (IET) .....	93
3.6. Análises para tomada de decisão e gestão da outorga para produção de tilápia no reservatório de Chavantes.....	93
<b>3.6.1.</b> Probabilidade da ocorrência dos cenários da CSAp por meio da Simulação Monte Carlo (SMC) .....	93
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>96</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>105</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>116</b>

## LISTA DE ABREVIATÖES E SIGLAS

[P]	Concentraçãõ de fósforo na água
A	Área de superfície da água
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
B	Produção autorizável de peixes
BF	Biomassa final
CDA	Coeficiente de digestibilidade aparente
CE	Condutividade elétrica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CS	Capacidade de suporte
CSA	Capacidade de suporte ambiental
CSAp	Capacidade de suporte ambiental para fósforo
d	Dias
EA	Eficiência alimentar
EB	Energia bruta
ED	Energia digestível
GPD	Ganho de peso diário
HeE	Metabolismo basal
HiE	Incremento de calor da alimentação
IE	Ingestão energética
IET	Índice de Estado Trófico
IP	Ingestão de fósforo
JV	Fase juvenil
L	Lipídio
La	Carga anual de fósforo no reservatório
LD	Lipídio digestível
Lr	Carga máxima de fósforo autorizável em todo o reservatório
MO	Mortalidade
MS	Matéria seca
MSD	Matéria seca digestível
N	Nitrogênio
OD	Oxigênio dissolvido

OEMAS	Órgãos Estaduais de Meio Ambiente
P	Fósforo total
Pa	Fósforo lançado na água
PB	Proteína bruta
Pd	Fósforo digestível
PD	Proteína digestível
Pf	Peso corporal final
PF	Fósforo nas fezes
pH	Potencial hidrogeniônico
Pi	Peso corporal inicial
PID	Fósforo ingerido digestível
PM	Peso de mercado
Pp	Fósforo retido no peixe
Pr	Fósforo na ração
PRA	Resíduos da perda de ração aparente durante a alimentação
R.A.	Reservatório de acumulação
RD	Resíduos dissolvidos
RE	Energia retida
REP	Relação de eficiência proteica
Rp	Coeficiente de retenção de fósforo
RP	Retenção de fósforo
RS	Resíduos sólidos
RS	Resíduos sólidos
RSS	Soma dos quadrados dos resíduos
RT	Resíduos totais
SA	Salinidade
SIN	Sistema Interligado Nacional
SIPOT	Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro
SMC	Simulação Monte Carlo
Ta	Temperatura da água
Tar	Temperatura do ar
TCA	Taxa de conversão alimentar
Td	Tempo de residência da água
TGC	Coeficiente de crescimento térmico

TR	Transparência da água
UE	Energia urinária
UHE	Usina hidrelétrica
Z	Excreção branquial
z	Profundidade média do reservatório
$\rho$	Taxa de renovação da água do reservatório

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1.** Processo de desenvolvimento do protocolo tecnológico para identificação e definição dos critérios e das equações à serem utilizadas para gestão da capacidade de suporte ambiental. ....36
- Figura 2.** Protocolo tecnológico para gestão da capacidade de suporte ambiental com base na concentração e no lançamento de fósforo na água para tomada de decisão e gestão da outorga para produção de tilápia em empreendimentos aquícolas instalados em águas da União.....37
- Figura 3.** Estrutura dos cenários da CSAp com simulações da carga máxima de fósforo autorizável no reservatório (kg/ano) e máxima produção autorizável de peixes (t/ano). ....52
- Figura 4.** Mapa demonstrativo da probabilidade da ocorrência dos cenários da CSAp e da máxima produção autorizável de tilápia em um reservatório (t/ano) considerando o lançamento de fósforo na água (kg/t). ....56

### CAPÍTULO II

- Figura 1.** Vista aérea da fazenda de produção comercial da tilápia em sistemas de tanques-rede em Chavantes, São Paulo, Brasil. Fonte: Piscicultura Cristalina. ...69
- Figura 2.** Ilustração da morfologia dendrítica do reservatório de Chavantes e localização da área de estudo (Piscicultura Cristalina). Fonte: Organização da autora.....70
- Figura 3.** Estrutura dos cenários da CSAp em diferentes situações de operação do reservatório e com variação de dados zootécnicos, climáticos e ambientais. ....76
- Figura 4.** Curva de crescimento corporal da tilápia observada na piscicultura e estimada pelo algoritmo (TGC2). ....85
- Figura 5.** Mapa da probabilidade da ocorrência dos cenários da CSAp e da máxima produção autorizável de tilápia no reservatório de Chavantes (SP) considerando o lançamento de fósforo na água.....95

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

- Tabela 1.** Benchmarking dos processos de certificação ambiental e condicionantes pontuados pelos órgãos brasileiros para aquicultura em lagos e reservatórios com foco na geração de efluentes na água. ....39
- Tabela 2.** Benchmarking das abordagens utilizadas para avaliação da capacidade de suporte do ambiente aquático continental para produção de pescados. ....42
- Tabela 3.** Modelos e equações selecionadas para gestão da capacidade de suporte ambiental do fósforo na água (CSAp) para tomada de decisão e gestão da outorga da produção de tilápia em águas da União. ....44
- Tabela 4.** Valores do Índice de Estado Trófico e respectivas classes de trofia.....55

### CAPÍTULO II

- Tabela 1.** Características morfométricas e hidrológicas do reservatório neotropical de Chavantes, São Paulo, Brasil.....70
- Tabela 2.** Valores do Índice de Estado Trófico e respectivas classes de trofia. ...78
- Tabela 3.** Valores das variáveis estocásticas de entrada na simulação de Monte Carlo (SMC) e tipo de distribuição dos valores para todos os cenários produtivos. ....79
- Tabela 4.** Dados ambientais secundários para análise e acompanhamento no campo durante a produção de tilápia no reservatório de Chavantes - SP. ....80
- Tabela 5.** Condicionantes ambientais exigidas pelos Oemas no processo de licenciamento ambiental para aquicultura em águas continentais da União. ....80
- Tabela 6.** Valores médios dos parâmetros da qualidade da água durante um ciclo de produção de *O. niloticus* na área aquícola no reservatório de Chavantes, São Paulo.....82
- Tabela 7.** Composição química e digestibilidade de nutrientes das dietas comerciais utilizadas durante as três fases de produção do cultivo de tilápia no reservatório de Chavantes, SP. ....83
- Tabela 8.** Parâmetros de desempenho da tilápia em tanques-rede na área aquícola no reservatório de Chavantes para as fases de produção Juvenil I (JVI), Juvenil II (JVII) e peso de mercado (PM). ....84
- Tabela 9.** Exponenciais e coeficientes de crescimento térmico por fase de produção da *O. niloticus* em tanques-rede no reservatório neotropical. ....84

<b>Tabela 10.</b> Rações de baixa, média e alta densidade energética com diferentes níveis de fósforo utilizadas para simulação da liberação de resíduos no meio aquático. ....	87
<b>Tabela 11.</b> Simulações da liberação de resíduos no meio aquático para a produção de uma tonelada de <i>Oreochromis niloticus</i> em tanques-rede na área aquícola no reservatório de Chavantes sob diferentes cenários climáticos e zootécnicos.....	88
<b>Tabela 12.</b> Cenários da capacidade de suporte ambiental para fósforo (CSAp) com simulações da carga máxima de fósforo e a produção máxima autorizável de peixes no reservatório de Chavantes e na área aquícola estudada, sob diferentes cenários climáticos e zootécnicos. ....	90
<b>Tabela 13.</b> Índice de Estado Trófico da água durante o ciclo de produção da tilápia na área aquícola estudada no reservatório de Chavantes, São Paulo. ....	93
<b>Tabela 14.</b> Análise de Simulação Monte Carlo (SMC) com 10.000 <sup>1</sup> interações aleatórias, para as variáveis de fósforo lançado na água (Pa) e a produção máxima de peixes (B) nos cenários padrão Sipot e Fartura R.A. ....	94

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, pela saúde.

Aos meus pais, Vania e Edson, pelo amor e apoio incondicional e por “serem” verdadeiramente presentes em minha vida. Conheço as batalhas diárias e a trajetória ao longo dos anos para proporcionar aos seus filhos uma vida melhor, com mais oportunidades. Admiro, respeito e me inspiro! Ao meu irmão, Arthur, pelo carinho e por todos os conselhos ao longo dessa jornada, eles foram fundamentais para meu desenvolvimento pessoal e profissional, sobretudo para a tomada de decisões.

Ao meu namorado, Orlando, pela parceria, amor e cuidado. Obrigada pela paciência e compreensão nos momentos difíceis, por me apoiar nas decisões e caminhar ao meu lado!

Ao meu orientador, Dr. Guilherme Wolff Bueno, por acreditar no meu potencial e investir seu tempo no meu desenvolvimento. Um verdadeiro mentor. Obrigada pelo apoio, incentivo, pela amizade e por me desafiar a cada etapa do processo. À minha coorientadora, Dra. Tavani Rocha Camargo, por me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho, compartilhando seus conhecimentos científicos e conselhos ao longo do caminho, eles foram realmente valiosos. Agradeço ao nosso time de trabalho do Laboratório de Inovação e Bioeconomia Aplicada na Aquicultura – BE<sup>4</sup>, os quais tenho a felicidade de chamar de amigos! Obrigada pela parceria e apoio.

A todos os amigos, presentes que a vida me deu. Obrigada pela amizade verdadeira (cada vez mais rara), pela sinceridade, pelos sorrisos e por “serem” tão próximos mesmo distantes.

A Dra. Flávia Tavares de Matos e ao Dr. Gianmarco Silva David por aceitarem serem membros da banca examinadora deste trabalho, pelo tempo e por todas as considerações para aprimorar essa dissertação. Por fim, deixo meu agradecimento aos professores e colaboradores do Centro de Aquicultura da Unesp (Caunesp) por todo o esforço dedicado para que fosse possível a realização desse mestrado.

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

## DEDICATÓRIA

Dedico com todo meu amor aos meus pais, Vania e Edson, que realizaram com excelência a difícil tarefa de educar; e ao meu tio, José Gruber (em memória), que tem um lugar especial em meu coração.

“Mar calmo nunca fez bom marinheiro”.

(Ditado popular)

## APOIO INSTITUCIONAL E FINANCEIRO

Agradecemos a todos os colegas e *stakeholders* da cadeia produtiva da tilapicultura brasileira que compartilharam ideias e contribuíram com informações essenciais para este artigo. O desenvolvimento desta dissertação contou com o apoio fundamental da Piscicultura Cristalina Ltda, do Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, da Associação Brasileira da Piscicultura – PeixeBR, da Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios – APTA, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA por meio do Departamento de Desenvolvimento e Ordenamento da Aquicultura - DEPOA/SAP. Além do apoio da Agência Nacional de Águas – ANA e do Departamento de Ciências Agrárias e Aquícolas, Faculdade de Ciências, Universidade de Magallanes, Chile e do Departamento de Pesca e Aquicultura da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO/ONU.

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (Código de Financiamento 001) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo fornecimento das bolsas pesquisa científica que possibilitaram a realização do presente trabalho (CAPES n. 88887.486401/2020-00 e 88887.500076/2020-00; CNPq n.313135/2019-3). A EMBRAPA Meio Ambiente - Programa BRS Aqua pelo apoio financeiro. Este estudo também contou com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos nº 2018/50.022-4, nº 2018/50022-4 e nº 2019/07948-6 integrantes dos Programas de Inovação Tecnológica – PPFMCG, Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais e SPRINT – *São Paulo Researchers in International Collaboration* da FAPESP. E por fim, ao “Aquário de Ideias”, a Incubadora de Empresa de Base Científica e Tecnológica da UNESP no Vale do Ribeira e do Centro de Aquicultura da Unesp e o Laboratório de Inovação e Bioeconomia Aplicada na Aquicultura – iB<sup>4</sup> Lab’s pelo apoio operacional e mentoria durante todo o mestrado.

## INTRODUÇÃO GERAL

A aquicultura é uma das atividades do setor de produção de alimentos de mais rápido crescimento, desempenhando um papel importante para o fornecimento de alimentos, segurança alimentar e geração de emprego e renda principalmente em países em desenvolvimento (FAO, 2020). De acordo com o relatório “*Fish to 2030: Prospects for Fisheries and Aquaculture*”, aproximadamente 62% do consumo global de peixes será derivado da aquicultura até 2030, com tilápia, bagre e carpa sendo as principais espécies. No Brasil, seis em cada dez peixes produzidos são tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), classificando o país como quarto maior produtor mundial da espécie, isto representa aproximadamente 61% da produção nacional de pescados (Peixe BR, 2021), sobretudo em sistemas de tanques-rede instalados em lagos e reservatórios de águas continentais.

Entretanto, o crescimento exponencial da produção tem levantado preocupações em relação as possíveis externalidades ambientais que estes sistemas produtivos possam causar no ambiente aquático, influenciando economicamente e ambientalmente este setor do agronegócio por necessitar diretamente da determinação da capacidade de suporte (CS) deste ecossistema em relação ao de recursos naturais que promovem o fornecimento de bens e serviços de maneira sustentável (Primavera, 2006; Edwards, 2015).

O termo “Capacidade de Suporte”, apesar de receber várias definições e abordagens, tem sido historicamente abordado por cientistas das mais diversas áreas como um indicador ambiental (Bueno et al., 2011). Este conceito, começou a ser empregado na década de 1950 por Allan (1949), Scheffer (2006) e posteriormente por Odum (1988) ao estudarem ecologia de populações e comunidades. Em geral, foi definido como uma unidade de grandeza que estima a quantidade de determinado elemento ou de organismos que podem ser mantidos em um dado espaço ou ambiente, sem deteriorar ou modificar significativamente as características elementares desse ambiente (Ross et al., 2013, Ferreira et al., 2013).

Seguindo esta abordagem, o setor da aquicultura tem utilizado estudos da CS de ecossistemas aquáticos capazes de estabelecer medidas e cenários confiáveis à implantação de atividades e seu gerenciamento são fundamentais para promover a sustentabilidade dos recursos naturais (Bueno et al., 2011; Weitzman e Figueira, 2020).

O conceito de sustentabilidade também é amplo e aplicado em vários casos. Valenti et al. (2018) citam que o emprego do termo “sustentabilidade” para os sistemas aquícolas, é considerado como a gestão dos recursos financeiros, tecnológicos, institucionais, naturais e sociais, garantindo a satisfação contínua das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras. Além disto, enfatizam que a sustentabilidade é um conceito antropocêntrico que considera as necessidades humanas acima de tudo, excluindo outros tipos de vida, a menos que afetem a espécie humana. Portanto, empreendimentos aquícolas sustentáveis devem persistir ao longo das gerações humanas.

De acordo com Boyd et al. (2020), a aquicultura ambientalmente sustentável tem por objetivo o fornecimento contínuo de nutrientes aquáticos cultivados que são benéficos para o consumo humano, sem prejudicar os ecossistemas existentes ou exceder a capacidade do planeta de renovar os recursos naturais necessários para a produção aquícola.

Nesse contexto, dentre os potenciais impactos relacionados à aquicultura em lagos e reservatórios continentais, os principais estão ligados a liberação de resíduos nitrogenados e fosfatados no ambiente, os quais comumente são provenientes das dietas e sobras de ração não consumida durante a alimentação e podem afetar diretamente a capacidade de suporte ambiental e colaborar com processos de eutrofização do ambiente aquático (Bureau e Hua, 2010; David et al., 2017a, 2017b; Bueno et al. 2019; Boyd et al. 2020).

Nas regiões tropicais e neotropicais esses nutrientes aumentam seu potencial de ação poluidora, tornando os principais elementos a serem avaliados e monitorados no ambiente aquático (Tundisi e Tundisi, 2008). Em relação aos resíduos nitrogenados, estes têm seu valor biológico dado pela proteína oriunda principalmente da dieta dos animais a qual depende de sua digestibilidade e de seu

equilíbrio de aminoácidos em relação às exigências nutricionais dos peixes (NRC, 2011), ou seja, um desequilíbrio de aminoácidos pode levar à diminuição da deposição de proteína e ao aumento da excreção de nitrogênio no ambiente aquático (Cai et al., 2016).

Os resíduos fosfatados tratam-se de um dos mais preocupantes neste contexto, uma vez que o fósforo (P) é um elemento limitante para o crescimento de algas na água, promovendo a eutrofização e impacto ambiental no ambiente aquático. Assim, quando excretado pelos peixes em quantidades e disponibilidade biológica em excesso, pode afetar diretamente a qualidade da água ou do sedimento no fundo dos lagos e reservatórios (Tundisi e Tundisi, 2008; Canale et al., 2016; Bueno et al., 2017).

Neste cenário, Penczak et al. (1982) relatam que somente 32% do P é utilizado para o metabolismo do peixe, e os 68% restantes são transferidos para o meio ambiente. Montanhini Neto e Ostrensky (2013), também citam que para produzir uma tonelada de tilápia são lançados no ambiente aproximadamente 1.040 kg de matéria orgânica, 45 kg de nitrogênio e 14 kg de fósforo. Alves e Baccarin (2005) observaram que 66% do fósforo aportado pelo arraçamento intensivo em fazendas de peixes vão para o sedimento, 11% ficam dissolvidos na água e 23% são incorporados no peixe. Situações que reforçam a necessidade de avaliar a CS e adotar operações sustentáveis nestes sistemas de produção evitando a externalidade ambiental promovida pela atividade aquícola.

O lançamento de resíduos no ambiente aquático torna-se ainda mais preocupante devido as mudanças climáticas com a ocorrência de eventos extremos como secas, inundações, tempestades, aumento da temperatura do ar e da água (Cochrane et al., 2009). A ocorrência destes eventos em ambientes com longo tempo de residência e pobre circulação de água, como alguns lagos e reservatórios, pode resultar em impactos mais intensos e se estender por uma área maior (Matta et al., 2019; D'Abramo e Slater, 2019).

Estes eventos são os principais problemas apontados por investidores, aquicultores, órgãos de fomento e legalização desta atividade, preocupação que agrava se ao considerarmos a existência de restrições e exigências legais em

alguns países para a produção de peixes em lagos e reservatórios. Em várias regiões, é necessária uma licença ambiental que tem como base a quantidade de fósforo liberada pelos peixes no ambiente aquático (Gunkel et al., 2015; Bueno et al., 2015), a qual é determinada por meio de um estudo da CS do ambiente aquático.

Segundo Ross et al. (2013), a capacidade de suporte ecológica ou ambiental (CSA) empregada na aquicultura é definida como a magnitude da produção aquícola que pode ser suportada sem levar a mudanças significativas nos processos ecológicos, serviços, espécies, populações ou comunidades no meio ambiente. A previsão da CSA é crucial para avaliar e minimizar o potencial impacto do desenvolvimento e expansão da aquicultura (Gibbs, 2007). Para isso, é necessário considerar a extensão espacial dos efeitos e as interações da atividade com o ambiente aquático onde os empreendimentos aquícolas estão instalados (Weitzman e Filgueira 2019).

No Brasil, esta temática é abordada na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA N°430, de 13 de maio de 2011, a qual dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, que complementa e altera a Resolução N°357, de 17 de março de 2005. No documento, o artigo 7º informa que ao órgão ambiental competente poderá exigir, nos processos de licenciamento ou de sua renovação, a apresentação de estudo de capacidade de suporte do corpo receptor, ou seja, quantificar os resíduos sólidos do cultivo de peixes em águas brasileiras.

Outro instrumento normativo que norteia sobre a CS trata-se do Decreto N°10.576, de 14 de dezembro de 2020, em seu Capítulo IV, é reforçado que na hipótese de outorgas de direito de uso em lagos e reservatórios de domínio da União, o requerimento contemplará toda a capacidade de suporte para a prática da aquicultura e a compatibilidade da produção aquícola e da carga média de fósforo de cada sistema de cultivo será avaliada, a ser objeto de cessão de uso de espaço físico, com os limites estabelecidos na outorga.

Assim, se faz necessário o uso de metodologias adequadas para quantificação de resíduos para a adoção de práticas de produção mais sustentáveis

pela indústria aquícola e, conseqüentemente, a melhor gestão dos recursos naturais. Sendo de extrema importância e urgência a adoção de tecnologias, ferramentas e processos que permitam à avaliação, monitoramento e gestão da CSA dos ambientes aquícolas utilizados para produção animal. A CSA deve ser o principal indicador para tomada de decisão sobre a liberação das licenças e outorgas de uso das águas para produção de pescados, para obtenção de crédito créditos financeiros pelos aquicultores e investidores e para o planejamento financeiro e produtivo. Sendo que, em um horizonte futuro, a viabilidade deste negócio está diretamente relacionada as limitações do ambiente onde estes empreendimentos estão instalados.

O atual avanço tecnológico, têm impulsionado o desenvolvimento de modelos matemáticos de simulação e otimização de impactos ambientais os quais são amplamente aplicados em estudos hidrológicos de sistemas complexos, como reservatórios de água (Lopes e Santos, 2002). Embora uma das principais estratégias utilizadas pelos órgãos gestores e fiscalizadores para quantificar a carga de efluentes da piscicultura consista no uso de modelos hidrodinâmicos, as agências ambientais brasileiras atualmente não têm uma metodologia definida que atenda todos os cenários e situações que envolvem um país continental como é o caso do Brasil.

Em geral, vários estudos e pesquisas têm sido desenvolvidas nos últimos anos visando quantificar e mensurar os produtos residuais que os diferentes tipos de cultivos aquícolas (Cho e Bureau, 1998; Lupatsch e Kissil, 1998; Yi, 1998; Bureau e Hua, 2010; Azevedo et al., 2011), estes utilizam modelos matemáticos e realizam simulações de cenários de lançamento de efluentes ou de carga pontuais de resíduos oriundos do metabolismo dos animais. Diante da necessidade de algo mais preciso capaz de prever os resíduos da aquicultura liberados no ambiente aquítico, surgiram modelos fatoriais baseado em energia, por exemplo, são capazes de oferecer uma maneira simples para descrever ou prever o fluxo de energia nos organismos em relação a nutrientes específicos, considerando o processo de utilização e transformação dos nutrientes absorvidos para a síntese corporal (Cho, 1992; Cho e Bureau, 1998; Jobling, 2011; Chowdhury et al., 2013).

No entanto, existe uma necessidade de integrar estas abordagens de quantificação de resíduos aquícolas com modelagem hidrodinâmica de ambientes aquáticos para obtenção de soluções mais precisas em determinar a CSA que é dinâmica e demanda uma série de fatores zootécnicos, climáticos e ambientais. Uma proposta foi desenvolvida por Dillon e Rigler (1974) assimilando conceitos propostos por Vollenweider (1968). Segundo Penariol (2020) este modelo de balanço de massas é uma das mais básicas aplicações de modelagem para aquicultura, baseia-se no balanço de massas de P com foco para estimar a capacidade suporte ecológica de lagos de água doce, assumindo que o P limita o crescimento do fitoplâncton e, portanto, a eutrofização.

Posteriormente, Beveridge (1984) inspirou em alguns conceitos dessa abordagem e propôs um modelo simples para a determinação da CSA para produção de pescados, esta metodologia é empregada atualmente pelo governo federal por meio da agência ANA para a emissão da outorga de uso da água para empreendimentos aquícolas em águas da União. Bueno et al. (2017) enfatizam que existe uma carência de modelos ideais para determinação da CSA com o foco na aquicultura, com destaque para as dificuldades de determinação das cargas específicas oriundas do cultivo, das fontes externas, e das interações que ocorrem no ambiente aquático. Soma-se a dificuldade em obter dados de qualidade de água de séries históricas precisos que possam ser incorporados aos modelos de CSA.

Diante do exposto, o projeto de pesquisa buscou elaborar um protocolo tecnológico que irá auxiliar na gestão da capacidade de suporte ambiental do ecossistema aquático onde a piscicultura está inserida, além de garantir a manutenção da outorga e licenciamento ambiental do empreendimento. Este processo permitirá identificar os principais atributos para gestão do lançamento de resíduos aquícolas e manutenção do ecossistema aquático somados ao acompanhamento das práticas empregadas na piscicultura.

O desenvolvimento do protocolo proposto consiste na aplicação de uma sequência de processos que permitirá definir a CSA para produção de pescados em tanques-rede sob diferentes cenários climáticos, zootécnicos e ambientais neotropicais. Esta abordagem irá incentivar um processo mais justo, participativo e de baixo custo para gestão dos empreendimentos aquícolas instalados em lagos e

reservatórios continentais. Como premissa principal, o protocolo irá atender normas aplicadas para a indústria da tilápia no Brasil.

Desta forma, como resultado desta dissertação de mestrado foram elaborados dois capítulos, sendo o Capítulo 1 intitulado: “**Patente de invenção: processo de cálculo da capacidade de suporte ambiental para produção de pescados e outorga em águas continentais da União**”, que será submetido para depósito de uma patente de invenção no Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI. O capítulo 2, intitulado: “**Modelagem da capacidade de suporte ambiental em reservatório neotropical sob diferentes condições climáticas e de produção da tilápia do Nilo**” será submetido para o *Journal Aquaculture Environment Interactions*.

## 5. Conclusões

A aplicação desta nova abordagem é eficiente e obteve uma precisão de 96% em relação à estimativa da capacidade de suporte ambiental do fósforo para produção de pescados sob diferentes condições climáticas e de produção da tilápia (*Oreochromis niloticus*) criadas em tanques-rede em um reservatório neotropical.

O uso de menores níveis de fósforo total digestível das rações, mesmo sob maiores temperaturas da água, pode reduzir em até duas vezes o lançamento de fósforo no ambiente, resultando no incremento da capacidade de suporte ambiental para produção de pescados neste ambiente. Em média, 50% dos cenários e simulações avaliadas para a capacidade de suporte ambiental baseada na concentração e lançamento de fósforo na água encontram-se na faixa produtiva de 22.000 a 50.000 toneladas de tilápia ao ano no reservatório de Chavantes, São Paulo.

## 6. Referências Bibliográficas

- Agostinho, A.A.; Gomes, L.C.; Santos, N.C.L.; Ortega, J.C.G.; Pelicice, F.M. 2016. Fish assemblages in Neotropical reservoirs: colonization patterns, impacts and management. *Fisheries Research*, v.173, p.26-36. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.04.006>.
- Alves R.C.P.; Baccarin A.L. 2005. Efeitos da produção de peixes em tanques-rede sobre sedimentação de material em suspensão e de nutrientes no Córrego da Arribada (UHE Nova Avanhandava), baixo Rio Tietê. In: *Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata* (ed. by M.G. Nogueira, R. Henry & A. Jorcin), pp 329–348. São Carlos, Rima.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2009. Nota Técnica n.009/2009/GEOOUT/SOF-ANA: atualização na metodologia de análise de pedidos de outorga para piscicultura em tanques-rede. Brasília, 2009. 3p.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2020. Catálogo de metadados da ANA. Relatório técnico de atualização das curvas Cota x Área x Volume da UHE de Chavantes. 115p. Disponível em <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b8f0487a-df73-4f8d-8b22-bb49cf9f3683>.
- APHA, 2017. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington, DC.
- Ayroza, D.M.M.R. 2012. Características limnológicas em áreas sob influência de piscicultura em tanques-rede no reservatório da UHE de Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, Brasil. Programa de Pós Graduação em Aquicultura da Unesp – Centro de Aquicultura da Unesp. Jaboticabal. 130p. Tese de Doutorado.
- Beveridge M.C.M. 1984. *The Environmental Impact of Freshwater Cage and Pen Fish Farming and the Use of Simple Models to Predict Carrying Capacity*. FAO Fisheries Technical Paper 255. FAO, Rome. 131p.
- Beveridge M.C.M. 2004. *Cage aquaculture*. Fishing News Books, Oxford, 3 ed. 368 p.
- Bohnes, F.A.; Lauren, A. 2021. Environmental impacts of existing and future aquaculture production: comparison of technologies and feed options in

- Singapore. *Aquaculture*, v. 532, p. 736001. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736001>.
- Boscolo, W.R.; Feiden, A.; Bombardelli, R.A. Signor, A; Gentelini, A.L.; Souza, B.E. 2005. Exigências de fósforo para alevinos de tilápiado-nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum Animal Sciences*. v.27, p.87-91, 2005.
- Boyd, C. E., and B. Green. 1998. Dry matter, ash, and elemental composition of pond-cultured tilapia (*Oreochromis aureus* and *O. niloticus*). *J. World Aquacult. Soc.*, v.29: p.125–128.
- Boyd, C. E., and D. Teichert-Coddington. 1995. Dry matter, ash, and elemental composition of pond-cultured *Penaeus vannamei* and *P. stylirostris*. *J. World Aquacult. Soc.*, v.26: p.88–92. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1995.tb00214.x/full>.
- Boyd, C.E., Tucker, C., Mcnevin, A., Bostick, K., Clay, J., 2007. Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science* 15, 327-360. <https://doi.org/10.1080/10641260701624177>.
- Boyd, C.E.; Tucker, C.S. 1998. *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Boston: Kluwer Academic Publishers. 700p.
- Brandão, H.; Lange, D.; Blanco, D.R.; Ramos, I.P.; Sousa, J.Q.D.; Nobile, A.B.; Carvalho, E.D. 2021. Rede de interações peixe-alimento ao redor de piscicultura com tanque-rede em um reservatório neotropical. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v.33. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X10919>.
- Brande, M.R. 2019. Modelagem financeira e risco econômico da produção comercial de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em lagos e reservatórios tropicais. Jaboticabal: Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista. 102 p. Dissertação de Mestrado.
- Bueno, G. W., Feiden, A., Neu, D. H., Lui, T. A., Wächter, N., Boscolo, W. R. 2012. Digestibilidade do fósforo em dietas como estratégia nutricional para redução de efluentes da tilapicultura. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.64, p.183-191. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352012000100026>.
- Bueno, G. W.; Mattos, B. O.; Neu, D. H.; David, F. S.; Feiden, A.; Boscolo, W. R. 2019. Stability and phosphorus leaching of tilapia feed in water. *Ciência Rural*, v.49, p.1-8. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180429>.

- Bueno, G.W. 2015. Modelo bioenergético nutricional e balanço de massas para o monitoramento e estimativa de efluentes da produção comercial de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em reservatório tropical. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. 127p. Tese de Doutorado.
- Bueno, G.W.; Bureau, D.; Skipper-Horton, J.O.; Roubach, R.; Mattos, F.T.; Bernal, F.E.M. 2017. Mathematical modeling for the management of the carrying capacity of aquaculture enterprises in lakes and reservoirs. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.52, n.9, p.695-706. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000900001>.
- Bueno, G.W.; Matos, F.T.; Canzi, C.; Sampaio, M.B.; Barone, R.S.C.; Roubach, R. 2011. A Capacidade de Suporte: Produção de Peixes em Reservatórios. Panorama da Aquicultura, v. 21, p. 48-63.
- Bureau, D., K. Hua, C. Y. Cho. 2006. Effect of feeding level on growth and nutriente deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*) growing from 150 to 600 g. Aquaculture Research. 37: 1090-1098. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01532.x>.
- Byron, C.; Costa-Pierce, B.A. 2010. Carrying capacity tools for use in the implementation of an ecosystems approach to aquaculture. In: FAO expert workshop on aquaculture site selection and carrying capacity estimates for inland and coastal waterbodies. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, UK, 6–8 Dec 2010.
- Calixto, E. S., Santos, D. F. B., Lange, D., Galdiano, M. S., Rahman, I. U. 2020. Aquaculture in Brazil and worldwide: overview and perspectives. Journal of Environmental Analysis and Progress, v. 5, n. 1, p. 098-107. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2753.098-107>.
- Câmara Técnica de Gestão de Usos Múltiplos de Recursos Hídricos (CT-UM) e Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRG). Ofício CRH nº 03/2021 de 14 de janeiro de 2021. Parecer CT-UM nº 01/2021. 16p. Disponível em <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/events//CRH/9456/parecer-ct-um-para-o-crh-09fev2021.pdf>.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnology and oceanography, v.22, n.2, p.361-369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>.

- Cho, C.Y.; Bureau, D.P. 1998. Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. *Aquatic Living Resources*, v.11, p.199-210. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(98\)89002-5](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)89002-5).
- Chowdhury, M.A.K.; Siddiqui, S.; Hua, K.; Bureau, D.P. 2013. Bioenergetics-based factorial model to determine feed requirement and waste output of tilapia produced under commercial conditions. *Aquaculture*, v.410/411, p.138-147. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.06.030>.
- CONAMA - Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>.
- Correia, M.F.; Dias, M.A.F.S. 2003. Variação do nível do reservatório de Sobradinho e seu impacto sobre o clima da região. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 1, p.157-168.
- D'Abramo, L.R.; Slater, M.J. 2019. Climate change: Response and role of aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, v.50, n.4. p.710-714. <https://doi.org/10.1111/jwas.12643>.
- Dantas, M.C.; Attayde, J.L. 2007. Nitrogen and phosphorus content of some temperate and tropical freshwater fishes. *Journal of Fish Biology*. v. 70, n. 1, p. 100-108. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01277.x>.
- David, F. S.; Proença, D. C.; Valenti, W. C. 2017b. Phosphorus Budget in integrated multitrophic aquaculture systems with Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, and Amazon River Prawn, *Macrobrachium amazonicum*. *Journal of the World Aquaculture Society*, v.48, n.3, p.402–414. <http://dx.doi.org/10.1111/jwas.12404>.
- David, G. S., Carvalho, E. D. D., Lemos, D., Silveira, A. N., Dall'Aglio-Sobrinho, M. 2015. Ecological carrying capacity for intensive tilapia (*Oreochromis niloticus*) cage aquaculture in a large hydroelectrical reservoir in Southeastern Brazil. *Aquacultural Engineering*, v.66, p.30-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.02.003>.
- Dillon, P.J.; Rigler, F.H. 1974. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentration in lake water. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, v.31, p.1771-1778. <https://doi.org/10.1139/f74-225>.

- Dumas, A.; France, J.; Bureau, D.P. 2010. Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going? *Aquaculture Research*, 41, 161-181. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02323.x>.
- Falconer, L., Ozretich, R., Ekpeki, A., Telfer, T. 2019. Carrying capacity and production models for aquaculture within freshwater lake systems in Europe. EU H2020 TAPAS project Deliverable 5.6 Report. 21p.
- Ferreira, J.G.; Grant, J.; Verner-Jefferys, D.W.; Taylor, N.G. 2013. Modelling frameworks for determination of carrying capacity for aquaculture. In: Christou P, Savin R, Costa-Pierce B, Misztal I, Whitelaw B (eds) *Sustainable Food Production*. Springer, New York, NY. p. 986–1049.
- Ferreira, J.G.; Hawkins, A.J.S.; Monteiro, P.; Moore, H.; Service, M.; Pascoe, P.L.; Ramos, L.; Sequeira, A. 2008. Integrated assessment of ecosystem-scale carrying capacity in shellfish growing areas. *Aquaculture*, v. 275, n. 1-4, p. 138-151, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.018>.
- Fialho, N.S.; Valenti, W.C.; David, F.S.; Godoy, E.M.; Proença, D.C.; Roubach, R.; Bueno, G.W. 2021. Environmental sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a neotropical region. *Ecological Indicators*, v.129, p.108008. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108008>.
- Fitzsimmons, K. 2021. Tilapia farming: prospects of the future. International Technical Seminar on Tilapia. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. Disponível em [http://infofish.org/tilapia/media/attachments/2021/12/02/keynote-2\\_fitssimmons\\_tilapia-farming-prospects-of-the-future.pdf](http://infofish.org/tilapia/media/attachments/2021/12/02/keynote-2_fitssimmons_tilapia-farming-prospects-of-the-future.pdf).
- Furuya et al. 2010. Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias. Toledo: GFM, 100p.
- Gentle, J.E. 1998. Random number generation and Monte Carlo methods. Springer, New York, New York, USA.
- Glencross, B.D. 2008. A factorial growth and feed utilization model for barramundi, *lates calcarifer*, based on Australian production conditions. *Aquaculture Nutrition*, v.14, n.4, p.360-373, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00543.x>.
- Godoy, E. M., David, F. S., Fialho, N. S., Proença, D. C., Camargo, T. R., Bueno, G. W. 2022. Environmental sustainability of Nile tilapia production on rural

- family farms in the tropical Atlantic Forest region. *Aquaculture*, v. 547, p. 737481. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737481>.
- Hardy, R.W. 1999. Collaborative opportunities between fish nutrition and other disciplines in aquaculture: an overview. *Aquaculture*, v. 177, n. 1-4, p. 217-230. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00086-1).
- Hardy, R.W.; Gatlin, D. 2002. Nutritional strategies to reduce nutrient losses in intensive aquaculture. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.
- Houlihan, D.; Boujard, T.; Jobling, M. 2001. *Food Intake in Fish*. Blackwell Science, Oxford, 440p.
- Iwama, G. K.; Tautz, A. F. 1981. A Simple Growth Model for Salmonids in Hatcheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38: 649-656. <https://doi.org/10.1139/f81-087>.
- Jauralde, I.; Martínez-Llorens, S.; Tomás, A., Ballestrazzi, R., Jover, M. 2013. A proposal for modelling the thermal-unit growth coefficient and feed conversion ratio as functions of feeding rate for gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) in summer conditions. *Aquaculture Research*, v.44, n.2, p.242-253. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03027.x>.
- Jobling, M. 2011. Bioenergetics in aquaculture settings. In: Farrell, A.P. (Ed.). *Encyclopedia of Fish Physiology: from genome to environment*. Amsterdam: Elsevier. p.1664-1674. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374553-8.00152-0>.
- Kratzer, C.R.; Brezonik, P.L.A. 1981. Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Water Resour. Bull.*, Baton Rouge, v.17, n.4, p.713-715. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1981.tb01282.x>.
- Lima, A. C., Agostinho, C. S., Sayanda, D., Pelicice, F. M., Soares, A. M., Monaghan, K. A. 2016. The rise and fall of fish diversity in a neotropical river after impoundment. *Hydrobiologia*, v.763, n.1, p.207-221. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2377-z>.
- Liu, K. K. M., F. T. Barrows, R. W. Hardy, and F. M. Dong. 2004. Body composition, growth performance, and product quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing poultry fat, soybean/corn lecithin, and menhaden

- oil. Aquaculture, v.238, p.309–328.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.03.022>.
- Lopes, J.E.G.; Santos, R.C.P. 2002. Capacidade de reservatórios. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 44p.
- Matta, E.; Koch, H.; Selge, F.; Simshäuser, M.N.; Rossiter, K.; Silva, G.M.N.; Gunkel, G.; Hinkelmann, R. 2019. Modeling the impacts of climate extremes and multiple water uses to support water management in the Icó-Mandantes Bay, Northeast Brazil. *Journal of Water and Climate Change*, v. 10, n. 4, p. 893-906, 2019. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.254>.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. 2021. Boletim da piscicultura em águas da União 2020. Relatório anual de produção – RAP. 88p. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/aquicultura-e-pesca/aquicultura-1/boletim-aquicultura-em-aguas-da-uniao-2020.pdf>.
- Miranda, E.C.; Pezatto, C.A.; Pezzato, L.E. et al. 2008. Disponibilidade aparente de fósforo em ingredientes pela tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum Animal Sciences*. v.22, p.669-675. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v22i0.2910>.
- Montanhini Neto, R. and Ostrensky, A. 2015. Evaluation of commercial feeds intended for the Brazilian production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.): nutritional and environmental implications. *Aquacult Nutr*, 21: 311-320. <https://doi.org/10.1111/anu.12154>
- Montanhini Neto, R., Nocko, H.R. and Ostrensky, A. 2017. Carrying capacity and potential environmental impact of fish farming in the cascade reservoirs of the Paranapanema River, Brazil. *Aquac Res*, 48: 3433-3449. <https://doi.org/10.1111/are.13169>
- Moraes, C. R. F., Attayde, J. L., Henry-Silva, G. G. 2020. Stable isotopes of C and N as dietary indicators of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in net cages in a tropical reservoir. *Aquaculture Reports*, v.18, p.100458. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100458>.
- Moura, R.S.T., Valenti, W.C., Henry-Silva, G.G. 2016. Sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a reservoir in a semi-arid region. *Ecological indicators*, v.66, p.574-582. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.052>.
- National Research Council - NRC. 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academy Press, Washington, DC.392p.

- Nobile, A. B., Cunico, A. M., Vitule, J. R. S., Queiroz, J., Vidotto-Magnoni, A. P., Garcia, D. A. Z., Orsi, M. L., Lima, F. P., Acosta, A. A., da Silva, R. J., do Prado, F. D., Porto-Foresti, F., Brandão, H., Foresti, F., Oliveira, C., & Ramos, I. P. 2020. Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1495–1517. <https://doi.org/10.1111/raq.12393>
- Nobile, A.B., Zanatta, A.S., Brandão, H., Zica, E.O., Lima, F.P., Freitas-souza, D., Carvalho, E.D., Silva, R.J. and Ramos, I.P. 2018. Cage fish farm act as a source of changes in the fish community of a Neotropical reservoir. *Aquaculture*, 495, 780-785. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.053>.
- Nogueira, M.G.; Henry, R.; Maricatto, F.E. 1999. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. v. 4, n. 3-4, p. 107-120. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1440-1770.1999.00086.x>
- Nogueira, M.G.; Jorcin A.; Vianna, N.C.; Britto Y.C. 2006. Reservatórios em cascata e os efeitos na limnologia e organização das comunidades bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos): Um estudo de caso no rio Paranapanema (SP/PR). In: *Ecologia de reservatórios: Impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*, M.G. Nogueira, R. Henry & A. Jorcin, (Eds.), 83-125, Rima, São Carlos, Brasil.
- Nogueira, M.G.; Neves, G.P.; Naliato, D.A.O. 2012. Limnology of Two Contrasting Hydroelectric Reservoirs (Storage and Run-of-River) in Southeast Brazil, *Hydropower - Practice and Application*, Dr. Hossein Samadi-Boroujeni (Ed.), ISBN: 978-953-51-0164-2, InTech. <https://doi.org/10.5772/31829>.
- Osti, J. A. S.; Moraes, M. A. B.; Carmo, C. F.; Mercante, C.T.J. 2017. Nitrogen and phosphorus flux from the production of Nile tilapia through the application of environmental indicators. *Brazilian Journal of Biology*, v. 78, p. 25-31. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.02116>.
- Pagioro, T.A.; Thomaz, S.M.; Roberto, M.C. 2005. Caracterização limnológica abiótica dos reservatórios. In: *Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*, L. Rodrigues, S.M. Thomaz, A.A. Agostinho & L.C. Gomes (Eds.), 17-37, Rima, São Carlos, Brasil.

- Peixe BR. 2021. Anuário da Associação Brasileira de Piscicultura. Peixe BR: São Paulo. 141p.
- Penariol, I.C. 2020. Produção intensiva de tilápia em tanques rede - Impactos e capacidade suporte ecológica em área aquícola de reservatório hidrelétrico do sudeste brasileiro. Programa de Pós Graduação em Aquicultura. Tese de Doutorado. 78p.
- Pomari, J. 2010. Efeitos da tilapicultura em tanques-rede sobre as assembléias zooplanctônicas do Reservatório de Chavantes, rio Paranapanema (SP/PR). Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas – AC: Zoologia. Dissertação de Mestrado. 204p.
- Ribeiro Filho, R., Petre Junior, M., Benassi, S., Pereira, J. 2011. Itaipu reservoir limnology: eutrophication degree and the horizontal distribution of its limnological variables. *Brazilian Journal of Biology*, 71(4), 889–902. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000500010>.
- Rosanova, C.; Pinho, E. S.; Matos, F. T.; Akama, A.; Bueno, G. W.; Macedo, D. B. 2019. Monitoramento da aquicultura em reservatórios continentais por meio do índice de estado trófico. *Embrapa Pesca e Aquicultura-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Ross, L.G., Telfer, T.C., Falconer, L., Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J., Asmah, R., Bermúdez, J., Beveridge, M.C.M., Byron, C. J., Clément, A., Corner, R., Costa-Pierce, B.A., Cross, S., De Wit, M., Dong, S., Ferreira, J.G., Kapetsky, J.M., Karakassis, I., Leschen, W., Little, D., Lundebye, A.-K., Murray, F.J., Phillips, M., Ramos, L., Sadek, S., Scott, P.C., Valle-levinson, A., Waley, D., White, P.G. e Zhu, C. 2013. Carrying capacities and site selection within the ecosystem approach to aquaculture. In L.G. Ross, T.C. Telfer, L. Falconer, D. Soto e J. Aguilar-Manjarrez, eds. *Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture*, pp. 19–46. FAO/Institute of Aquaculture, University of Stirling, Expert Workshop, 6–8 December 2010. Stirling, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings n. 21. Rome, FAO. 282 pp.
- Sampaio, F.G.; Araújo, C.A.S.; Dallago, B.S.L.; Stech, J.L.; Lorenzetti, J.A.; Alcântara, E.; Losekann, M.E.; Marin, D.B.; Leão, J.A.D.; Bueno, G.W. 2021. Unveiling low-to-high-frequency data sampling caveats for aquaculture

- environmental monitoring and management. *Aquaculture Reports*, 20, 100764. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100764>.
- Shearer, K. D., T. Asgard, G. Andorsdottir, and G. H. Aas. 1994. Whole body elemental and proximate composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during the life cycle. *J. Fish Bio.*, v.44, p.785–797. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1994.tb01255.x>.
- Soares, M.C.S., Marinho, M.M., Huszar, V.L.M., Branco, C.W.C., Azevedo, S.M.F.O. 2008. The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 13(4), 257–269. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1440-1770.2008.00379.x>
- Straškraba, M. 1996. Lake and reservoir management, Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen, v.26, p.193-209. <https://doi.org/10.1080/03680770.1995.11900703>.
- Straskraba, M.; Tundisi, J. G. 1999. Reservoir Water Quality Management: Guidelines of Lake Management. Kusatsu, Japan: International Lake Environmental Committee, v.9, 227p.
- Trung, D.V.; Diu, N. T.; Hao, N.T.; Glencross, B. 2011. Development of nutritional model to define the energy and protein requirements of tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*. v.463, p.193-200,. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.07.029>.
- Valenti, W. C., Barros, H. P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G. W., Cavalli, R. O. 2021. Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, v. 19, p. 100611. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>.
- Vose, D. 2008. Risk analysis: A quantitative guide. John Wiley and Sons, New York, New York, USA.
- Wang, X.; Olsen, L.M.; Reitan, K.I.; Olsen, Y. 2012. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquacult Environ. Interact.* v.2, n.3, p.267-283. <https://doi.org/10.3354/aei00044>.
- Weitzman, J.; Filgueira, R. 2019. The evolution and application of carrying capacity in aquaculture: towards a research agenda. *Reviews in Aquaculture*, v. 12, n. 3, p. 1297-1322. <https://doi.org/10.1111/raq.12383>.

Xie S., Cui Y., Yang Y. & Liu J. (1997) Energy budget of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in relation to ration size. *Aquaculture* 154, 57–68.

Zhang, L.; Jacob, D. J.; Boersma, K. F.; Jaffe, D. A.; Olson, J. R.; Bowman, K. W.; Worden, J. R.; Thompson, A. M.; Avery, M. A.; Cohen, R. C.; Dibb, J. E.; Flocke, F. M.; Fuelberg, H. E.; Huey, L. G.; Mcmillan, W. W.; Singh, H. B.; Weinheimer, A. J. 2008. Transpacific transport of ozone pollution and the effect of recent Asian emission increases on air quality in North America: an integrated analysis using satellite, aircraft, ozone sonde, and surface observations, *Atmos. Chem. Phys.*, v.8, p.6117-6136. <https://doi.org/10.5194/acp-8-6117-2008>.