UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GÉRSICA MORAES NOGUEIRA DA SILVA

AVALIAÇÃO DO APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTE DA PISCICULTURA NA ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DIANTE DE CENÁRIOS DE REDUÇÃO DE VAZÃO EM RESERVATÓRIO NO SEMIÁRIDO

Recife
2019

GÉRSICA MORAES NOGUEIRA DA SILVA

AVALIAÇÃO DO APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTE DA PISCICULTURA NA ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DIANTE DE CENÁRIOS DE REDUÇÃO DE VAZÃO EM RESERVATÓRIO NO SEMIÁRIDO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profª. Drª. Maria do Carmo Martins Sobral.

Orientador externo: Prof. Dr. Günter Gunkel.

Coorientador: Prof. Dr. William Severi.

Recife

2019

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586a Silva, Gérsica Moraes Nogueira da.
Avaliação do aporte de nutrientes proveniente da piscicultura na alteração da qualidade da água diante de cenários de redução de vazão em reservatório no semiárido / Gérsica Moraes Nogueira da Silva. - 2019.
159 folhas, fig., qds., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral.
Orientador externo: Prof. Dr. Günter Gunkel.
Coorientador: Prof. Dr. William Severi.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Civil. 2. Mudanças climáticas. 3. Modelagem. 4. Aquicultura. I. Sobral, Maria do Carmo Martins. (Orientadora). II. Gunkel, Günter. (Orientador externo). III. Severi, William. (Coorientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.) BCTG/2019-397

GÉRSICA MORAES NOGUEIRA DA SILVA

AVALIAÇÃO DO APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTE DA PISCICULTURA NA ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DIANTE DE CENÁRIOS DE REDUÇÃO DE VAZÃO EM RESERVATÓRIO NO SEMIÁRIDO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em: 09 de setembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof.ª Dr.ª Maria do Carmo Martins Sobral (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. Günter Gunkel (Orientador externo)
Universidade Técnica de Berlin

_____
Prof. Dr. William Severi (Coorientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

_____
Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profª. Drª. Suzana Maria Gico Lima Montenegro (Examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profª. Drª. Ana Carla Asfora El-Deir (Examinadora externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

_____
Profª. Drª. Maristela Casé Costa Cunha (Examinadora externa)
Universidade do Estado da Bahia

À minha companheira Vanessa Silva, parceira em todas as etapas desta jornada, e à nossa princesinha Jeine, pelo amor e distrações nas horas necessárias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente à Deus, por me proporcionar saúde e discernimento, sempre guiando meus passos e permitindo alcançar meus objetivos.

À minha família, onde sempre encontro conforto, em especial à minha mãe Anita Moraes, pelo amor incondicional, meu pai Gerson e minha avó Geneide, alicerces no meu dia a dia.

Aos meus irmãos, Soraya, Raphaela, Pedro, Bianca, Bárbara e Bruno, pelo carinho em todos os momentos da minha vida.

À minha companheira Vanessa Silva, a quem devo grande parte desse trabalho, sempre paciente. Obrigada por todo o amor e compreensão.

À minha orientadora profª Maria do Carmo Sobral, a quem tenho muito respeito e admiração, como amiga sempre acolheu e direcionou com muita expertise e carinho.

Ao prof. William Severi, a quem sou eternamente grata e tenho imenso carinho ao longo desses 12 anos de orientação e amizade, quando me acolheu ainda na graduação.

A todos os integrantes do Grupo de Gestão Ambiental, desde os mais antigos (Ariane Cardoso, Janaina Assis, Érika Marques, Mayara Melo e Cláudia Oliveira) aos novos (Oziel Alcântara, Anderson Ferreira, Hidaiane Caldas e Camylla Rebeca). Em especial a Janaina pelo companheirismo durante o trabalho cotidiano e o intercâmbio na Alemanha.

À toda a equipe de pesquisadores alemães do Projeto INNOVATE, em especial aos co-orientadores da TU Berlin no doutorado sanduíche, Prof. Gunkel e Prof. Hinkelmann, bem como a Dra. Mariana Siegmund-Schultze e Dra. Elena Matta.

Aos amigos e colaboradores do Laboratório de Ictiologia (Anailza, Fernanda e Rodrigo) e Limnologia (Tereza Santos e Marcones) da UFRPE, pelo apoio nas análises e dados.

A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), por todo o conhecimento construído.

Aos membros da banca examinadora, Dra. Suzana Montenegro, Dra. Maristela Casé, Dra. Ana Carla El-Deir e Dr. Roberto Azevedo por disporem seu tempo para auxiliar no aprimoramento desta tese.

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Andrea Negromonte, Claudiana Araújo e Cleide Marques pela constante assistência.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo financiamento da bolsa de estudos para realização deste doutorado, bem como os recursos do projeto APQ nº 1248_3.07/15.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa do Doutorado Sanduíche no Exterior – SWE através do processo nº 203115/2015-5.

E a todos os demais que direta ou indiretamente contribuíram para que fosse elaborada esta tese, com bom aprendizado e aproveitamento.

A Terra pode oferecer o suficiente para satisfazer as necessidades de todos os homens, mas não a ganância de todos os homens (Mahatma Gandhi).

RESUMO

A produção mundial de peixes vem se intensificando substancialmente, tendo o Brasil obtido crescimento médio de 7,5% nos últimos 10 anos. O presente estudo objetiva avaliar a contribuição do aporte de nutrientes provenientes da piscicultura em tanques-rede na alteração da qualidade da água considerando cenários de redução de vazão em reservatório no semiárido. Foram realizadas coletas de campo no período chuvoso (abril e julho/2017) e no período de estiagem (janeiro e dezembro/2017), em duas áreas que contemplam 23 pontos de amostragem em quatro pisciculturas no reservatório Itaparica. Foram realizadas visitas e entrevistas às instituições de controle ambiental para levantamento de dados de outorga, licenciamento ambiental e cessão de uso das pisciculturas existentes. Diante da redução da defluência mínima de 1.300 m³/s para 550 m³/s, entre o período de abril/2013 a abril/2019, foram estabelecidos 3 cenários de vazão para realização das simulações da dispersão de nutrientes por meio do módulo TELEMAC-2D. Os resultados obtidos revelam que nos cenários de vazão reduzida (900 m³/s) e vazão crítica (500 m³/s) o fósforo dissolvido apresentou concentrações acima de 12 µg/L, que corresponde a 42% do valor máximo recomendado pela resolução CONAMA nº 357/05 em rios de Classe 2 (30 µg/L). As variáveis abióticas nitrogênio amoniacal, fósforo total, clorofila-*a*, oxigênio dissolvido e pH apresentaram valores não recomendados, destacando o fósforo dissolvido. Foram observadas baixa concentração de oxigênio dissolvido, (0,6 mg/L), quando o valor mínimo recomendado para a manutenção da vida aquática deve ser 5,0 mg/L. As pisciculturas contribuem com alterações na qualidade da água, que se estendem a jusante e algumas baías, onde o baixo fluxo intensifica o risco de eutrofização no reservatório Itaparica, incluindo a presença de cianobactérias *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii*, demonstrando a demanda de estudos aprofundados da capacidade de suporte deste corpo hídrico, a fim de garantir os usos múltiplos de forma sustentável. A compilação dos dados de regularização ambiental totalizou 45 empreendimentos de piscicultura, inseridos e caracterizados em um *webmap* desenvolvimento no software livre QGIS. É necessário que se ponha em prática uma rede de monitoramento, considerando as variáveis-chave e o aporte de nutrientes na água e no sedimento, de forma a caracterizar os riscos e as incertezas envolvidas no processo de outorga em cenários críticos de vazão.

Palavras-chave**:** Mudanças climáticas. Modelagem. Aquicultura.

ABSTRACT

World fish production has been intensifying substantially and Brazil has achieved an average growth of 7.5% in the last 10 years. The present study aims to evaluate the contribution of nutrient input from fish farms in cages to change the water quality considering scenarios of reduction flow of reservoir in the semiarid. The semiarid region of Brazil is experiencing a scarcity of its water sources and risk of water shortage by its reservoirs. Field collections were carried out during the rainy season (April and July/2017) and during the dry season (January and December/2017), in two areas with 23 sampling points in four fish farms in the Itaparica reservoir. Visits and interviews were carried out with the environmental control institutions to collect grant data, environmental licensing and use of existing fish farms. Due to the reduction of the minimum defluence from 1,300 m³/s to 550 m³/s, from April/2013 to April/2019, three flow scenarios were established to perform nutrient dispersion simulations using the TELEMAC-2D module. The results show that in the reduced flow (900 m³/s) and critical flow (500 m³/s) scenarios, the dissolved phosphorus presented concentrations above 12 µg/L, which corresponds to 42% of the maximum value recommended by CONAMA Resolution nº. 357/05 in Class 2 rivers (30 µg/L). The abiotic variables ammonia nitrogen, total phosphorus, chlorophyll-a, dissolved oxygen and pH presented values not recommended, highlighting the dissolved phosphorus. Low dissolved oxygen concentration (0.6 mg/L) was observed when the minimum recommended value for maintaining aquatic life should be 5.0 mg/L. Fish farms contribute to changes in downstream water quality and some bays where low flow intensifies the risk of eutrophication in the Itaparica reservoir, including the cyanobacteria presence *Microcystis aeruginosa* and *Cylindrospermopsis raciborskii*, demonstrating the need for in-depth studies of carrying capacity of this water body in order to ensure multiple uses sustainably. The compilation of environmental regularization data totaled 45 fish farming enterprises, inserted and characterized in a *webmap* development in free software QGIS. It is necessary to put in place a monitoring network, considering the key variables and nutrient input in water and sediment, in order to characterize the risks and uncertainties involved in the granting process in critical flow scenarios.

Keywords: Climate change. Modelling. Aquaculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de produção de peixes em tanque-rede (a) e tanque escavado (b)..... 29

Figura 2 - Ranking mundial da produção de pescados em toneladas..... 30

Figura 3 - Produção Nacional de tilápia no período de 2008 a 2011 por região do Brasil..... 31

Figura 4 - Produção mundial entre pesca de captura e aquicultura em milhões de toneladas por ano (1950-2016) 32

Figura 5 - Percentual da produção brasileira através da pesca extrativa e da aquicultura em 2016..... 32

Figura 6 - Representação esquemática do ambiente de decisão..... 62

Figura 7 - Delimitação do semiárido na região Nordeste do Brasil..... 65

Figura 8 - Principais reservatórios hidroelétricos em operação na bacia do rio São Francisco..... 66

Figura 9 - Localização do reservatório Itaparica no trecho submédio do rio São Francisco..... 66

Figura 10 - Valor médio da precipitação no município de Itacuruba, reservatório Itaparica, no período de 2007 a 2017..... 67

Figura 11 - Índice de desenvolvimento humano dos municípios localizados no Polo da piscicultura do submédio e baixo São Francisco..... 69

Figura 12 - Perímetros de Irrigação no entorno do reservatório de Itaparica..... 69

Figura 13 - Fluxograma das etapas de elaboração do *webmap*..... 73

Figura 14 - Procedimentos para aplicação do modelo..... 74

Figura 15 - Empreendimentos de piscicultura localizados na malha desenvolvida no software Janet..... 74

Figura 16 - Topografia do reservatório Itaparica no software Janet..... 75

Figura 17 - Armazenamento observado no reservatório Itaparica, no período de 2010 a 2019..... 76

Figura 18 - Diagrama esquemático das hidrelétricas na bacia do rio São Francisco, com os valores de vazão e volume, em 04 de dezembro de 2017..... 77

Figura 19 - Processadores utilizados para aplicação da modelagem..... 80

Figura 20 - Detalhamento da área estudada na porção inicial do reservatório de Itaparica, com destaque para áreas monitoradas e as estações de coleta nos quatro empreendimentos de piscicultura..... 81

Figura 21 - Pisciculturas localizadas no município de Itacuruba/PE, reservatório Itaparica..... 82

Figura 22 - Amostras de sedimentos coletadas na Área A do reservatório Itaparica em 2017..... 86

Figura 23 - Análise das amostras de água no Laboratório de Limnologia, Departamento de Pesca e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)..... 87

Figura 24 - Percentual de peixe produzido no Brasil em 2017 por região do Brasil..... 88

Figura 25 - Quantidade de peixe produzida na região Nordeste no ano de 2017, por Estado..... 89

Figura 26 - Pisciculturas em tanques-rede ativas no reservatório Itaparica..... 89

Figura 27 - Número de pisciculturas por município, no reservatório Itaparica em 2018..... 90

Figura 28 - Produção outorgada para as pisciculturas no reservatório Itaparica em 2018..... 92

Figura 29 - Quantidade de ração proveniente das pisciculturas no reservatório Itaparica em 2018..... 93

Figura 30 - Carga de fósforo proveniente das pisciculturas no reservatório Itaparica em 2018..... 94

Figura 31 - Licenças ambientais concedidas no período de 2009 a 2017 para piscicultura no reservatório Itaparica, estado de Pernambuco..... 95

Figura 32 - Regularização das pisciculturas no reservatório Itaparica no ano de 2018... 96

Figura 33 - Número de pisciculturas regularizadas por instrumento no reservatório Itaparica no ano de 2018..... 97

Figura 34 - Usuários com outorga de direito de uso para piscicultura no reservatório Itaparica..... 99

Figura 35 - Representação esquemática do processo para obtenção da Cessão de Uso para atividade de piscicultura em águas da União..... 101

Figura 36 - Interface do *webmap* no QGIS Cloud..... 102

Figura 37 - *Webmap* implementado com as informações disponibilizadas..... 103

Figura 38 - Cota do reservatório Itaparica de 2005 a 2017..... 104

Figura 39 - Evolução das reduções da vazão defluente mínima, aplicadas ao submédio São Francisco, no período de 2013 a 2019..... 105

Figura 40 - Balanço energético da região Nordeste de outubro/2009 a dezembro/2018..... 106

Figura 41 - Velocidade da água obtida no reservatório Itaparica por correntógrafo e valor comparativo com a velocidade média obtida no modelo..... 108

Figura 42 - Concentração de fósforo dissolvido (µg/L) ao longo do reservatório Itaparica, simulado no cenário 1 para as pisciculturas A5 a C..... 109

Figura 43 - Velocidade (m/s) e concentração de fósforo dissolvido (µg/L) no reservatório simulado no cenário 1 para as pisciculturas B2 a B8..... 110

Figura 44 - Velocidade (m/s) e concentração de Fósforo dissolvido (µg/L) no reservatório simulado no cenário 1 para a piscicultura C..... 110

Figura 45 - Concentração de Fósforo dissolvido (µg/L) ao longo do reservatório Itaparica, simulado no cenário 2 para as pisciculturas A5 a C..... 111

Figura 46 - Concentração de Fósforo dissolvido (µg/L) simulado no trecho estudado no cenário 2 para as pisciculturas A5 a C..... 112

Figura 47 - Velocidade (m/s) no trecho entre as pisciculturas B2 e C, simulada no cenário2..... 112

Figura 48 - Concentração de fósforo dissolvido (µg/L) ao longo do reservatório Itaparica, no cenário 3 para as pisciculturas A5 a C..... 113

Figura 49 - Velocidade do fluxo (m/s) ao longo do reservatório simulada no cenário 3 para as pisciculturas A5 a C..... 114

Figura 50 - Boxplot dos valores da concentração de fósforo total registrados ao longo dos pontos de amostragem do reservatório Itaparica..... 118

Figura 51 - Boxplot dos valores da concentração de oxigênio dissolvido registrados ao longo dos pontos de amostragem do reservatório Itaparica..... 119

Figura 52 - Interpolação da concentração média de fósforo total no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área A, reservatório Itaparica..... 120

Figura 53 - Interpolação da concentração média de fosfato inorgânico no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área A, reservatório Itaparica..... 121

Figura 54 - Interpolação da concentração média de nitrogênio amoniacal no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área A, reservatório Itaparica..... 122

Figura 55 - Interpolação da concentração média de fósforo total no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área B, reservatório Itaparica..... 122

Figura 56 - Interpolação da concentração média de fosfato inorgânico no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área B, reservatório Itaparica..... 123

Figura 57 - Interpolação da concentração média de nitrogênio amoniacal no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área B, reservatório Itaparica..... 124

Figura 58 - Coeficientes de correlação entre os parâmetros físico-químicos avaliados no monitoramento das pisciculturas no reservatório Itaparica em 2017..... 125

Figura 59 - Alta densidade de macrófitas nas áreas de piscicultura em tanque-rede no reservatório Itaparica..... 126

Figura 60 - Dendrograma das variáveis abióticas analisadas em relação aos pontos de amostragem no período de janeiro a dezembro de 2017, nas pisciculturas do reservatório Itaparica..... 127

Figura 61 - Ordenação Biplot pela ACC das unidades amostrais (variáveis abióticas e pontos de amostragem na área A), no período de janeiro a dezembro de 2017, no reservatório Itaparica..... 129

Figura 62 - Ordenação Biplot pela ACC das unidades amostrais (variáveis abióticas e pontos de amostragem na área B), no período de janeiro a dezembro de 2017, no reservatório Itaparica..... 130

Figura 63 - Concentração de fósforo e nitrogênio registrados nas análises de sedimento durante todo o período de estudo na área A, no reservatório Itaparica..... 131

Figura 64 - Concentração de fósforo e nitrogênio registrados nas análises de sedimento durante todo o período de estudo na área B, no reservatório Itaparica..... 132

Figura 65 - Número de táxons do fitoplâncton observados por Divisão, em cada de coleta no reservatório Itaparica..... 134

Figura 66 - Densidade total do fitoplâncton na área A, nos quatro meses de coleta realizados no reservatório Itaparica..... 134

Figura 67 - Densidade total do fitoplâncton na área B, nos quatro meses de coleta realizados no reservatório Itaparica..... 135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais instrumentos legais que regem o desenvolvimento da atividade pesqueira no Brasil e na bacia do rio São Francisco..... 44

Quadro 2 - Competências das instituições para autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União..... 50

Quadro 3 - Atributos disponibilizados no *webmap*..... 73

Quadro 4 - Dados de entrada no modelo TELEMAC para simulação..... 80

Quadro 5 - Descrição dos pontos de amostragem realizados por área no ano de 2017, reservatório Itaparica..... 81

Quadro 6 - Localização das pisciculturas selecionadas no reservatório Itaparica..... 82

Quadro 7 - Métodos de análise para os parâmetros físico-químicos da água..... 83

Quadro 8 - Padrões indicados na Resolução CONAMA Nº 357/2005 para Classe 2..... 84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores de fósforo total e clorofila para identificação do estado trófico.....	48
Tabela 2 -	Municípios estudados, informações acerca de sua área territorial, população, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e renda per capita.....	68
Tabela 3 -	Valores calculados para o fósforo dissolvido utilizado na simulação.....	79
Tabela 4 -	Produção informada e produção outorgada por município, com a quantidade de ração, carga de fósforo e taxa de conversão.....	90
Tabela 5 -	Velocidade média (m/s) obtida na simulação para os 3 cenários, considerando vazão e nível de água.....	107
Tabela 6 -	Valores máximo, mínimo e médio dos parâmetros físico-químicos analisados nas áreas A e B, no reservatório Itaparica no ano de 2017.....	116

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACEB	Associação Cultural e Educacional Brasil
ADDIPER	Agência de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco
ANA	Agência Nacional de Águas
APHA	*American Public Health Association*
CBHSF	Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPG	Comitês Permanentes de Gestão
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CTGP	Comissão Técnica da Gestão Compartilhada dos Recursos Pesqueiros
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FACEPE	Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco
FAO	*Food and Agriculture Organization of the United Nations*
FIFO	Instituto para a Pesca, Diversidade e Segurança Alimentar
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IFPE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPA	Ministério da Pesca e Aquicultura
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NUPEA	Núcleo de Pesquisa em Ecossistemas Aquáticos
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PNDSAP	Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SAP	Secretaria de Aquicultura e Pesca
SEAP	Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SISRGP	Sistema Informatizado do Registro Geral da Atividade Pesqueira
SPU	Secretaria do Patrimônio da União
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
UNEB	Universidade do Estado da Bahia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 20
1.1 RELEVÂNCIA DA TESE..... 21
1.2 HIPÓTESE..... 24
1.3 OBJETIVOS..... 24
1.3.1 Objetivo geral..... 24
1.3.2 Objetivos específicos..... 24
1.4 ESTRUTURA DA TESE..... 25
2 REFERENCIAL TEÓRICO..... 26
2.1 ATIVIDADES PRODUTIVAS DE PESCADO..... 26
2.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DA PISCICULTURA..... 27
2.2.1 Produção pesqueira no mundo e no Brasil..... 29
2.2.2 Produção da aquicultura *versus* pesca extrativa..... 31
2.3 RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS NO SEMIÁRIDO..... 33
2.3.1 Reservatórios artificiais como ambiente de produção..... 33
2.3.2 Mudanças climáticas e redução da vazão..... 34
2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA PISCICULTURA NOS RESERVATÓRIOS..... 36
2.4.1 Meio físico..... 36
2.4.2 Meio biótico..... 37
2.4.2.1 Alteração na comunidade aquática..... 38
2.4.2.2 Desenvolvimento de espécies indesejáveis..... 39
2.4.3 Meio antrópico..... 41
2.5 ARCABOUÇO LEGAL E INSTITUCIONAL..... 42
2.5.1 Política Nacional de Meio Ambiente..... 45
2.5.1.1 Padrões de qualidade ambiental..... 45
2.5.1.2 Zoneamento ambiental..... 46
2.5.1.3 Avaliação dos impactos ambientais..... 47
2.5.1.4 Licenciamento ambiental..... 48
2.5.1.5 Regularização de Projeto..... 49
2.5.2 Política Nacional de Recursos Hídricos..... 50
2.5.3 Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca..... 54
2.5.4 Sistema de gestão compartilhada do uso sustentável dos recursos pesqueiros.. 55

2.6 SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS..... 57
2.6.1 Módulo TELEMAC-2D..... 58
2.6.2 Aplicação do TELEMAC 2-D..... 59
2.7 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À GESTÃO DA PISCICULTURA..... 61
3 METODOLOGIA..... 64
3.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... 64
3.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS SECUNDÁRIOS..... 71
3.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS PRIMÁRIOS..... 71
3.3.1 Geotecnologia aplicada à gestão da piscicultura..... 72
3.3.2 Simulação da dispersão de nutrientes..... 74
3.3.2.1 Evolução da redução da vazão afluente em Itaparica..... **76**
3.3.2.2 Estimativa das cargas de fósforo total e nitrogênio amoniacal total..... **78**
3.3.2.3 Simulações..... **79**
3.3.3 Avaliação da qualidade da água em piscicultura de tanques-rede..... 80
3.3.3.1 Parâmetros físico-químicos..... 82
3.3.3.2 Concentração de nutrientes no sedimento do reservatório..... 86
3.3.3.3 Parâmetros biológicos..... 86
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 88
4.1 DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO E REGULARIZAÇÃO DA PISCICULTURA NO RESERVATÓRIO ITAPARICA..... 88
4.1.1 Diagnóstico da produção..... 88
4.1.2 Regularização de projetos de piscicultura em águas de domínio da União..... 95
4.1.2.1 Licenciamento ambiental..... 95
4.1.2.2 Outorga de uso do recurso hídrico..... 97
4.1.2.3 Cessão de uso para aquicultura em águas de domínio da União..... 100
4.1.3 Geotecnologia aplicada à gestão da piscicultura..... 102
4.2 EVOLUÇÃO DA REDUÇÃO DA VAZÃO AFLUENTE EM ITAPARICA..... 104
4.3 SIMULAÇÃO DA DISPERSÃO DO FÓSFORO DISSOLVIDO..... 107
4.3.1 Dados hidrodinâmicos..... 107
4.3.2 Cenário 1 (vazão de referência de 2.060 m³/s)..... 108
4.3.3 Cenário 2 (vazão reduzida de 900 m³/s)..... 111
4.3.4 Cenário 3 (vazão crítica de 500 m³/s)..... 113
4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA..... 115

4.4.1 Parâmetros físico-químicos da água..... 115
4.4.1.1 Distribuição espacial e sazonal dos nutrientes..... 120
4.4.1.2 Análise de correlação e ordenação dos nutrientes significativos..... 124
4.4.1.3 Análise de Correspondência Canônica - Área A..... 128
4.4.1.4 Análise de correspondência da Área B..... 129
4.4.2 Concentração de nutrientes no sedimento do reservatório..... 131
4.4.3 Comunidade fitoplanctônica..... 133
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 136
5.1 CONCLUSÕES..... 136
5.2 RECOMENDAÇÕES..... 138
REFERÊNCIAS..... 141
APÊNDICE A - APRESENTAÇÃO DA AUTORA..... 153
APÊNDICE B - PRODUÇÕES CIENTÍFICAS RESULTANTES DA TESE.... 154

1 INTRODUÇÃO

A produção de organismos aquáticos é uma prática mundial, frente à demanda crescente da população, e representa uma atividade socioeconômica de expressiva relevância. Dentre os segmentos da aquicultura, a piscicultura, designada para produção de peixes, tem se desenvolvido muito nos últimos anos, com destaque para a região Nordeste do Brasil, principalmente no cultivo de tilápia.

Apesar da baixa disponibilidade hídrica na região Nordeste, a temperatura constante ao longo do ano, propicia ao semiárido o desenvolvimento da piscicultura em ambientes lacustres, como os reservatórios. Estes ambientes representam para a aquicultura continental quase 90% da produção nacional, numa ocupação permissível de até 1% da área superficial dos reservatórios de água doce (MPA, 2011; BRASIL, 2005).

De um lado, situa-se a necessidade de atender à demanda de alimento, exacerbada pelo crescimento populacional e exaustão dos estoques explorados, e, de outro, a urgência em se conservar os recursos naturais e os serviços ecossistêmicos, incluindo a água para abastecimento, esta escassa, mal distribuída e também com demanda crescente (AGOSTINHO et al., 2007).

Estudos têm apontado impactos causados diretamente à qualidade da água e à biodiversidade, devido à produção intensiva e, em alguns casos, inadequada da atividade de piscicultura, pela liberação de nutrientes na ração, fezes, antibióticos e hormônios (GUNKEL et al., 2015; CARDOSO et al., 2017). Alguns países, como Chile e Alemanha, já proíbem a prática da aquicultura dentro de lagos e reservatórios destinados para abastecimento humano; outros países do hemisfério Norte exigem regularização cada vez mais rigorosa, devido às preocupações ambientais (GUNKEL et al., 2013).

É importante considerar as características de cada região e do corpo hídrico na avaliação dos impactos da piscicultura, para estabelecer áreas susceptíveis em sofrer danos, quando submetidas ao aporte de nutrientes (FERREIRA JÚNIOR, 2011). Na região semiárida, no reservatório Itaparica, localizado entre os estados de Pernambuco e Bahia, a piscicultura realizada, principalmente em tanques-rede, enfrenta problemas que vão desde a condição climática à regularização dos empreendimentos no tocante às licenças ambientais e ao monitoramento da qualidade da água, dificultando o controle ambiental da atividade.

As condições futuras podem intensificar os conflitos já existentes na região. No tocante à piscicultura, além dos aspectos relacionados à degradação da qualidade da água, apresenta conflito com a pesca artesanal, tanto por uso de área, como pelos impactos causados pela introdução de espécies exóticas no rio São Francisco, como é o caso da tilápia.

O crescimento da piscicultura é, portanto, fonte permanente de preocupações ambientais e, consequentemente, sociais. Estudos são fundamentais para a compreensão dos temas relevantes no desenvolvimento sustentável da atividade no país, permitindo estabelecer comparações entre reservatórios de diferentes regiões e países. Como também, indicar as necessidades e prioridades para a formulação e avaliação de políticas de desenvolvimento rural numa perspectiva sustentável.

Desta forma, a presente pesquisa visa avaliar a contribuição do aporte de nutrientes provenientes da piscicultura em tanque-redes diante de cenários de redução de vazão afluente em reservatórios do semiárido, subsidiando informações da relação de uso e conservação dos recursos hídricos na atividade, possibilitando conhecer os processos físicos, químicos e biológicos que interagem nesses ambientes. Uma vez que a gestão ambiental da piscicultura é realizada por diferentes órgãos em distintas esferas, a compilação de informações em um sistema de informações geográficas vem agregar valor fundamental e acessibilidade destas informações, promovendo uma visão integrada que auxilia no processo de tomada de decisão.

1.1 RELEVÂNCIA DA TESE

A presente tese foi concebida em articulação com órgãos e instituições estaduais de gestão dos recursos hídricos e recursos pesqueiros, de forma a subsidiar informações relevantes e prioritárias para a atuação dos diversos atores envolvidos na gestão da atividade de piscicultura.

A geração e compilação de informações sobre a piscicultura em um Sistema de Informações Geográficas vem reintegrar a atual situação da gestão de recursos pesqueiros no Brasil, onde nos últimos anos houve uma desarticulação da gestão pesqueira, sobretudo a partir de 2015, quando ocorreu a extinção do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), levando a diversas alterações administrativas consecutivas para vários ministérios e setores da gestão pública.

A partir de 2015, a estrutura administrativa foi compactada em uma secretaria no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Posteriormente, no mesmo ano, foi vinculada ao Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) até que, em 2017, tornou-se Secretaria Especial da Pesca e Aquicultura (SEAP), vinculada à Secretaria da Presidência da República. No atual ano, houve uma nova modificação, por meio do decreto nº 9.667, de 2 de janeiro de 2019, quando a atual Secretaria de Aquicultura e Pesca (SAP) foi retomada a estrutura organizacional do MAPA.

Além da importância institucional na gestão da atividade, é fundamental o acompanhamento local de seu desenvolvimento, considerando seu crescimento contínuo em contraponto aos reflexos das alterações climáticas em regiões semiáridas, resultando em redução de vazão e volume dos reservatórios, e consequente, capacidade de carga, vulnerabilidade e riscos de eutrofização, principalmente em reservatórios na região Nordeste, situados na bacia hidrográfica do rio São Francisco.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco é de grande importância como ponto de captação do Projeto de Integração do rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional (PISF), e disposição dos recursos hídricos para diversos setores econômicos. O PISF é um empreendimento destinado à oferta de água a cerca de 12 milhões de habitantes de 390 municípios do agreste e do sertão dos estados de Pernambuco (113), Ceará (56), Paraíba (127) e Rio Grande do Norte (94) (CODEVASF, 2017). O reservatório Itaparica é o local de captação do Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF), constituindo-se um elemento-chave para garantir a sustentabilidade deste empreendimento.

Neste contexto, a manutenção tanto da quantidade quanto da qualidade da água é fundamental para a garantia dos usos prioritários e mediação de conflito, sendo de interesse coletivo o controle da poluição hídrica na bacia hidrográfica. No tocante às responsabilidades do setor pesqueiro, em contraponto aos impactos de degradação ambiental na base de recursos, como alternativa, esta tese vem contribuir para elucidar aspectos para a adoção de uma atividade sustentável e resiliente, no conjunto dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos em 2015 pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030:

ODS 1. Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares
ODS 2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e

promover a agricultura sustentável

ODS 3. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos

ODS 4. Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos

ODS 5. Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas

ODS 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos

ODS 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos

ODS 8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos

ODS 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação

ODS 10. Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles

ODS 11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis

ODS 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis

ODS 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos

ODS 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável

ODS 15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade

ODS 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis

ODS 17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável

A piscicultura tem relevância no ODS 1: Erradicação da pobreza e ODS 2: Fome zero e agricultura sustentável, contribuindo na geração de emprego e renda local, no alcance da segurança alimentar, melhoria da nutrição e promoção da agricultura sustentável, através da implementação de sistemas sustentáveis de produção.

A prática da gestão sustentável na piscicultura pode contribuir, ainda, com o ODS 6: Água potável e saneamento, visando até 2030 cumprir metas de forma a assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, dentre as quais, aumento na eficiência do uso da água em todos os setores.

Os benefícios socioeconômicos da piscicultura podem ser maximizados em contribuição ao ODS 8: Trabalho decente e crescimento econômico, assegurando inclusão e renda. O ODS 9: Indústria, inovação e infraestrutura e o ODS 12: Consumo e produção sustentável, são

complementares no sentido de investimentos na cadeia produtiva, na redução de desperdícios, no desenvolvimento tecnológico de produtos e processos para o Arranjo Produtivo Local, contribuindo para o manejo ambientalmente saudável.

E, por fim, o ODS16: Paz, justiça e instituições eficazes, principalmente no tocante a garantir a tomada de decisão responsiva, inclusiva, participativa e representativa em todos os níveis, além de assegurar o acesso público à informação, condizente com a proposta da tese.

1.2 HIPÓTESE

A piscicultura em tanque-rede contribui para degradação da qualidade da água em termos do aporte de nutrientes em reservatório no semiárido, intensificada com a redução da vazão em períodos de estiagem prolongada.

1.3 OBJETIVOS

A seguir estão apresentados os objetivos geral e específicos.

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar o aporte de nutrientes proveniente da piscicultura na alteração da qualidade da água considerando cenários de redução de vazão em reservatório do semiárido, tendo como estudo de caso o reservatório Itaparica na bacia hidrográfica do rio São Francisco.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar a produção da piscicultura, relacionando os aspectos da regularização ambiental e da capacidade de suporte do reservatório Itaparica, no desenvolvimento de um sistema georreferenciado;
- Simular a dispersão de nutrientes provenientes da piscicultura em diferentes cenários de vazão afluente do reservatório Itaparica;
- Avaliar a influência da piscicultura em tanque-rede na alteração da qualidade da água considerando os parâmetros físico-químicos e biológicos, e a concentração de nutrientes no sedimento do reservatório.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Este documento é composto por 5 (cinco) capítulos, sendo inicialmente apresentada no primeiro capítulo a introdução ao tema proposto contendo justificativa, contextualização do tema, especificação do problema, relevância da tese, hipótese, objetivo geral e específicos a serem alcançados, além da estrutura do documento.

O segundo capítulo trata do referencial teórico que embasa a pesquisa, aborda a caracterização da atividade de piscicultura, incluindo dados quantitativos do desenvolvimento e produção da atividade, bem como os impactos associados à utilização dos reservatórios como ambiente de produção. Em seguida, são abordados os aspectos legais e institucionais que auxiliam e regulamentam a gestão da atividade pesqueira, elucidados nas políticas nacionais ambientais. Por fim, contextualiza a problemática ambiental na região de estudo, de forma a compreender as peculiaridades da região semiárida e a aplicação dos métodos de avaliação ambiental que visam auxiliar na tomada de decisão, como a modelagem hidrológica e o desenvolvimento de um banco de dados com mapeamento interativo (*webmap*).

O terceiro capítulo corresponde à metodologia, onde são descritos a área de estudo e os procedimentos metodológicos utilizados para alcançar cada objetivo proposto, incluindo coleta e análise dos dados primários e secundários. Em seguida, no capítulo quatro são apresentados os resultados alcançados e a discussão sistematicamente, com destaque para avaliação da qualidade da água dos empreendimentos monitorados, simulação da dispersão dos nutrientes e apresentação do *webmap*. Por fim, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões e recomendações com sugestões de futuros estudos que possam dar complementariedade à esta pesquisa.

Finalmente, são apresentadas as referências utilizadas, incluindo artigos científicos, periódicos, teses, dissertações, livros, websites e demais fontes de informação utilizadas, bem como os apêndices contendo dados dos artigos publicados em periódicos referentes à tese e os planilha utilizada para elaboração do *webmap.*

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, encontra-se a revisão bibliográfica que delimita o campo teórico da pesquisa, embasado por conceitos que envolvem aspectos das atividades pesqueiras, os sistemas de produção mais usuais e os impactos intrínsecos da atividade de piscicultura, em especial a piscicultura em tanque-rede desenvolvida em reservatórios no semiárido. Além disto, o arcabouço legal e institucional que incorporam a gestão ambiental da piscicultura e que pode ser subsidiado por ferramentas computacionais, como a modelagem e o sistema de informações geográficas.

2.1 ATIVIDADES PRODUTIVAS DE PESCADO

Genericamente, a atividade pesqueira é compreendida como a obtenção e/ou produção de pescado, compreendendo todos os processos que envolvem a cadeia produtiva, como pesca, explotação e exploração, cultivo, conservação, processamento, transporte, comercialização e pesquisa dos recursos pesqueiros.

Tratando especificamente de tipos de atividades produtivas de pescado, estas podem ser dividida entre pesca extrativa e aquicultura. A pesca é a atividade que se baseia na retirada de recursos pesqueiros do ambiente natural, podendo ser classificada como pesca artesanal ou industrial. A pesca artesanal se destaca pela simplicidade de tecnologia com baixo custo da produção, associada à subsistência e obtenção de renda, que compreende direta e indiretamente, aproximadamente dois milhões de pessoas no Brasil (VASCONCELOS et al., 2007).

A aquicultura é o cultivo, normalmente em um espaço confinado e controlado, de organismos aquáticos com interesse econômico produtivo (IPEA, 2017). Dentre os segmentos da aquicultura, praticada em todos os estados brasileiros, a piscicultura é a atividade designada para produção de peixes. Além desta, outras modalidades são praticadas no Brasil como: carcinicultura (camarões), ranicultura (rãs), malacocultura (moluscos: ostras, mexilhões, escargots) e a algicultura (algas), esta última praticada em menor escala (SCORVO-FILHO, 2004).

Do ponto de vista de fornecimento de proteína animal por peixes, a pesca e a piscicultura são atividades complementares, intensificando oferta de alimento e desenvolvimento agrícola. Por

outro lado, a sobreposição de mercado, discrepâncias na estruturação da cadeia produtiva e a degradação da qualidade ambiental, vem desequilibrando a capacidade competitiva entre as atividades.

Considerando a pesca realizada por comunidades ribeirinhas e pescadores artesanais, a substituição de serviços ambientais naturais, ao nível local, por prestação de serviços na piscicultura, tem efeitos negativos nas comunidades, como no estilo de vida e subsistência, que estão diretamente vinculados à manutenção dos ecossistemas (GANEN, 2011).

Em contraste com a piscicultura, a grande prioridade para pesca é a manutenção dos estoques pesqueiros, que encontram-se sobre-explorados e submetidos a pressão constante, com a introdução de espécies exóticas, a pesca durante o período de reprodução natural, modificações no regime de vazão do rios, entre outros aspectos que estão abordados adiante.

2.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DA PISCICULTURA

Os sistemas de cultivo podem ser constituídos de acordo com a produtividade, sendo eles distinguidos em: sistema extensivo, semi-intensivo, intensivo e superintensivo. A determinação do sistema deve considerar as condições locais, a espécie a ser cultivada e as exigências do mercado.

a) **Sistema extensivo:** este sistema se caracteriza tanto pela baixa produtividade quanto pelo pequeno consumo de insumos. Consiste em colocar os peixes juvenis em lagos ou represas, onde permanecerão até o momento de serem capturados. O fornecimento de ração não é regular, e muitas vezes sequer é praticado, geralmente utilizando a técnica do policultivo, permitindo que várias espécies sejam cultivadas ao mesmo tempo, como por exemplo, tilápias, surubim, carpas, pacu, tambaqui, tambacu, matrinchã, entre outros. Tais peixes aproveitam a produção natural de alimento do ambiente e, conforme a densidade populacional, possuem um crescimento variado. Em algumas situações, essas densidades estão em torno de 1 peixe para cada 10 m² de lâmina d'água. Esse sistema de produção é utilizado quando o objetivo é principalmente o lazer ou mesmo o fornecimento ocasional de peixes para os consumidores. Comercialmente os resultados são muito variáveis, conforme o modelo, a região e o mercado local (SEBRAE, 2015);

b) **Sistema semi-intensivo:** É o tipo que mais cresce no Brasil atualmente e caracteriza-se principalmente pelo monocultivo, como uso da tambatinga em Mato Grosso, do tambaqui em Rondônia e da tilápia nos outros estados. A produtividade nesse sistema é de 5.000 a 10.000 kg/ha em viveiros com baixa renovação de água. Em instalações que permitam maior renovação de água diária, a produtividade pode ser incrementada, chegando a 20.000 kg/ha. Nesse sistema, como o fornecimento de ração é feito em volumes maiores, os restos de ração e dejetos dos peixes já promovem uma grande produção de matéria orgânica. O fornecimento de rações fareladas ou peletizadas não é indicado por provocarem perdas e ocasionarem redução significativa da qualidade da água (SEBRAE, 2015);

c) **Sistema intensivo:** Sistema de produção em que os espécimes cultivados dependem integralmente da oferta de alimento artificial, tendo como uma de suas características a alta densidade de espécimes, variando de acordo com a espécie utilizada (BRASIL, 2009). A finalidade desse sistema é obter alta produtividade e, por isso, deve ser feito em viveiros, podendo ser adotado como uma das principais atividades da propriedade. Aqui, as fases de recria e de engorda são bem definidas, as quais poderão ser realizadas em conjunto na própria piscicultura. Caso os peixes juvenis venham a ser adquiridos junto a pisciculturas de recria de alevinos, a engorda poderá ser feita sozinha. As pisciculturas que adotam esse sistema têm como principal objetivo atender a mercados consumidores de peixes abatidos. Por essa razão, o sistema intensivo é recomendado para o monocultivo. Nesse sistema, utilizam-se espécies que permitem ser cultivadas com maiores densidades de peixes, sendo as tilápias, das variedades vermelha ou tailandesa, as mais recomendadas (SEBRAE, 2015);

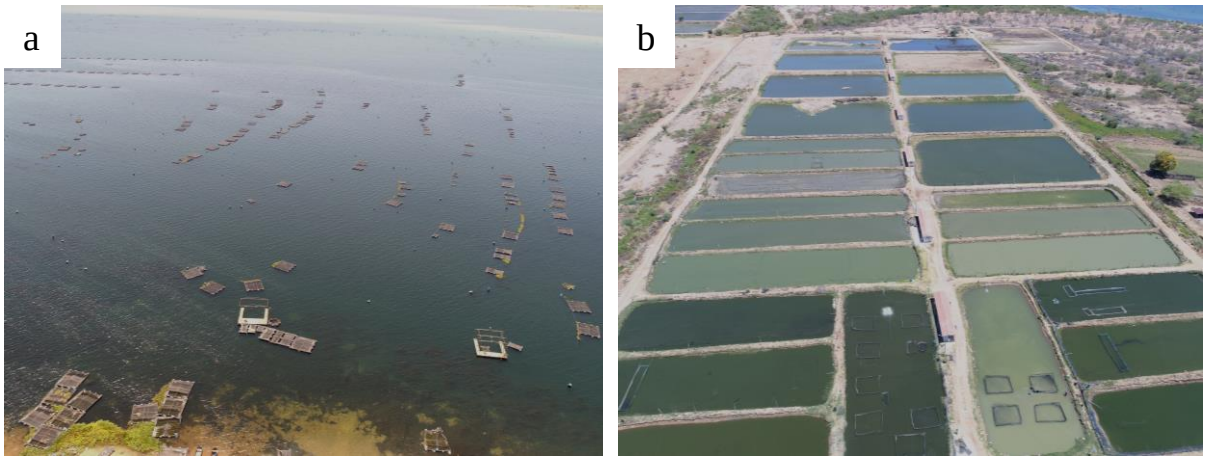
d) **Sistema superintensivo:** Trata-se de um sistema que possui as mesmas características do intensivo, porém permite que se utilize densidade de povoamento ainda maior. Para isso, os peixes são cultivados em estruturas apropriadas como viveiros circulares, tanques-rede, raceways e canais de concreto, construídos para conduzir água de irrigação (SEBRAE, 2015).

Dois principais tipos de estrutura para produção de peixes são encontrados na maioria dos sistemas de produção da piscicultura, os tanques-rede e os tanques ou viveiros escavados (Figura 1). Os tanques-rede são estruturas flutuantes, construídos com tela ou redes ancoradas no fundo de corpos d’água com profundidade suficiente para reter os peixes e permitir o fluxo

contínuo da água, de modo que haja remoção de resíduos orgânicos e metabólitos e fornecimento de oxigênio aos peixes (BARROSO; ANDRÉS, 2014).

Os tanques escavados são reservatórios de água, construídos com estruturas próprias para possibilitar a criação de peixes, escavados em terreno apropriado, com aproximadamente 1,0 a 1,5 m de profundidade, apresentando domínio de nível, entrada e saída de água, controlados por estruturas chamadas de monges e cachimbos. Podem variar de acordo com a finalidade, com 200 a 5.000 m^2 e profundidade mínima de 0,60 m destinados a alevinagem e reprodutores, e 0,5 a 4,0 ha para engorda (IGARASHI, 2011).

Figura 1 - Estrutura de produção de peixes em tanque-rede (a) e tanque escavado (b)



Fonte: A Autora, 2019.

Comparando os dois principais tipos de estrutura para tilapicultura, os tanques-rede necessitam de baixo investimento, além de menor dimensionamento dos custos e maior rapidez de implantação. Em geral, a atividade de piscicultura com monocultivo de tilápia e densidade total aproximadamente de 8 t/ha é indicada para viveiros escavados. Em cultivos com tanque escavado, a disponibilidade de alimentos naturais na água, como o plâncton, contribui para a redução do custo da ração por quilo de peixe produzido (KUBITZA, 2010).

2.2.1 Produção pesqueira no mundo e no Brasil

Dados apresentados no SOFIA (The State of World Fisheries and Aquaculture) pela FAO (2018) apontam que a produção de pescado em 2016 alcançou um recorde histórico de 171 milhões de toneladas. Deste total, 88% foi utilizado para consumo humano direto, resultando num elevado consumo per capita de 20,3 kg.

Entre os maiores produtores de pescado, a China representou 37,69% da produção mundial, dos quais 60,59% foram produzidos na aquicultura (MPA, 2011; FAO, 2016). Indonésia e Índia ocupam segundo e terceiro lugar, com 6,93% e 5,55%, respectivamente (Figura 2). O Brasil encontra-se na 19ª posição na produção mundial, correspondendo a 0,75% da produção total de pescados mundial (ACEB, 2014).

Figura 2 - Ranking mundial da produção de pescados em toneladas

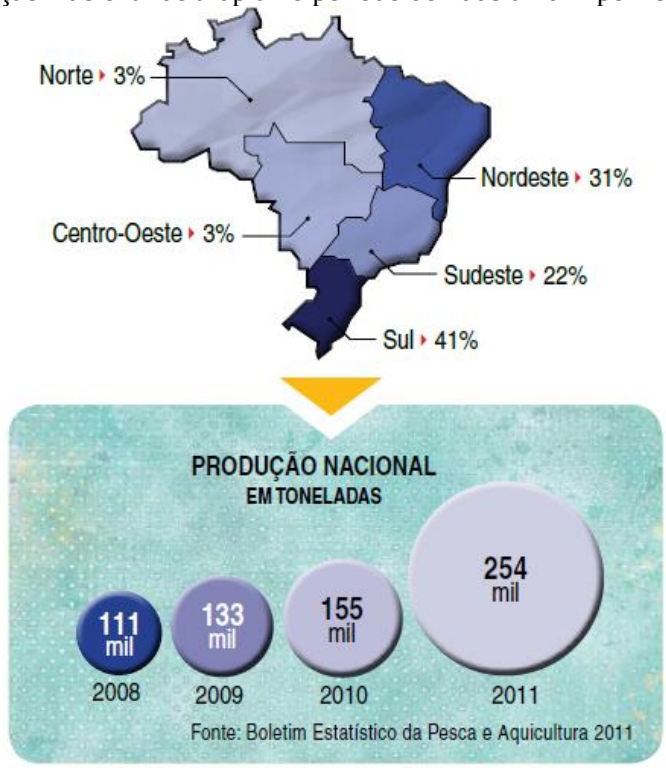
Fonte: ACEB, 2014.

Além de principal produtor de pescados, entre 2002 e 2015, a China também foi o maior exportador de peixe e produtos da pesca. Depois de China, os principais exportadores em 2016 foram Noruega, Vietnã e Tailândia (FAO, 2018).

Em relação aos países da América do Sul, Chile, Brasil e Equador ocupam o ranking dos principais produtores, respectivamente (MPA, 2011). Segundo o modelo de produção de pescado projetado pela FAO para o ano de 2025, espera-se aumento de produção na América Latina, particularmente no Brasil, que apresenta investimentos significativos no setor e expectativa 104% superior se comparada a produção dos anos de 2013-2015 (FAO, 2016).

A piscicultura vem crescendo significativamente nos últimos anos no Brasil, a despeito da falta de tradição no cultivo de peixes. Segundo Boletim Estatístico de Pesca e Aquicultura (MPA, 2011), a produção de tilápia representa 50% das espécies utilizadas na produção nacional. A região Nordeste é a segunda maior produtora, responsável por 31% da produção nacional (Figura 3). A região reúne condições favoráveis para o cultivo de espécies tropicais, como a tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), que pode ser cultivada durante todo o ano.

Figura 3 - Produção Nacional de tilápia no período de 2008 a 2011 por região do Brasil



Fonte: MPA, 2011.

O crescimento da criação de peixe em cativeiro no Brasil, tem sido de 6,6% ao ano nas últimas décadas, o dobro do crescimento médio mundial, com destaque para a tilápia, mas incluindo também a carpa, o tambaqui e o curimatã (MPA, 2011).

Regionalmente, o Nordeste vem apresentando crescimento acentuado, com destaque para a produção aquícola da bacia do rio São Francisco, extremamente relevante no contexto nacional em termos produtivos. No polo de piscicultura do submédio e baixo rio São Francisco, o município de Glória/BA, situado no reservatório Itaparica, foi o maior produtor nacional em 2017, com 11.644 toneladas de peixe (IBGE, 2017).

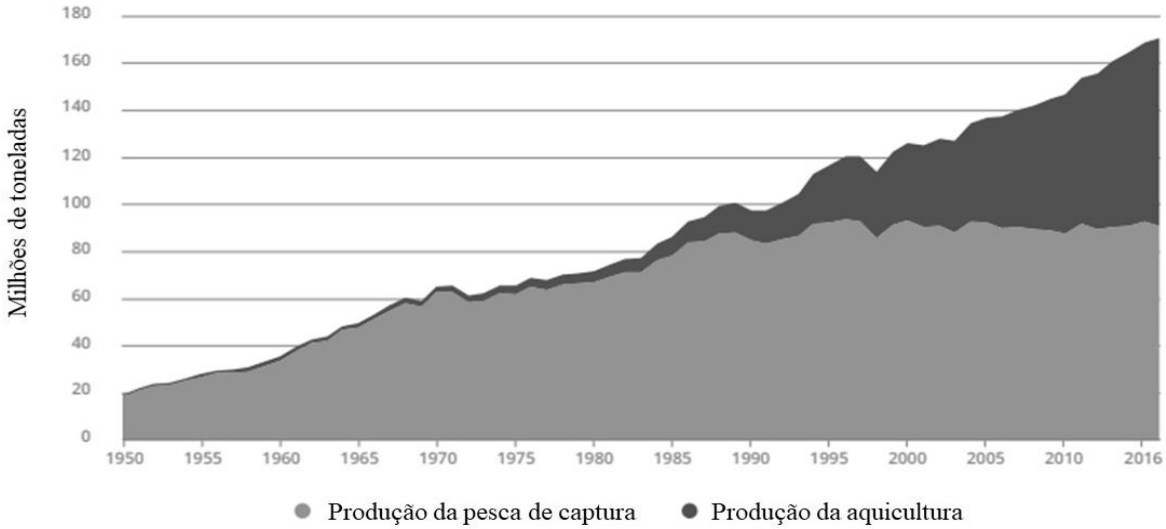
2.2.2 Produção da aquicultura *versus* pesca extrativa

A produção de pescado, que por muitos anos teve sua origem da pesca – que passa por uma estagnação, sobretudo pela explotação dos estoques pesqueiros – encontrou na aquicultura a saída para a continuidade do crescimento produtivo.

Desde a década de 1980, a aquicultura tem sido responsável por um crescimento expressivo na produção pesqueira para consumo humano, enquanto, que a produção pela pesca de captura manteve-se relativamente estática (Figura 4). Considerando o desenvolvimento

cronológico, a aquicultura forneceu apenas 7% do pescado para consumo humano em 1974, em seguida apresentou aumentou para 26% em 1994 e 39% em 2004, e atualmente responde por 47% da produção (FAO, 2018).

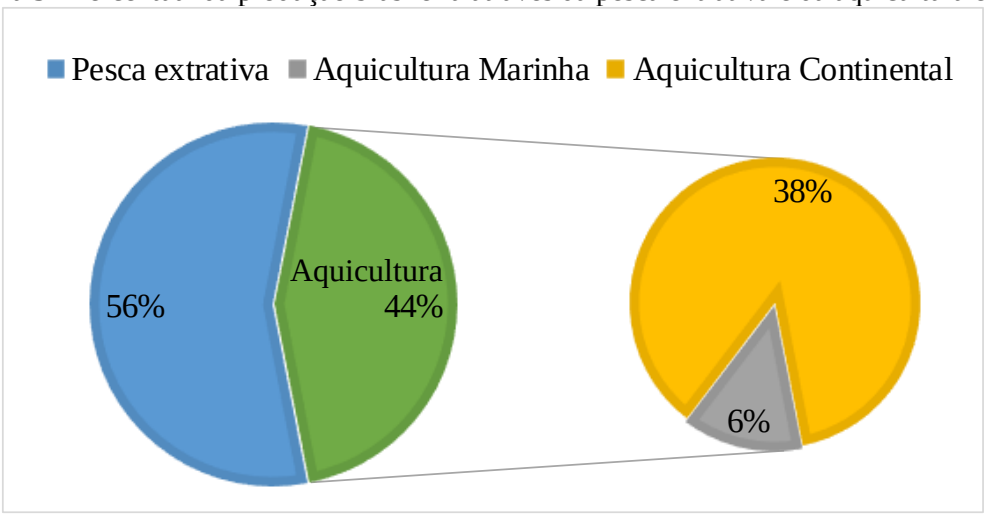
Figura 4 - Produção mundial entre pesca de captura e aquicultura em milhões de toneladas por ano (1950-2016)



Fonte: FAO, 2018.

No Brasil, segundo dados do Ministério da Pesca e Aquicultura, a produção total em 2011 foi de 1,5 milhão de toneladas, dos quais, 56% foram obtidos através da pesca extrativa, e os demais 44% pela aquicultura (Figura 5), reforçando a importância da pesca artesanal na produção pesqueira, apesar dos efeitos adversos ambientais que a atividade vem sofrendo.

Figura 5 - Percentual da produção brasileira através da pesca extrativa e da aquicultura em 2016



Fonte: A Autora, 2019.

Considerando a pesca extrativa continental - em ambiente de água doce - o Brasil é de longe o maior produtor da América do Sul, notadamente pela sua disponibilidade hídrica. No entanto, segundo o relatório da FAO (2018), a produção estimada em 2016 foi de 225.000 toneladas (-7,5% em relação à média de 2005 a 2014), atingindo o 13º lugar no ranking mundial.

Mundialmente, alguns dos principais países da África (República Unida da Tanzânia, Egito e República Democrática do Congo), Europa/Ásia (Federação Russa) e América do Sul (Brasil) comunicaram redução da pesca extrativa. Estas diminuições não são surpreendentes, uma vez que as águas interiores são altamente afetadas pela poluição, pela degradação ambiental e, devido aos seus habitats limitados, os recursos podem ser facilmente sobre-explorados (FAO, 2016).

E se os recursos hídricos são importantes na pesca extrativa continental, são ainda mais na aquicultura, onde 86% da produção no Brasil são realizados em ambientes dulcícolas (38% dos 44% obtidos com a aquicultura), enfatizando a importância dos reservatórios artificiais para o desenvolvimento da atividade e ao mesmo tempo, o risco de eutrofização dos corpos d'água a depender da intensidade da produção.

2.3 RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS NO SEMIÁRIDO

No Brasil, a implantação de reservatórios de regularização é utilizada como instrumenta na busca da sustentabilidade hídrica em regiões onde os recursos hídricos são limitados ou apresentam uma distribuição temporal desfavorável (ARRUDA, 2015). A redução do nível dos reservatórios, intensificam as preocupações com o compartilhamento dos múltiplos usos e a qualidade da água dos reservatórios. A utilização de reservatório artificiais para o desenvolvimento da piscicultura, associada as condições climáticas da região semiárida, podem contribuir para o processo de eutrofização.

2.3.1 Reservatórios artificiais como ambiente de produção

Os reservatórios artificiais são construídos com o objetivo de proporcionar benefícios socioeconômicos ao homem, possibilitando usos múltiplos da água para consumo humano, dessedentação animal, recreação, irrigação, indústria, aproveitamento hidroelétrico, pesca e piscicultura, navegação, lazer, entre tantos outros.

Apesar da baixa disponibilidade hídrica no semiárido, as temperaturas constantes propiciam o desenvolvimento da piscicultura ao longo de todo o ano, em ambientes lacustres, como os reservatórios. O Ministério do Meio Ambiente juntamente com a Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca, estabelecem por meio da Instrução Normativa nº 07 de 28 de abril de 2005, a utilização de até 1% da área superficial dos corpos d'água fechados ou semi-abertos[1] para a ocupação com finalidade aquícola (BRASIL, 2005).

Gunkel et al. (2015) apresentam os benefícios da produção de peixes em tanques-rede, entres eles, uso de tecnologia de baixo custo sem despesas de bombeamento de água, alta intensidade de produção, fluxo de água constante e de qualidade, fácil manejo de saúde e da fornecimento de alimento, possibilidade de realocar os tanques em situações de baixos níveis de água, opções de tratamento em casos de peixe doenças (por exemplo, isolamento de tanques-rede, tratamento químico com rápida diluição das substâncias), entre outros.

Entretanto, a produção de peixes em tanque-rede dentro de reservatórios é uma prática que vem sendo criticada, por conta do alto grau de introdução de nutrientes, que pode comprometer os usos que demandem a qualidade da água. Principalmente na região semiárida, onde o fator climático é sem dúvida o mais importante delimitador da disponibilidade de recursos hídricos. As regiões semiáridas são caracterizadas, de modo geral, pela aridez do clima, pela deficiência hídrica, com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas, e pela presença de solos pobres em matéria orgânica. O prolongado período seco anual eleva a temperatura local, caracterizando uma aridez sazonal (SILVA, 2006).

2.3.2 Mudanças climáticas e redução da vazão

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), as mudanças climáticas aumentam os riscos de escassez relacionados com os recursos de água doce, onde se espera para os próximos anos uma redução significativa dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, tanto em quantidade como em qualidade, devido às diversas fontes de poluição (IPCC, 2014).

[1] Entende-se como corpos d'água fechados ou semi-abertos: os reservatórios e outros corpos d'água decorrentes de barramentos, lagos, lagoas, açudes, depósitos decorrentes de águas pluviais, e remansos de rios (BRASIL, 2005).

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) apresenta projeções preocupantes para o final do século, ressaltando efeito nos biomas Amazônia e Caatinga, em virtude do alto grau de vulnerabilidade das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Ambas apresentam tendências de aquecimento na temperatura do ar e de diminuição da chuva maiores do que a variação média global (PBMC, 2014).

O Governo do Estado de Pernambuco, através da Lei nº 14.922, de 18 de março de 2013, institui a Política Estadual de Convivência com o Semiárido, que apresenta como objetivo estabelecer diretrizes básicas para a implementação de políticas públicas permanentes no meio rural de Pernambuco, na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável, assegurando às populações locais, os meios necessários à convivência com as condições adversas ao clima semiárido (PERNAMBUCO, 2013).

Considerando os cenários climáticos e os longos períodos de estiagem que resultam em redução de volume e vazão dos reservatórios, atividades que contribuem com o aporte de nutrientes, como o lançamento de esgoto sem tratamento, a agricultura irrigada e a piscicultura em tanque-rede, devem ser monitoradas e geridas de forma a mitigar os impactos sob a qualidade da água e a biodiversidade aquática, garantindo a segurança hídrica e o desenvolvimento socioeconômico na região semiárida.

O conceito de segurança hídrica considera a garantia da oferta de água para o abastecimento humano e para as atividades produtivas em situações de seca, estiagem ou desequilíbrio entre a oferta e a demanda do recurso, abrangendo medidas relacionadas ao enfrentamento e gestão para a redução de riscos associados a eventos críticos de secas e cheias (ANA, 2014). Uma vazão mínima permite o fluxo de mistura dos nutrientes, dificultando o processo de eutrofização em áreas que recebam dejetos orgânicos, além da manutenção da biodiversidade aquática.

A redução da vazão tem impactos diretos nas comunidades aquáticas, principalmente na comunidade de peixes, com a mudança do regime lótico da água para lêntico, com a construção das barragens (SILVA, 2015). Muitas espécies de peixes realizam o processo de migração reprodutiva denominado “piracema”, em direção às cabeceiras dos rios, porém a ausência de vazões mínimas e a presença das barragens, dificultam o sucesso reprodutivo.

O Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (CBHSF) admite a necessidade imediata de novos estudos para delimitação de novas vazões e avaliação de cenários frente às mudanças ambientais que vem fortalecendo o período de estiagem. Para isso, se faz

importante a participação não apenas de câmaras técnicas, mas também de representantes de todos os segmentos que compõem o CBHSF, promovendo uma gestão participativa e descentralizada, estabelecida na Política Nacional de Recursos Hídricos (CBHSF, 2016).

2.4 IMPACTOS DA PISCICULTURA DE TANQUES-REDE

No tocante à piscicultura em tanque-rede, a disponibilidade de água e seu fluxo contínuo auxiliam na diluição dos nutrientes introduzidos, no processo de autodepuração e na estabilidade dos parâmetros físico-químicos, como por exemplo, o oxigênio dissolvido.

Em termos qualitativos, a sobrevivência das comunidades aquáticas pode ser limitada em reservatórios, devido às alterações do ambiente natural e lótico para áreas lênticas com vazão reduzida, resultando num maior tempo de residência da água. Estes fatores são influenciadores no processo de eutrofização, reconhecido como um problema central na qualidade ambiental em reservatórios tropicais.

Os efeitos da eutrofização são interações complexas que envolvem, principalmente, a redução na qualidade da água, a perda da biodiversidade aquática, o desenvolvimento de espécies indesejáveis, como cianobactérias e macrófitas, por exemplo *Egeria densa* e *Eichhornia crassipes*, que apresentam impacto mecânico em turbinas, prejudicam a navegabilidade de pequenas embarcações e até mesmo na piscicultura, reduzindo o fluxo e consequentemente a disponibilidade de oxigênio para os peixes contidos nos tanques-rede.

Apesar dos impactos ambientais associados à piscicultura estarem intrinsicamente relacionadas ao meio biótico, outros aspectos devem ser considerados quando avaliados os impactos ambientais de uma atividade, como aqueles relacionados ao meio físico e ao meio antrópico, este último apresentando ainda impactos positivos no desenvolvimento socioeconômico da região. Diante do exposto e da avaliação dos impactos oriundos da atividade pesqueira, os aspectos abaixo são importantes e precisam ser monitorados e geridos.

2.4.1 Meio físico

Os impactos da atividade de piscicultura no meio físico estão associados principalmente às alterações dos parâmetros físico-químicos da água, e à deposição de partículas sólidas no sedimento. Além destas, pode-se ainda destacar as modificações nas margens e entorno do

empreendimento para a instalação de galpões, escritórios e sistema produtivo. Indiretamente, como já mencionado, há redução de fluxo devido ao desenvolvimento exacerbado de macrófitas aquáticas, alterando a hidrodinâmica local.

As alterações dos parâmetros físico-químicos podem resultar no aumento dos custos para tratamento da água para consumo humano, ou reduzir a qualidade da água destinada para outros usos e benefícios. Segundo Silva et al. (2011), dependendo da área e da densidade de estoque, um sistema de piscicultura pode ser tão poluente quanto qualquer fonte doméstica ou industrial. Durante o manejo e despesca dos tanques-rede pode ocorrer o revolvimento do sedimento com liberação de sólidos para a coluna d'água, aumentando a concentração de sólidos suspensos totais e turbidez (LIMA, 2010).

Dentre os parâmetros inerentes à atividade de piscicultura e que serão mais explorados nas análises, pode-se destacar os componentes a partir do nitrogênio e do fósforo. Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos e são caracterizados como macronutrientes, pois, depois do carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o eutrofizado. A eutrofização pode possibilitar o crescimento mais intenso de seres vivos que utilizam nutrientes, especialmente as algas (CETESB, 2014b).

O nitrogênio amoniacal é padrão de classificação das águas naturais e padrão de emissão de esgotos. A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L. Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, e em excesso, a partir de efluentes domésticos e industriais conduz processos de eutrofização das águas naturais (CETESB, 2014b).

2.4.2 Meio biótico

As alterações biológicas no meio aquático são resultantes de impactos diretos e indiretos da atividade de piscicultura sobre os organismos aquáticos, em consequência principalmente do manejo inadequado e grande utilização de insumos (ração e fármacos) e espécies exóticas. Tais alterações podem refletir na diminuição da ictiofauna e dominância de espécies, como cianobactérias e macrófitas.

2.4.2.1 Alteração na comunidade aquática

A descarga de efluentes com alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) pode causar redução no oxigênio nas águas receptoras, além de refletir na turbidez e nível do reservatório, causando mudanças na produtividade e na estrutura da comunidade bentônica adjacente (PRIMAVERA, 1993). A depleção de oxigênio pode levar a mortalidade de peixes levando a uma indicação do risco desse sistema aquático propício ao desenvolvimento de cianobactérias, algas e plantas aquáticas (ARRUDA, 2015).

Outro aspecto impactante na qualidade da água pela atividade de piscicultura é a utilização de hormônios sexuais nas primeiras fases de desenvolvimento dos alevinos, que podem se dispersar na água e cumulativamente atuar em alterações fisiológicas da comunidade aquática. O uso de antibióticos é outro risco de contaminação, podendo afetar as comunidades aquáticas (KOLAR et al., 2014). Além de representar riscos à saúde pública, a presença de antibióticos nos alimentos pode interferir na microbiota intestinal humana e trazer repercussões diretas na saúde dos indivíduos, como a própria resistência bacteriana (GASTALHO et al., 2014).

Geralmente, a utilização dos antibióticos se dá por meio de rações medicadas e adição direta na água (imersão). No entanto, alguns antibióticos não são metabolizados pelos peixes, cerca de 75% sendo excretados na água, transportados para o ambiente principalmente através dos dejetos fisiológicos, e grande parte não são biodegradáveis e nem são completamente extintos durante o tratamento de águas residuais (GASTALHO et al., 2014). Deste modo, o estudo dos possíveis impactos dos compostos químicos utilizados na piscicultura é essencial na avaliação de riscos e medidas de controle de uso e lançamento nos corpos hídricos.

A aquicultura depende fundamentalmente dos ecossistemas no qual está inserida. Estes devem permanecer equilibrados para possibilitar a manutenção da atividade. Sendo assim, a preservação ambiental é parte do processo produtivo (VALENTI, 2000).

A produção de peixes e outros organismos aquáticos diretamente em corpos hídricos pode propiciar grande impacto sobre a fauna nativa, principalmente a comunidade de peixes, se utilizadas espécies exóticas nos sistemas de produção, como é o caso da tilapicultura no Brasil. Diversos estudos realizados demonstram o poder de competição e adaptação das espécies introduzidas, em contrapartida às espécies nativas (BONCOMPAGNI-JÚNIOR et al., 2013).

Troca e Vieira (2012) relatam os impactos ecológicos negativos adquiridos com a manutenção de espécies invasoras utilizadas na piscicultura, assim como Britton e Orsi (2012) discutem sobre a utilização de espécies nativas nesta atividade ao invés de espécies introduzidas, que estariam causando risco à diversidade da ictiofauna nativa.

A alta capacidade adaptativa que espécies introduzidas apresentam, quando associada à competição de nicho com as espécies nativas, resulta num potencial para a desestruturação da fauna, uma vez que pode haver redução na disponibilidade dos recursos específicos para uma determinada espécie (AGOSTINHO et al., 2007).

Entre as espécies utilizadas na piscicultura no Brasil, a tilápia do Nilo apresenta grandes vantagens competitivas em relação às espécies nativas (LIZAMA et al., 2007). O sucesso na adaptação da tilápia do Nilo às condições climáticas do país e a boa aceitação no mercado contribuíram para a expansão e regulamentação da atividade de piscicultura no Brasil (BARROSO; ANDRÉS, 2014). Em 2013, a tilápia foi a espécie mais cultivada no país, representando 43,1% da produção piscícola nacional, seguida pelo tambaqui e seus híbridos (38%) (MUÑOZ et al., 2015).

As vantagens da utilização da tilápia do Nilo, como o conhecimento detalhado das particularidades biológicas e zootécnicas, a ótima adaptação em cativeiro, elevada adaptabilidade, rápida resposta reprodutiva, fácil cultivo e a alta demanda de mercado (BARROSO; ANDRÉS, 2014). Somado a isto, a ausência de protocolos de espécies nativas, a sazonalidade da reprodução dessas espécies, entre outros entraves, tem desamparado a disputa competitiva para o emprego de espécies autóctones.

Além da competição de nicho interespecífica com a ictiofauna, alterações das características do corpo hídrico, levam a modificações na dinâmica populacional das espécies, podendo ocorrer influências dentro da própria espécie, como desregulação hormonal, redução de migração, limitação do nicho trófico, entre outros.

2.4.2.2 Desenvolvimento de espécies indesejáveis

A piscicultura é uma boa alternativa para o aproveitamento dos recursos hídricos dos reservatórios, porém devido ao acréscimo dos nutrientes contidos nas rações utilizadas para alimentação dos peixes, esta atividade favorece o crescimento de plantas aquáticas e outras

espécies indesejáveis, devendo a área de cultivo ser monitorada continuamente (MELO, 2007; GUNKEL; SOBRAL, 2013).

O grande aporte de nutrientes juntamente com luminosidade ideal pode modificar a dinâmica de organismos, especialmente do fitoplâncton, favorecendo o crescimento de algumas espécies mais adaptadas a condições adversas, com formação de florações ou *blooms*, passando a dominar o ambiente e competir com maior eficiência com outros grupos fitoplanctônicos, afetando diretamente na biodiversidade. Pode, ainda, levar ao risco de liberação de toxinas, diminuição da transparência da água (MOTA, 2003) e alteração nas condições anaeróbias no corpo d´água (CASSINI, 2011).

A comunidade fitoplanctônica pode ser utilizada como indicadora da qualidade da água, principalmente em reservatórios, e a análise da sua estrutura permite avaliar alguns efeitos decorrentes de alterações ambientais (CETESB, 2014b), podendo altas densidades estarem relacionadas ao alto tempo de residência da água em reservatórios e às características climáticas locais de altas temperaturas e radiação solar (CARDOSO et al., 2017).

Da mesma forma, macrófitas aquáticas se desenvolvem potencialmente com a oferta de nutrientes na água. Estudos quantitativos e qualitativos em reservatórios de múltiplos usos apontam a problemática causada pela superpopulação de macrófitas aquáticas como um transtorno na geração de energia ao paralisar as turbinas dos geradores, com a atividade de geração de energia a mais afetada (MOURA et al., 2014).

O crescimento dessas populações tem influência direta na qualidade de vida humana, uma vez que, podem causar prejuízos também para outros setores do desenvolvimento, como: na irrigação, abastecimento de cidades e indústrias, navegação, recreação, bem como na piscicultura, principalmente na redução do fluxo de água e do oxigênio dissolvido disponível para os peixes.

Outro organismo bioindicador capaz de interferir na cadeia trófica aquática, que tem ocorrido frequentemente em grande quantidade nas áreas próximas à produção em tanque-rede, é a espécie de molusco bivalve *Limnoperna fortunei*, introduzida no Brasil via água de lastro na década de 1990. As características ambientais encontradas no país propiciaram a sua proliferação e o mexilhão-dourado se tornou uma espécie exótica invasora, causando impactos ambientais e econômicos, nas Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e, recentemente na região Nordeste, na bacia hidrográfica do rio São Francisco (IBAMA, 2019).

A colmatação causada pelo *L. fortunei* vem se tornando um grave problema e inviabilizando o sistema de tanques-rede em vários reservatórios brasileiros. O mexilhão-dourado tem o hábito de aderir-se a vários substratos presentes nos corpos d'água, inclusive na tela do tanque-rede, aumentando o peso da estrutura, dificultando o manejo, impedindo a renovação da água devido à obstrução da malha da tela e aumentando a pressão de arraste (VIANNA et al., 2019).

É importante ressaltar que a alimentação fornecida aos peixes de produção nos tanques-rede pode aumentar o número de mexilhões-dourados, além disto, estudos realizados por Cataldo et al. (2012) e Boltovskoy et al. (2015), demonstram que a presença de *L. fortunei* diminui as concentrações de matéria orgânica e aumenta as concentrações de amônia, nitratos e fosfatos, potencializando a capacidade poluente da atividade de piscicultura.

Segundo Pestana et al. (2010), para uma melhor compreensão do processo de bioivasão por *L. fortunei* recomenda-se a intensificação de estudos e esforço de coleta tanto em áreas onde já foram detectadas larvas da espécie, quanto em áreas onde ainda não há registro da espécie. É sabido que poucas são as alternativas práticas para se combater a espécie após a sua colonização em um determinado ambiente. Mas, por outro lado, a melhor compreensão dos mecanismos de dispersão pode fornecer as bases técnicas e científicas necessárias para o estabelecimento de medidas preventivas eficazes para se evitar a expansão das áreas de bioinvasão.

2.4.3 Meio antrópico

A atividade de piscicultura tem potencialidade para proporcionar geração de empregos diretos e alto faturamento anual, contribuindo significativamente para o crescimento dos municípios na região onde se instala, para o reestabelecimento da oferta de pescado em áreas represadas e a inclusão social de famílias de trabalhadores rurais (SILVA et al., 2011). O fomento à piscicultura familiar vem se mostrando uma excelente estratégia de desenvolvimento regional.

Na região semiárida, as condições climáticas, com baixo índice pluviométrico em relação a outras localidades do país, impactam na disponibilidade de opções agropecuárias viáveis. Somado a isso, a presença de reservatórios com água de boa qualidade favorece a implantação da atividade de piscicultura na bacia hidrográfica do rio São Francisco, como alternativa para a população local que não necessita migrar para outras regiões do país à procura de emprego.

Associado a estes aspectos, a piscicultura realizada por pequenos grupos de produtores em associações e pelo pequeno produtor reforça o incentivo à segurança alimentar e tecnologia social em regiões carentes, como ferramenta de transformação social e melhoria das condições de vida. A exemplo da região de Itaparica, no Estado de Pernambuco, existem 23 associações de produtores familiares, em diferentes níveis tecnológicos, distribuídas nos municípios de Itacuruba, Belém de São Francisco, Jatobá e Petrolândia. Juntas, estima-se que a produção anual de tilápia seja de 1.500 toneladas (RIBEIRO et al., 2015).

O município de Glória/BA, integrante do Polo de piscicultura do submédio e baixo São Francisco (SBSF), concentra a maior produção deste Polo, representou em 2015 mais de 80% dos empregos rurais formais, (EMBRAPA, 2016), contribuindo na cadeia de valor da tilápia do Nordeste na geração de empregos.

Do ponto de vista negativo, a atividade apresenta competição da cadeia produtiva com a pesca artesanal, tanto em questão de mercado, como na questão territorial, uma vez que a autorização para cessão de uso de área aquícola torna inacessível uma área que poderia ser produtiva naturalmente para a pesca artesanal.

Desta forma, é notória a importância na compreensão das duas atividades, suas competências, complementariedades, deficiências e conflitos. Estas e outras informações podem auxiliar no fortalecimento da cadeia produtiva de ambas, e no direcionamento da tomada de decisão para a mediação de conflitos e garantia do desenvolvimento sustentável da atividade.

2.5 ARCABOUÇO LEGAL E INSTITUCIONAL

De forma a auxiliar na gestão da atividade pesqueira e mediar o interesse dos *stakeholders*[2], em 1998, a competência relacionada ao apoio da produção e ao fomento da atividade foi delegada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), tendo sido criada em 2003, a Secretaria Especial da Aquicultura e Pesca (SEAP), ligada à Presidência da República. Somente em 2009, por meio da Lei nº 11.958, foi criado o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) atuante até o ano de 2015, quando foi extinto e retornada a Secretaria

[2] Termo usado para designar pessoas, empresas, instituições e comunidades que influenciam ou são influenciadas pelos resultados de uma organização de acionistas, funcionários, fornecedores, credores, clientes, governo e sociedade (CEMIG, 2015).

Especial da Aquicultura e Pesca (SEAP), atualmente Secretaria de Aquicultura e Pesca (SAP), vinculada ao MAPA.

Os principais instrumentos legais da atividade pesqueira encontram-se sumarizados no Quadro 1, juntamente com as instituições competentes para sua aplicação, sendo importante considerar também a atuação dos representantes municipais na descentralização de ações. A atuação institucional de forma integrada e a aplicação dos diversos instrumentos legais são importantes para uma gestão ambiental eficiente, que assegure que o empreendimento seja implantado, operado e desativado em conformidade com a legislação ambiental e outras diretrizes relevantes, a fim de minimizar os riscos ambientais e os impactos adversos (SÁNCHEZ, 2008).

Nessa perspectiva, a gestão ambiental pode ser entendida como o conjunto de procedimentos que visam a conciliação entre desenvolvimento e qualidade ambiental. Essa conciliação acontece a partir da observância da capacidade de suporte do meio ambiente e das necessidades identificadas pela sociedade civil e/ou pelo governo (SOUZA, 2000).

Semelhante a outros processos gerenciais e de negociação, a gestão dos recursos naturais, e em especial os hídricos, dá-se mediante objetivos sociais, econômicos e ambientais, em um arcabouço institucional e legal, incorporando múltiplos tomadores de decisão e com aspectos técnicos estruturados ou não (BRAGA, 2008).

Quadro 1 - Principais instrumentos legais que regem o desenvolvimento da atividade pesqueira no Brasil e na bacia do rio São Francisco.

Norma	Assunto abordado	Principais Instituições
Dec. Lei nº 221/1967	Dispõe sobre a proteção e estímulos à pesca	SUDEPE
Lei nº 6.938/1981	Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA)	MMA, IBAMA, CONAMA
Decreto nº 4.895/2003	Dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura	MMA, ANA, DNOCS, CODEVASF, SEAP, IBAMA, SPU
Decreto nº 5.583/2005	Autoriza o IBAMA a estabelecer normas para a gestão do uso sustentável dos recursos pesqueiros	IBAMA, MMA
Res. CONAMA nº 357/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes	CNRH, CPRH, ANA, CHESF
Lei nº 11.326/2006	Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais	IPA, CODEVASF, CMN
Portaria nº 50/2007	Estabelece o período defeso anual, de 1º de novembro a 28 de fevereiro, na bacia do rio São Francisco	IBAMA
Portaria nº 18/2008	Estabelece normas para o exercício da pesca na bacia hidrográfica do rio São Francisco	IBAMA
Lei nº 11.699/2008	Dispõe sobre as Colônias, Federações e Confederação Nacional dos Pescadores	Confederação Nacional dos Pescadores
Res. CONAMA nº 413/2009	Dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura	IBAMA, CPRH, SPU, MPA, Marinha
Lei nº 11.959/2009	Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca e regula as atividades pesqueiras	MPA, MARINHA, SPU
Decreto nº 6.981/2009	Cria o sistema de gestão compartilhada do uso sustentável dos recursos pesqueiros	MPA, MMA
Portaria nº 89/2010	Disciplinar a utilização e o aproveitamento dos imóveis da União em favor das comunidades tradicionais, mediante a outorga de TAUS	SPU
Lei nº 14.922/2013	Institui a Política Estadual de Convivência com o Semiárido	Governo do Estado de Pernambuco
Lei nº 13.134/2015	Altera a lei de concessão do benefício de seguro desemprego, durante o defeso	IBAMA, MTE, SEAP

Fonte: A Autora, 2019.

A seguir, serão apresentadas as principais políticas nacionais e seus respectivos instrumentos de gestão da atividade pesqueira.

2.5.1 Política Nacional de Meio Ambiente

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) está disposta na Lei nº. 6.938, de 31 de Agosto de 1981, fundamentada nos incisos VI e VII do art. 23 da Constituição Federal do Brasil, que aponta a União, Estados, Distrito Federal e Municípios, a competência comum de: i) proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas; e ii) preservar as florestas, a fauna e a flora.

Dentre os objetivos da PNMA, o primeiro é um consenso entre as atividades econômicas desenvolvidas no país, e idealiza a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico.

O Artigo 9º da PNMA estabelece os instrumentos para aplicação da política, que são aplicados à aquicultura como atividade poluidora. Os instrumentos principais são: i) padrões de qualidade ambiental; ii) zoneamento ambiental; iii) avaliação de impactos ambientais; e iv) licenciamento. Diante dos pressupostos apresentados é fundamental a compatibilização dos instrumentos aplicados para a gestão ambiental da atividade e a conservação dos ecossistemas aquáticos continentais.

2.5.1.1 Padrões de qualidade ambiental

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) por meio da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Complementada pela Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, define padrões como valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente e apresenta os padrões para corpos de água onde haja pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo intensivo, sendo classificados como ambientes lênticos de águas doces de Classe 2, onde o teor de fósforo total estabelecido nestas águas é de até 0,030 mg/L.

Os padrões estabelecidos devem ser analisados num Programa de Monitoramento Ambiental, que compõe a documentação mínima solicitada para o licenciamento ambiental ordinário e a obtenção da licença de operação. São parâmetros mínimos: Material em suspensão,

Transparência, Temperatura, Salinidade, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, pH, amônia-N, Nitrito-N, Nitrato-N, Fosfato-P, Silicato, Clorofila-a e Coliformes termotolerantes.

O monitoramento da qualidade da água, além de obrigatório, é a ferramenta mais eficiente para avaliar os reais impactos ambientais causados pelos cultivos (EMBRAPA, 2016). Paralelamente, é necessária a adoção de boas práticas de manejo e o desenvolvimento de protocolos que visem à minimização de impactos ambientais.

A obtenção de dados por meio de monitoramento ambiental é uma ferramenta fundamental para o conhecimento do atual estado dos estoques pesqueiros e é crucial para o planejamento e ordenamento da atividade (FRAGA et al., 2008).

A resolução nº 357/2005 também estabelece em seu artigo 18°, que os empreendimentos de aquicultura, quando necessário, deverão implantar mecanismos de tratamento e controle de efluentes que garantam o atendimento aos padrões estabelecidos na legislação ambiental vigente.

2.5.1.2 Zoneamento ambiental

O zoneamento ambiental é outro instrumento básico da PNMA, que além de regulamentar a preservação dos recursos naturais, é adequado para dirimir conflitos gerados pelo desenvolvimento simultâneo de várias atividades impactantes numa dada região. Ao identificar áreas representativas dos ecossistemas, o zoneamento retrata o perfil ecológico-territorial e explicita as atividades, usos e tipos de ocupação que devem ser vedados, condicionados ou permitidos nas diversas áreas.

Para delimitação do território pesqueiro no Brasil, há em tramitação um projeto de lei para a Regularização do território das comunidades tradicionais pesqueiras, o qual vem contribuir com o acompanhamento e mediação de conflitos entre a piscicultura e a pesca artesanal. Enquanto aguarda o seu tramite, a delimitação vem sendo feita por meio de obtenção do TAUS (Termo de Autorização de Uso Sustentável) junto à Secretaria do Patrimônio da União (SPU). Previsto na Portaria nº 89, de 15 de abril de 2010, o TAUS disciplina a utilização e o aproveitamento dos imóveis da União em favor das comunidades tradicionais, com o objetivo de possibilitar a ordenação do uso racional e sustentável dos recursos naturais disponíveis.

O zoneamento tem grande contribuição para o ordenamento, que se refere ao conjunto de normas e ações que permitem administrar a atividade pesqueira, com base no conhecimento atualizado dos seus componentes biológico-pesqueiros, ecossistêmicos, econômicos e sociais (MPA, 2014). A Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca traz em seu artigo 23º, instrumentos de ordenamento da aquicultura, sendo eles, os planos de desenvolvimento da aquicultura, os parques e áreas aquícolas e o Sistema Nacional de Autorização de Uso de Águas da União para fins de aquicultura, conforme definidos em regulamentação específica.

No tocante à pesca artesanal, existem diversas Portarias que auxiliam para o desenvolvimento da atividade de forma sustentável, sendo as principais: a Portaria nº 50/2007 (Estabelece o período de defeso anual), a Portaria nº 18/2008 (Estabelece normas para o exercício da pesca) e a Portaria nº 89/2010 (Disciplina a utilização e o aproveitamento dos imóveis da União em favor das comunidades tradicionais, mediante a outorga de TAUS).

2.5.1.3 Avaliação dos impactos ambientais

De forma a mitigar os impactos previstos, o processo de licenciamento e renovação da Licença de Operação exige o monitoramento da qualidade da água nos empreendimentos de piscicultura, a partir das condições e padrões de lançamento de efluentes estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005). No entanto, a demora dos processos de regularização e a incipiente fiscalização dos órgãos ambientais favorecem o não cumprimento do processo de monitoramento da qualidade da água, que por sua vez ocasiona modificações no ambiente aquático sem seu devido acompanhamento e aplicação de medidas mitigadoras.

Reservatórios são absorventes, característica que os torna aptos a resistir a determinados níveis de poluentes. Entretanto, essa capacidade tem limites, podendo surgir problemas em curto período, embora a entrada de poluentes no reservatório possa ter ocorrido em um período prolongado. A capacidade dos sedimentos de acumular poluentes pode explicar essa característica de absorção do lago. Ao atingir determinado nível, a capacidade de acumulação dos sedimentos é exaurida e posteriores entradas de poluentes aumentarão significativamente suas concentrações na água (JORGENSEN; VOLLENWEIDER, 2000).

O enriquecimento do meio aquático com nutrientes (fósforo e nitrogênio), devido ao lançamento de esgotos domésticos e efluentes da irrigação, resulta no processo de eutrofização, que é o crescimento excessivo de algas e de plantas aquáticas, causando problemas ao próprio ambiente e aos usos da água.

Os reservatórios podem ser classificados de acordo com seu nível trófico, como: ultra oligotróficos, oligotróficos (com baixa produtividade); mesotróficos (com produtividade intermediária), eutróficos (com alta produtividade) e hipereutróficos (com super produtividade), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de fósforo total e clorofila para identificação do estado trófico

Estado trófico	**Fósforo total dissolvido (mg/L)**	**Clorofila (mg/L)**	
		Médio	Máximo
Ultra oligotrófico	< 0,004	< 0,001	0,0025
Oligotrófico	< 0,01	< 0,0025	0,008
Mesotrófico	0,01 a 0,035	0,0025 – 0,008	0,008 – 0,0025
Eutrófico	0,035 a 0,1	0,008 – 0,0025	0,025 – 0,075
Hipereutrófico	> 0,1	> 0,025	> 0,075

Fonte: Tundisi et al., 2008.

Para tanto, se faz necessária a atuação integrada dos órgãos licenciadores de forma a gerir os recursos hídricos de modo mais efetivo e estimular o desenvolvimento de um sistema de suporte a decisão que enfoque a gestão dos recursos hídricos, os múltiplos usuários e as condições climáticas de extrema seca que vem atingindo a região do semiárido, uma vez que a quantidade de água e a redução da vazão pode influenciar consideravelmente nas condições ideais para a produção aquícola com qualidade e a manutenção da biodiversidade nativa do rio São Francisco.

2.5.1.4 Licenciamento ambiental

O licenciamento ambiental tem a finalidade de promover o controle prévio à construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como aqueles capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental (BRASIL, 1981).

Antes de iniciar uma aquicultura é necessário que o interessado possua a licença ambiental, a ser requerida no órgão ambiental competente, embora, devido a muitas dificuldades relacionadas com o licenciamento ambiental, poucos são os aquicultores que possuem a

licença ambiental do empreendimento e licença do aquicultor, documento que caracteriza o produtor como aquicultor legal (MPA, 2014).

O processo de licenciamento ambiental na aquicultura está disposto na Resolução CONAMA nº 413, de 26 de julho de 2009, e tem como objeto estabelecer normas e critérios para o licenciamento, seguindo algumas alterações na Resolução nº 459, de 16 de outubro de 2013 (BRASIL, 2009; 2013).

Na piscicultura, além do processo de licenciamento ambiental, a Instrução Normativa Interministerial nº 7/2005, em seu Art. 1º estabelece diretrizes para a implantação dos parques e áreas aquícolas, pontuando ainda em seus incisos II e V que não deverá existir uso conflitante no corpo d'água, e que a locação das estruturas do cultivo não devem impedir o livre acesso às margens do corpo d'água, respectivamente.

No caso do licenciamento ambiental de empreendimentos aquícolas localizados em águas de domínio da União, deverão ser seguidas também normas específicas para a obtenção de Autorização de Uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União, ou seja, regularização do projeto da piscicultura junto à Superintendência de Patrimônio da União (SPU).

2.5.1.5 Regularização de Projeto

A expansão da piscicultura no país tem sido limitada pela lentidão no processo de regularização dos projetos de piscicultura, que depende de vários órgãos quando desenvolvida em rios de domínio da União, sendo eles, Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Secretaria de Aquicultura e Pesca (SAP) e Superintendência do Patrimônio da União (SPU), além de órgãos de acompanhamento complementar como Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Marinha do Brasil (MMB) (Quadro 2). Isso torna o processo oneroso e demorado, fazendo com que muitos pleitos se arrastem por longos períodos, estimulando a instalação e operação de pisciculturas ilegais.

Diante deste escopo, se faz necessário desenvolver, em diversas escalas, uma gestão integrada e participativa com os usuários de forma a promover a redução dos impactos ambientais intensificados com os processos de mudanças climáticas nas regiões semiáridas, que vem

provocando redução da água disponível e aumento dos conflitos pelo uso da água, bem como riscos de degradação dos ecossistemas aquáticos.

A política brasileira para a atividade pesqueira se mantém fortemente direcionada a impulsionar o desenvolvimento da pesca industrial, mesmo diante de um contingente de 99% de pescadores cadastrados no Registro Geral serem artesanais e responsáveis por mais de 50% de toda a produção pesqueira no país (MPA, 2012).

Quadro 2 - Competências das instituições para autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União

Órgão	Competência
Superintendência do Patrimônio da União (SPU)	Emitir pareceres sobre a regularidade e autorizações de uso para áreas de propriedade da União, reguladas pela Lei n.º 9.636/98, que, entre outros aspectos, dispõe sobre a regularização, o aforamento e a alienação de bens imóveis de domínio da União
Ministério do Meio Ambiente (MMA)	Fazer o registro no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras dos Recursos Ambientais
Secretaria de Aquicultura e Pesca e IBAMA	Fixar as normas, os critérios, os padrões e as medidas de ordenamento de uso sustentável dos recursos pesqueiros, com base nos melhores dados científicos e existentes, na forma de regulamento
Marinha do Brasil (MMB)	Avaliar a execução de obras sob, sobre e às margens das águas sob jurisdição brasileira, emitindo parecer no que concerne ao ordenamento do espaço aquaviário e à segurança da navegação, sem prejuízo das obrigações perante os demais órgãos competentes

Fonte: A Autora, 2019.

A gestão participativa é um aspecto relevante na gestão da atividade pesqueira, principalmente na pesca artesanal, por envolver não só o aspecto econômico, mas também a diversidade cultural e saberes tradicionais das comunidades pesqueiras, o que facilitaria a coleta de dados contínuos e de qualidade sob a perspectiva das comunidades pesqueiras.

2.5.2 Política Nacional de Recursos Hídricos

A Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e regulamenta o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A

Constituição Federal em seu inciso XIX do Art. 21, diz que compete à União instituir a PNRH e definir critérios de outorga de direitos de seu uso.

Em seu artigo 1º, essa Política baseia-se nos seguintes fundamentos:

> I - a água é um bem de domínio público;
> II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
> III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
> IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
> V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
> VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. (BRASIL, 1997).

Todos os fundamentos da PNRH têm relação com a atividade de piscicultura e interagem fortemente com o objetivo de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Realizar o desenvolvimento das atividades econômicas, de forma a garantir a sustentabilidade é a peça chave no contexto histórico de desenvolvimento das políticas públicas, leis e estrutura institucional no país.

Todo esse arcabouço legal e institucional, vem instituindo diretrizes e planos, consolidados em diversos instrumentos que visam sua aplicação. Dentre os instrumentos de gestão previstos no Art. 5º da PNRH, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, é obrigatória na regularização da piscicultura, cujo objetivo é assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos. Para corpos d'água de domínio da União (interestaduais e transfronteiriços), a competência para emissão da outorga é da Agência Nacional de Águas (ANA).

A solicitação de outorga de uso de recursos hídricos para piscicultura em tanques-rede tem sido realizada em um trabalho conjunto da ANA com a Secretaria de Aquicultura e Pesca/MAPA). O Ministério solicita outorga preventiva por área aquícola através de ofício, a ser emitida em nome do próprio Ministério e que, posteriormente, é convertida em outorga de direito de uso aos vencedores de licitação realizada pelo MPA.

A ANA analisa o pedido em função da capacidade do corpo hídrico de diluir a carga de fósforo gerada nos empreendimentos de piscicultura, de modo que não haja alterações

negativas na qualidade da água e não se desrespeite a classe de enquadramento do corpo hídrico estabelecida pela Resolução CONAMA n° 357/2005.

O cálculo da disponibilidade hídrica em reservatórios pode ser verificado no manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013) descrito a seguir.

Na estimativa da capacidade de suporte têm sido utilizado o modelo de Dillon e Rigler (1974), no qual a concentração de fósforo na água ([P], em mg/m³) é uma função da carga anual de fósforo (L, em mg/m² ano), do coeficiente de retenção de fósforo pelos sedimentos (R), da profundidade média do reservatório (z, em m), e da taxa de renovação da água do reservatório (ρ, em anos-1) conforme Equação1.

$$[P] = L\,(1 - R) / (z \,.\, \rho) \qquad (1)$$

A profundidade média (z) pode ser calculada pela razão entre o volume e a área do corpo hídrico; a taxa de renovação (ρ) é calculada pela razão entre a vazão média e o volume máximo do reservatório e o coeficiente de retenção R é calculado pela Equação 2 proposta por Straskraba (1996).

$$R = 0{,}761 \,.\, (1 - e^{-10{,}293 \,.\, (1/\rho)}) \qquad (2)$$

O parâmetro concentração de fósforo ([P]) pode ser trocado, na fórmula, por Δ[P], que é o incremento na concentração de fósforo na água perante uma determinada carga L. Uma vez que já estão estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005 os valores máximos de concentração de fósforo para cada classe de corpo hídrico, para calcular o Δ[P] bastaria subtrair a concentração atual de fósforo na água do reservatório em questão da concentração máxima permitida por Lei. Dessa forma, conhecendo-se o máximo Δ[P] autorizável, poder-se-ia calcular o L máximo autorizável, ou seja, o quanto de fósforo pode ser adicionado à água, conforme Equação 3 (ANA, 2013).

$$L = (\Delta[P] \,.\, z \,.\, \rho) / (1 - R) \qquad (3)$$

Finalmente, após obter-se o L, que representa a máxima carga de fósforo autorizável/$m^{2,}$ multiplica-se o valor obtido pela área de espelho d'água (A, em m^2) do reservatório e chega-

se à carga de fósforo autorizável no reservatório todo (Lr, que estará em mg/ano e deve, por conveniência, ser convertido para kg/ano), conforme Equação 4.

$$Lr = L \cdot A \quad (4)$$

Ocorre, porém, que raramente se tem dados confiáveis, atualizados e disponíveis da concentração de fósforo nos reservatórios federais, não sendo possível determinar, para cada caso analisado, o Δ[P] autorizável. A solução adotada foi estabelecer um incremento máximo de 1/6 da concentração permitida pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para corpos hídricos de Classe 2, na qual se enquadra o uso para cultivos aquícolas. Isso corresponde a 5 mg/m³. Os 5/6 restantes ficariam reservados a outros usos que aportam fósforo à água, como a diluição de esgotos domésticos e industriais, além, é claro, do aporte natural de fósforo oriundo do solo. Assim, calcula-se o L em função de um Δ[P] de 5 mg/m³ (ANA, 2013).

Para alguns pesquisadores, o estabelecimento de até 1/6 da concentração limite, fixado para cultivos aquícolas, é um tanto arbitrário, e dependeria muito das circunstâncias do corpo hídrico e da intensidade da atividade produtiva. Além disso, deve-se considerar que há fácil variação dos parâmetros considerados no cálculo inicial da concentração de fósforo na água. A exemplo da atual vazão utilizada no cálculo da taxa de renovação (ρ) do reservatório Itaparica, que utiliza a média histórica para o reservatório, aproximadamente 2.060 m³/s, enquanto no período de realização da pesquisa, a vazão variou entre 900 e 500 m³/s.

A Resolução ANA nº 833, de 05 de dezembro de 2011, que estabelece as condições gerais para os atos de outorga preventiva e de direito de uso de domínio da União emitidos pela ANA, estabelece em seu artigo 2º, obrigações aos interessados, dentre elas, que todas as interferências nos corpos de água constantes dos atos de outorga, incluindo tanques-rede, deverão ser dimensionadas de modo a considerar as flutuações de nível e características locais do corpo hídrico.

Gunkel et al. (2018) avaliando a capacidade de suporte do reservatório Itaparica pontuam que após 25 anos da construção da barragem, o fluxo de entrada do fósforo a partir do rio principal encontra-se dentro da mesma faixa, indicando esgotamento dos nutrientes provenientes do solo e da vegetação inundados. Como resultado, as fontes naturais de fósforo diminuem para 2,9 g/m²/ano, enquanto as fontes antropogênicas aumentaram 0,7 g/m²/ano. Atualmente, a carga crítica de fósforo é 1,2 vezes maior que a capacidade de carga calculada

do reservatório, considerando a lixiviação mais ou menos completa dos solos e da vegetação inundados e as novas fontes, incluindo a produção intensiva da piscicultura em tanque-rede.

2.5.3 Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca

A Lei nº 11.959, de 29 de junho de 2009, referente à Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras, e é um dos mais relevantes instrumentos do desenvolvimento sustentável da atividade, principalmente por considerar a preservação, a conservação e a recuperação dos recursos pesqueiros e dos ecossistemas aquáticos, no desenvolvimento econômico, de forma a proporcionar o uso sustentável dos recursos pesqueiros.

Em seu artigo 1º essa Política estabelece como objetivos, promover:

> I – o desenvolvimento sustentável da pesca e da aquicultura como fonte de alimentação, emprego, renda e lazer, garantindo-se o uso sustentável dos recursos pesqueiros, bem como a otimização dos benefícios econômicos decorrentes, em harmonia com a preservação e a conservação do meio ambiente e da biodiversidade;
> II – o ordenamento, o fomento e a fiscalização da atividade pesqueira;
> III – a preservação, a conservação e a recuperação dos recursos pesqueiros e dos ecossistemas aquáticos;
> IV – o desenvolvimento socioeconômico, cultural e profissional dos que exercem a atividade pesqueira, bem como de suas comunidades. (BRASIL, 2009).

O artigo 2º, da seção I da política referente à sustentabilidade do uso dos recursos pesqueiros, atribui ao poder público a regularização da política e o dever de conciliar o equilíbrio entre o princípio da sustentabilidade dos recursos pesqueiros e a obtenção de melhores resultados socioeconômicos.

A política reforça a obrigatoriedade de obter ato autorizativo previamente junto às autoridades competentes para exercício da atividade pesqueira, importante para assegurar a proteção dos ecossistemas e a manutenção do equilíbrio ecológico, observados os princípios de preservação da biodiversidade e o uso sustentável dos recursos naturais. Além da questão ambiental a política reforça, em seu artigo 5º, a busca de mecanismos para garantia da proteção e da seguridade do trabalhador e das populações com saberes tradicionais, bem como, da segurança alimentar e a sanidade dos alimentos produzidos.

A política cuja finalidade é promover o desenvolvimento sustentável da aquicultura e da pesca aponta dez mecanismos, dos quais ao menos cinco tem relação direta com o presente estudo, a saber: i) a gestão do acesso e uso dos recursos pesqueiros; ii) a educação ambiental; iii) a pesquisa dos recursos, técnicas e métodos pertinentes à atividade pesqueira; iv) sistema de informações sobre a atividade pesqueira; e v) o controle e a fiscalização da atividade pesqueira.

A fiscalização tem um papel preponderante e juntamente ao ordenamento da aquicultura com a pesca artesanal tem grande importância na mediação de conflitos, devendo considerar as peculiaridades e as necessidades dos pescadores artesanais, de subsistência e da aquicultura familiar, visando garantir a permanência e a continuidade de ambas (BRASIL, 2009).

Compete aos Estados e ao Distrito Federal, o ordenamento pesqueiro nas águas continentais e suas respectivas jurisdições, observada a legislação aplicável, podendo o exercício da atividade ser restrito a uma determinada bacia hidrográfica, demonstrando uma tendência à descentralização na tomada de decisão (BRASIL, 2009).

São instrumentos de ordenamento da aquicultura os planos de desenvolvimento da aquicultura, os parques e áreas aquícolas e o Sistema Nacional de Autorização de Uso de Águas da União para fins de aquicultura, conforme definidos em regulamentação específica (BRASIL, 2009).

2.5.4 Sistema de Gestão Compartilhada do Uso Sustentável dos Recursos Pesqueiros

A gestão do uso dos recursos pesqueiros pode ser definida como um processo integrado de geração de informação, análise, planejamento, consulta, tomada de decisão, distribuição de recurso, formulação, implementação e execução de regras que governam todas as atividades pesqueiras para assegurar a produtividade contínua dos recursos e a compatibilização com outras atividades de pesca (FAO, 2016).

A gestão compartilhada, é uma abordagem caracterizada por uma parceria na qual o governo, os usuários locais do recurso (pescadores), os agentes externos (organizações não-governamentais, academias e instituições de pesquisa) e outros atores relacionados com a pesca (proprietários de embarcações, comerciantes de peixes, bancos que concedem

empréstimos, estabelecimentos turísticos, etc.) compartilham a responsabilidade e a autoridade por tomar decisões sobre a gestão pesqueira (BERKES et al., 2006).

Essa interação entre o governo e os usuários dos recursos pesqueiros se dá por meio de consenso, construindo e compartilhando diferentes papéis e responsabilidades na gestão do uso dos recursos pesqueiros. Em outras palavras, gestão compartilhada constitui uma alternativa promissora que busca aumentar a efetividade da gestão, pois, por meio de consultas, os parceiros no processo de gestão desenvolvem um acordo que especifica os seus papéis, responsabilidades e direitos (KALIKOSKI et al., 2009).

Se tratando da gestão dos recursos pesqueiros, a mesma acontece de forma compartilhada entre a Secretaria de Aquicultura e Pesca/MAPA e o Ministério do Meio Ambiente (MMA), conforme o Decreto nº 6.981, de 13 de outubro de 2009, que dispõe da atuação conjunta dos ministérios.

A portaria interministerial MPA/MMA nº 5, de 1º de setembro de 2015, regulamenta o sistema de gestão compartilhada, definindo-o como sistema de compartilhamento de responsabilidades e atribuições entre representantes do Estado e da sociedade civil organizada, formado por comitês, câmaras técnicas e grupos de trabalho de caráter consultivo e de assessoramento, constituídos por órgãos do governo de gestão de recursos pesqueiros e pela sociedade formalmente organizada;

O sistema de gestão compartilhada do uso sustentável dos recursos pesqueiros tem o objetivo de subsidiar a elaboração e implementação de normas, critérios, padrões e medidas de ordenamento do uso sustentável dos recursos pesqueiros, através da Comissão Técnica da Gestão Compartilhada dos Recursos Pesqueiros (CTGP), formada por representantes dos Ministérios da Pesca e Aquicultura e do Meio Ambiente, e dos Comitês Permanentes de Gestão (CPG), formados por representantes do Governo e da sociedade civil (MPA, 2014).

Com objetivo de assessorar os Ministérios da Pesca e Aquicultura e do Meio Ambiente no uso sustentável dos recursos Pesqueiros das regiões hidrográficas do São Francisco e outras localizadas no Nordeste foi instituída a Portaria Interministerial nº 12, de 1º de outubro de 2015. A portaria mencionada cria o Comitê Permanente de Gestão e do Uso Sustentável dos Recursos Pesqueiros das Bacias Hidrográficas – CPG Nordeste com caráter consultivo e de assessoramento à CTGP.

2.6 SIMULAÇÕES DA DISPERSÃO

O uso de ferramentas matemáticas e computacionais capazes de elaborar cenários e simulações, auxiliam nos procedimentos de análise, operação, planejamento e tomada de decisão em sistema de recursos hídricos, permitindo indicar os fatores que interferem na qualidade da água, antever os impactos decorrentes dos possíveis cenários hipotéticos e propor alternativas para que se encontre a melhor solução nas decisões de gestão de bacias hidrográficas (GASTALDINI et al., 2002).

Objetiva-se o aprimoramento das técnicas de avaliação dos impactos ambientais e da capacidade de suporte, especificamente no tocante, ao fósforo como fator limite de produtividade, minimização os impactos ambientais oriundos da piscicultura no semiárido. Segundo Marinho Filho et al. (2012), simulações das condições acerca da qualidade dos mananciais têm sido bastante difundidas, e suas aplicações na representação do comportamento de bacias hidrográficas têm apresentado bons resultados.

A calibração do modelo é um importante passo a ser atingido, tendo uma definição clara do objeto e dos parâmetros a serem analisados, oferecendo permissão ao usuário ajustar os parâmetros das equações matemáticas à realidade física, química e biológica dos recursos hídricos. Somente assim poderá se obter resultados precisos e decisórios (PAULA, 2011).

Existem diversos modelos que auxiliam no processo de gestão dos corpos hídricos e a escolha adequada é promovida devido às necessidades do pesquisador e aos dados básicos disponíveis sobre a área. Batista e Cabral (2017) compilaram alguns modelos matemáticos, dos quais, alguns citados na literatura em termo de aplicação para dispersão de nutrientes em ambientes lóticos, onde pode-se destacar: CE_QUAL_W2, MIKE 2016, QUAL2E, QUAL-UFMG, GESCAL, e outros como: AQUATOOL, SIMGES e TELEMAC, com variedades de aplicações.

Poucos modelos são capazes de simular a qualidade de água vinculada à quantidade, em escala da bacia hidrográfica incluindo ambientes lênticos, e o sistema AQUATOOL vem se revelando como uma interface apropriada para a edição, simulação, revisão e análise de modelo de simulação de gestão de bacias hidrográficas, com simulação da qualidade da água em rios e reservatórios, através do uso dos módulos GESCAL e SIMGES (SALLA et al., 2014; MAGALHÃES, 2017).

O módulo SIMGES é comumente utilizado para simular a vazão em rios, córregos e reservatórios, a partir da definição espacial e quantitativa da água retirada para múltiplos usos e das recargas, como os afluentes, em qualquer bacia hidrográfica que possua regra de gestão definida por Comitê de Bacia Hidrográfica. E o módulo GESCAL simula a qualidade da água em diferentes condições quantitativas em ambientes lênticos e lóticos antecipadamente determinados no SIMGES (SALLA et al., 2014).

Por fim o TELEMAC-2D como módulo de simulação, selecionado para a realização das simulações hidrológicas na presente pesquisa, devido aspectos como: acesso ao software para realização das simulações, aplicação para dispersão de fósforo e nitrogênio oriundos de piscicultura, utilização anterior na área de estudo, uso de batimetria compatível existente, inserção de parâmetros como ação de vento, cota do reservatório e principalmente vazão afluente, para a construção dos cenários, dentre outros aspectos abordados a seguir.

2.6.1 Módulo TELEMAC-2D

O TELEMAC-2D foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Hidráulica e Ambiente (*Laboratoire National d''Hydraulique et Environnement – LNHE*) da Direção de Pesquisa e Desenvolvimento da EDF-R & D, Chatou, França, e contou com a colaboração de outros institutos de pesquisa (MATTA, 2013).

O TELEMAC é um sistema de modelagem de águas superficiais escrito em código FORTRAN e é uma ferramenta para resolver equações de águas rasas, tal derivado por Barré de Saint-Venant em 1871, utilizando ainda o método de elementos finitos e redes triangulares não estruturadas. O módulo TELEMAC-2D do sistema é uma poderosa ferramenta de modelagem integrada para superfícies livres de fluxos e resolve equações bidimensionais de transporte de água rasas com algoritmos complexos com base no Método dos Elementos Finitos, calculando a profundidade da água e as duas componentes de velocidade em cada ponto da malha (MATTA, 2013).

Muitos estudos de simulação são desenvolvidos usando apenas modelos unidimensionais, mas o sistema TELEMAC possibilita realizar simulações bidimensionais e inclusive tridimensionais com a aplicação do TELEMAC-3D. O sistema não tem interface gráfica, portanto, é necessário um pré-processador para criar e editar a malha e um pós-processador, para visualizar e analisar os resultados.

O módulo TELEMAC-2D resolve simultaneamente as Equações hidrodinâmicas 5, 6, 7 e 8:

Continuidade: $$\frac{\partial h}{\partial t} + u.\ \vec{\nabla}(h) + h div(\vec{u}) = S_h \quad (5)$$

Momento (eixo X): $$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u}.\ \vec{\nabla}(u) = -g\frac{\partial Z}{\partial x} + S_x + \frac{1}{h} div\left(h v_t \vec{\nabla} u\right) \quad (6)$$

Momento (eixo Y): $$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u}.\ \vec{\nabla}(v) = -g\frac{\partial Z}{\partial y} + S_y + \frac{1}{h} div(h v_t \vec{\nabla} v) \quad (7)$$

Conservação do traçador: $$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u}.\ \vec{\nabla}(T) = S_T + \frac{1}{h} div(h v_t \vec{\nabla} T) \quad (8)$$

Onde:

h (m)	profundidade de água
u, v (m/s)	componentes de velocidade
T (g/l ou °C)	passivo (não-flutuante) traçador
g (m/s²)	aceleração da gravidade
υt, Yt (m²/s)	coeficientes de difusão do traçador e momento
Z (m)	elevação da superfície livre
t (s)	tempo
x, y (m)	coordenadas
S_h (m/s)	fonte ou sumidouro do fluido
S_x, S_y (m²/s)	termos da fonte ou sumidouro em equações dinâmicas
S_T (g/l/s)	fonte ou sumidouro de traçador
H, u, v e T	são as variáveis desconhecidas.

2.6.2 Aplicação do TELEMAC-2D

O TELEMAC-2D é utilizado em muitos campos de aplicação. No domínio marítimo, pode ser feita uma referência especial ao desenho da estrutura portuária, estudos sobre o efeito da construção de quebra-mar submersíveis ou de dragagem, impacto das descargas de um emissário marítimo, estudo de plumas térmicas. No que diz respeito aos rios, o impacto de vários tipos de construção (pontes, soleiras, espigões), rupturas de barragens, estudos de inundações e transporte de traçadores dissipadores ou não dissipadores. O TELEMAC-2D também pode ser utilizado em diversas aplicações especiais, como falhas de reservatórios industriais, avalanches em reservatórios, entre outros.

Além disso, o programa é capaz de considerar diversos fenômenos, tais como:

- Propagação de ondas longas, incluindo efeitos não lineares;
- Fricção no leito;
- Efeito da força de Coriolis;
- Efeitos de fenômenos meteorológicos como pressão atmosférica, chuva e vento;
- Turbulência;
- Fluxo supercrítico e subcrítico;
- Influência dos gradientes de temperatura horizontais e salinidade na densidade;
- Coordenadas cartesianas ou esféricas para grandes domínios;
- Áreas secas no campo computacional: planícies de inundação;
- Arrastamento e difusão de um traçador por correntes;
- Detecção de partículas e cálculo de derivas Lagrangeanas;
- Rompimento de dique;
- Inclusão das forças de arrasto criadas por estruturas verticais;
- Inclusão de fenômenos de porosidade;
- Inclusão de correntes induzidas por onda;
- Acoplamento com transporte de sedimentos e;
- Ferramentas de qualidade da água.

O sistema de modelagem TELEMAC tem sido utilizado em vários estudos no grupo de pesquisa do Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Modelagem de Hidrossistemas da TU Berlin, principalmente estudos relativos à hidráulica fluvial e estuarina, incluindo áreas de estudo no Brasil, e ainda mais especificamente na bacia hidrográfica do rio São Francisco e no Reservatório Itaparica (HINKELMANN, 2005, JOURIEH, 2015, MAHGOUB; HINKELMANN, 2015, MATTA et al., 2018).

É fundamental agregar dados obtidos *in loco*, de medições da velocidade da água e profundidade, em pontos conhecidos na malha do modelo, ratificando a calibração realizada pelos pesquisadores da Universidade Técnica de Berlin, para simulação no TELEMAC aplicado no reservatório Itaparica.

O sistema TELEMAC como modelo de águas rasas em profundidade média mostra-se a ferramenta ideal para avaliar a dispersão de fósforo dissolvido, considerando diferentes cenários de redução da vazão afluente no reservatório Itaparica e ainda possibilitar uma

abordagem alternativa para estimar os tempos de retenção de água. A presente tese também integrou de forma paralela a avaliação de resultados de amostras de água e sedimento, e da comunidade fitoplanctônica para avaliação do aporte de nutriente provenientes da piscicultura em tanques-rede.

2.7 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À GESTÃO DA PISCICULTURA

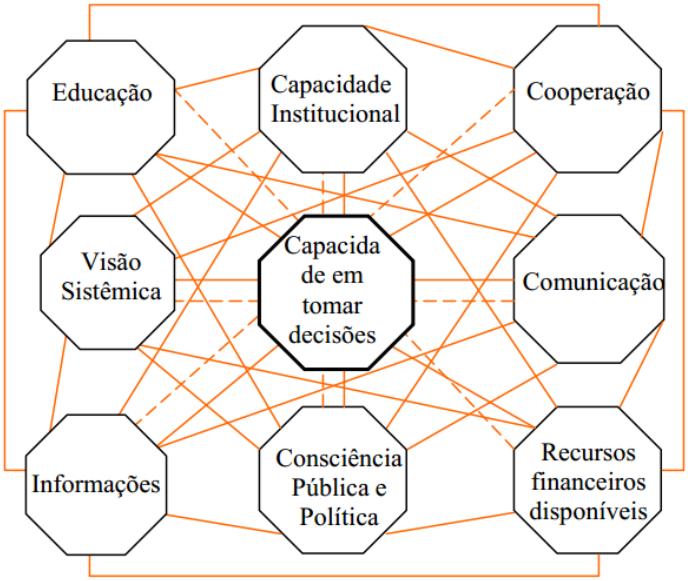
A aplicação geotecnologias no presente estudo vem a contribuir no processo decisório da gestão da piscicultura, face à importância crescente deste setor produtivo, visto que são poucos os estudos relacionados a espacialização e regularização dos projetos da piscicultura.

A aplicação de geotecnologias no monitoramento ambiental auxilia o gestor na representação do mundo real e em suas relações espaciais, basicamente, com uso de mapas e recursos gráficos, a exemplo de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) que são aptos para modelar, armazenar, manipular e apresentar dados de posição, conformação, atributos e relacionamentos espaciais, sobre parcela física do sistema geográfico (RIZZOLI et al., 1998).

Geotecnologias podem auxiliar no processo de tomada de decisão, fomentando informações mais rápidas e acessíveis. A capacidade de um decisor em tomar decisões e a incerteza relacionada a estas decisões dependem de vários fatores, entre eles: a disponibilidade de conhecimentos e habilidades, o entendimento e comunicação entre os tomadores de decisão, o desejo de cooperação entre os tomadores de decisão, os recursos financeiros disponíveis, dentre outros (KROETZ, 2003).

A Figura 6 ilustra a rede de alguns elementos que formam o ambiente de decisão, sendo parte deles contemplados na execução do presente projeto, dispondo de Informações, Visão sistêmica, Comunicação, Consciência pública e política.

Figura 6 - Representação esquemática do ambiente de decisão



Fonte: Massukado, 2004.

A acessibilidade à dados e informações pelos atores sociais envolvidos na atividade pode contribuir para a gestão participativa, e ainda otimizar a descentralização das ações localmente. A capacidade da Internet de atingir muitos usuários, independentemente da plataforma, através de custos mínimos e com alta capacidade de atualização, fez com que ela se tornasse uma grande ferramenta para disponibilização de dados cartográficos (KRAKK e BROWN, 2001).

Através da Web é possível integrar cartografia e multimídia, permitindo a elaboração e a disponibilização de mapas, onde, além da visualização, o usuário tem a possibilidade de adequar o mapa disponibilizado às suas necessidades específicas (MARISCO, 2014). A utilização dos hiperlinks, característica das aplicações para a Internet, forma uma grande teia de informações interligadas entre si. Uma nova conotação de SIG, provendo serviços através da Internet (MELO; CANDEIAS, 2005).

O desenvolvimento de *webmaps* tem se mostrado um eficiente mecanismo para interação de informações cartográficas, pois possibilita o acesso simultâneo a inúmeros usuários e permite a criação de interfaces acessíveis e interativas. Outra aplicação importante é a de geoespacialização da atividade, com a confecção de mapas, permitindo identificar áreas de concentração ou não da piscicultura, bem como os motivos que fortaleceram a atividade em cada região. Tornando essa acessível e imprescindível para nortear as tomadas de decisão (ROCHA, 2015).

Segundo Câmara et al. (2001), o Brasil apresenta carência de conhecimentos adequados para a tomada de decisões referentes aos problemas, sociais, ambientais, urbanos e rurais de forma interdisciplinar. O Geoprocessamento proporciona um potencial para auxiliar neste cenário, especialmente se fundamentado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente. Na aquicultura, o uso da geotecnologia vem sendo utilizado como ferramenta para a identificação de áreas favoráveis para a atividade. Como feito por Völcker e Scott (2008), ao qual utilizaram o SIG e o sensoriamento remoto para a determinação do potencial da aquicultura no baixo rio São João, no Rio de Janeiro.

São inúmeras as possibilidades funcionais executadas pelas geotecnologias, outro exemplo é a função de análise espacial, que a exemplo, na aplicação de monitoramento da qualidade de água, onde são se tem a totalidade de pontos amostrados para analisar uma área, permite-se fazê-la através da interpolação. A interpolação é um procedimento utilizado para converter dados de observação de pontos em superfícies contínuas, sendo necessária quando (BURROUGH et al., 2015):

- Uma superfície discretizada exige um grau de resolução diferente da original (Ex.: transformação de grade com resolução de 100 dpi para 50dpi), ou
- Uma superfície contínua é representada por um modelo de dados diferente do requerido (Ex.: transformação de malha triangular irregular para grade regular), ou
- Os dados disponíveis não cobrem o domínio de interesse completamente (Ex.: os infinitos pontos de uma superfície não estão disponíveis).

De acordo com Fitz (2008) a interpolação pode ser entendida como um método que, utilizando funções matemáticas, permite encontrar valores de dados intermediários contidos entre outros dois valores de dados conhecidos. Os dados interpolados representam, portanto, uma aproximação da realidade. Assim, quanto mais dados conhecidos existirem, tanto mais fiel é a modelagem realizada. O fundamento básico da interpolação respalda-se na evidência de que os valores de pontos próximos no espaço são mais similares que os valores de pontos mais distantes.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo está apresentada a delimitação da área de estudo e os procedimentos metodológicos que nortearam a pesquisa, organizados de acordo com os objetivos específicos. Tais procedimentos abrangem delimitação da área de estudo, obtenção e análise de dados secundários e primários, desde a delimitação dos pontos monitorados na avaliação da qualidade da água, até as simulações hidrológicas e aplicação de geotecnologias na gestão da piscicultura. Todas as ferramentas aplicadas à avaliação dos impactos da piscicultura, incluindo a análise espacial dos empreendimentos no reservatório Itaparica, visam subsidiar a gestão ambiental desta atividade em reservatórios da bacia do rio São Francisco.

É importante ressaltar que a estruturação desta pesquisa, com determinação dos objetivos deu-se a partir da coparticipação de piscicultores e representantes dos órgãos estaduais de fiscalização e desenvolvimento do Estado de Pernambuco, tais como a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e Agência de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco (AD Diper), diante dos problemas relacionados à regularização territorial e monitoramento da qualidade de água nas áreas de piscicultura no reservatório Itaparica.

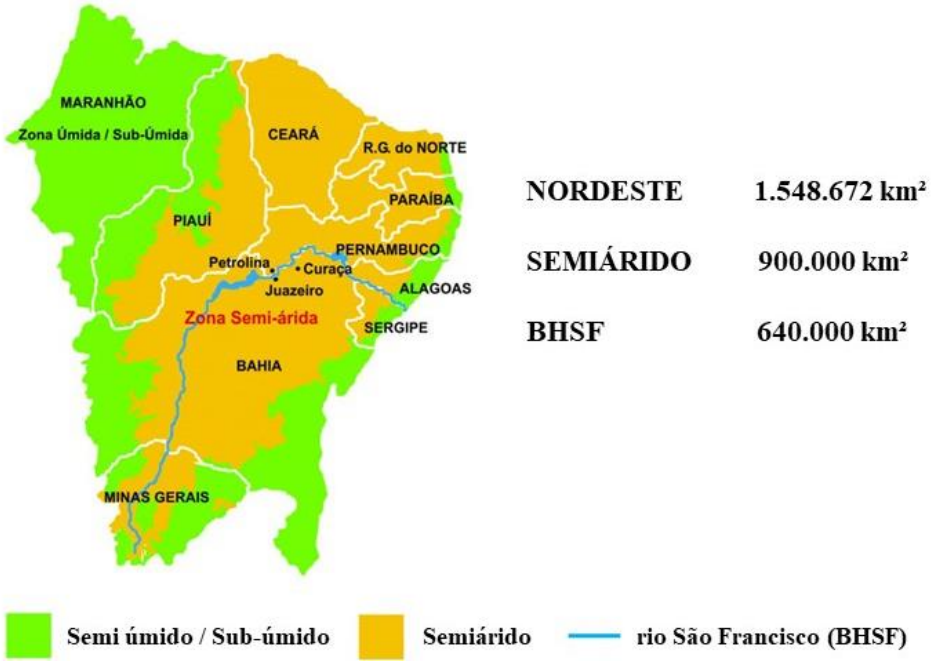
3.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se em um dos trechos da bacia hidrográfica do rio São Francisco, o trecho submédio do rio São Francisco, com 440 km de extensão e população de aproximadamente 2 milhões de habitantes. A bacia hidrográfica do rio São Francisco é a terceira maior do Brasil, com área de 640.000 km² é a única inserida totalmente em território brasileiro (CHESF, 2015).

O rio São Francisco é o mais importante da região Nordeste, tendo seu curso principal cerca de 2.863 km de extensão, entre a nascente, localizada na Serra da Canastra, no município mineiro de São Roque de Minas e a foz, situada entre os Estados de Alagoas e Sergipe, nas proximidades da cidade alagoana de Piaçabuçu. Ao longo do seu curso, o rio banha municípios dos Estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, sendo sua bacia composta por cerca de 80 rios perenes e 27 intermitentes (CHESF, 2015).

Pela sua diversidade climática, extensão e características topográficas, a bacia é dividida em quatro regiões: o alto, médio, submédio e o baixo São Francisco. Estas regiões contemplam 57% do seu território inserido na região semiárida, conforme observado na Figura 7. O trecho submédio abrange áreas dos Estados da Bahia e Pernambuco, estendendo-se desde a jusante da barragem de Sobradinho até a barragem complexo de Paulo Afonso, compreendendo uma área de 110.446 km^2 (CBHSF, 2016).

Figura 7 - Delimitação do semiárido na região Nordeste do Brasil

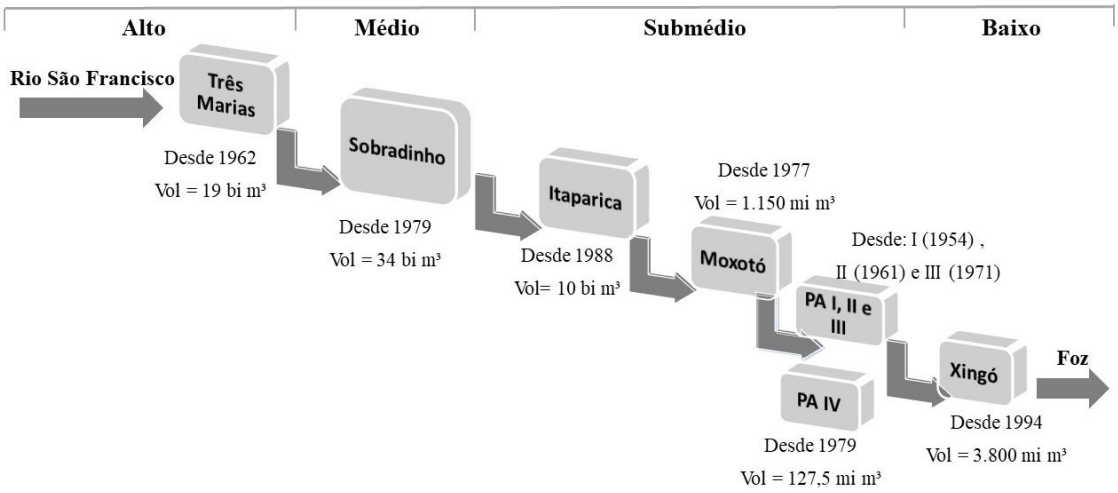


Fonte: Adaptado do MDR, 2017.

De acordo com a classificação de Köeppen, o clima da área é semiárido de estepes BShw' (clima semiárido quente e seco com chuvas de verão-outono) e se caracteriza pela alta evaporação, chuvas médias anuais entre 410 e 610 mm, com duas estações sazonais definidas. O período seco ocorre no inverno e a altura de chuva do mês úmido alcança dez vezes a altura de chuvas do mês mais seco (MELO, 2007).

O rio São Francisco apresenta em sua calha principal uma série de reservatórios em cascata, desde o alto São Francisco, com a represa de Três Marias, seguida por Sobradinho onde inicia o trecho submédio, com os reservatórios Itaparica, Moxotó e Complexo de Paulo Afonso (PA I, II, III e IV), até o reservatório Xingó no baixo São Francisco, totalizando sete barragens de grande captação (Figura 8).

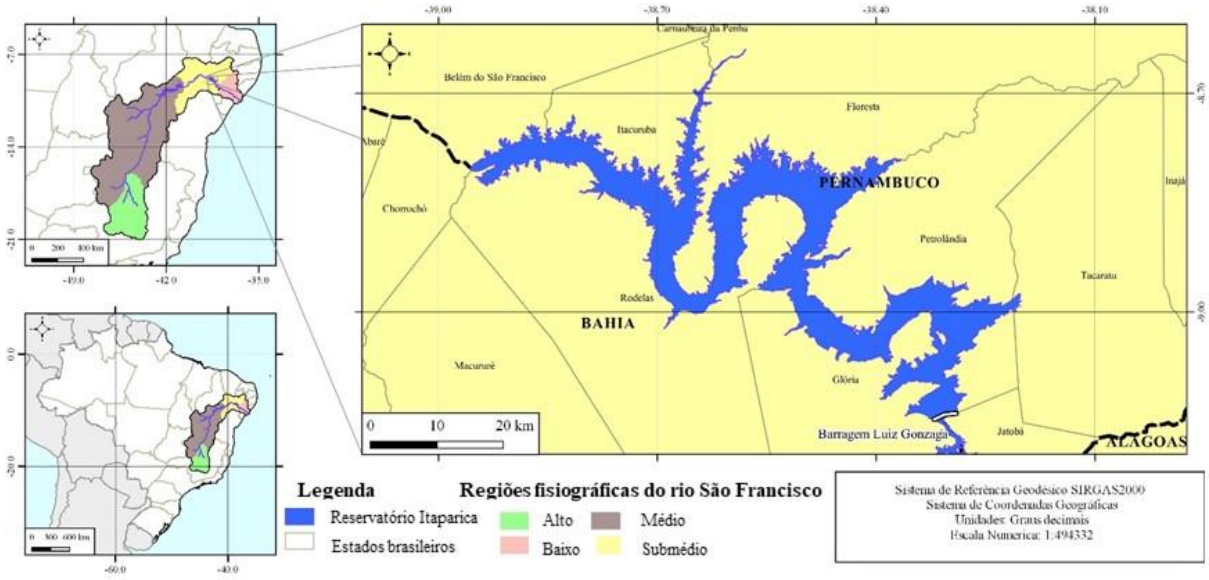
Figura 8 - Principais reservatórios hidroelétricos em operação na bacia do rio São Francisco



Fonte: A Autora, 2018.

O trecho submédio[3] da bacia hidrográfica do rio São Francisco, tem como principal reservatório, o reservatório Itaparica, formado pela Usina hidroelétrica Luiz Gonzaga. O reservatório Itaparica localiza-se entre o estado de Pernambuco e Bahia, nas coordenadas geográficas 08° 45’ 38,79” – 09° 08’ 7,50” S e 039° 0’ 21,82” – 038° 17’ 51,22” W (Figura 9).

Figura 9 - Localização do reservatório Itaparica no trecho submédio do rio São Francisco



Fonte: A Autora, 2019.

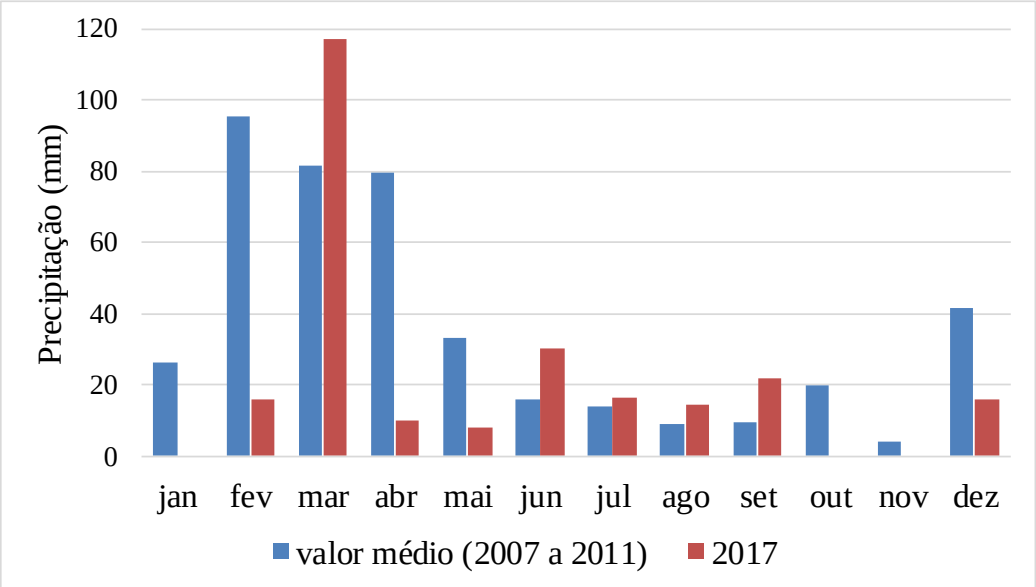
[3] O trecho submédio São Francisco é formado pelos corpos d’água compreendidos a jusante da barragem da usina hidrelétrica de Sobradinho e a montante das barragens do complexo Paulo Afonso (PA).

O reservatório Itaparica compreende uma área de 828 km², extensão de aproximadamente 150 km e capacidade de armazenamento de 10,7 bilhões de m³, cujo nível pode variar até 5 metros, entre o nível operativo máximo de 304 m e mínimo de 299 m. O início da operação da Usina Hidrelétrica Itaparica, chamada Usina Luiz Gonzaga ocorreu em 1988, com o objetivo de geração de energia elétrica e regularização das vazões afluentes aos reservatórios a jusante, proporcionando usos múltiplos das águas (CHESF, 2015).

Os municípios localizados na porção pernambucana do reservatório Itaparica estão inseridos na mesorregião do São Francisco pernambucano, área de clima semiárido e vegetação de caatinga, com o período chuvoso compreendido entre os meses de dezembro e abril, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas (ANA), resultando em um período de estiagem com duração de sete meses, entre maio e novembro.

Apesar do período chuvoso está tipicamente compreendido entre dezembro a abril, conforme dados da ANA e a precipitação média no período de 2007 a 2011, os meses considerados no período chuvoso em 2017, foram março de junho. Diferente do período típico chuvoso da região, foi assumido para o presente estudo o período de março a julho, este fato pode relacionar-se às alterações do clima na região semiárida, que vem apresentando oscilação da época de precipitação, bem como intensificação e redução do período chuvoso (Figura 10).

Figura 10 – Valor médio da precipitação no município de Itacuruba, reservatório Itaparica, no período de 2007 a 2017



Fonte: A Autora, 2019.

Os municípios presentes no entorno do reservatório apresentam um contingente populacional aproximado de 120 mil habitantes, numa área de 10.745,38 km² (Tabela 2), sendo o município de Floresta/PE, o maior em área e o segundo maior em número de habitantes, ficando apenas atrás do município de Petrolândia, que apresenta população de 36.187 hab. e renda per capita superior a R$ 25 mil. As sedes dos municípios de Petrolândia e Itacuruba foram totalmente inundadas com a construção da usina hidroelétrica, e os habitantes reassentados em novas cidades construídas, resultando a estes dois municípios os maiores percentuais de urbanização, em 69,9 e 89,7%, respectivamente (IBGE, 2010).

Tabela 2 - Municípios estudados, informações acerca de sua área territorial, população, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e renda per capita

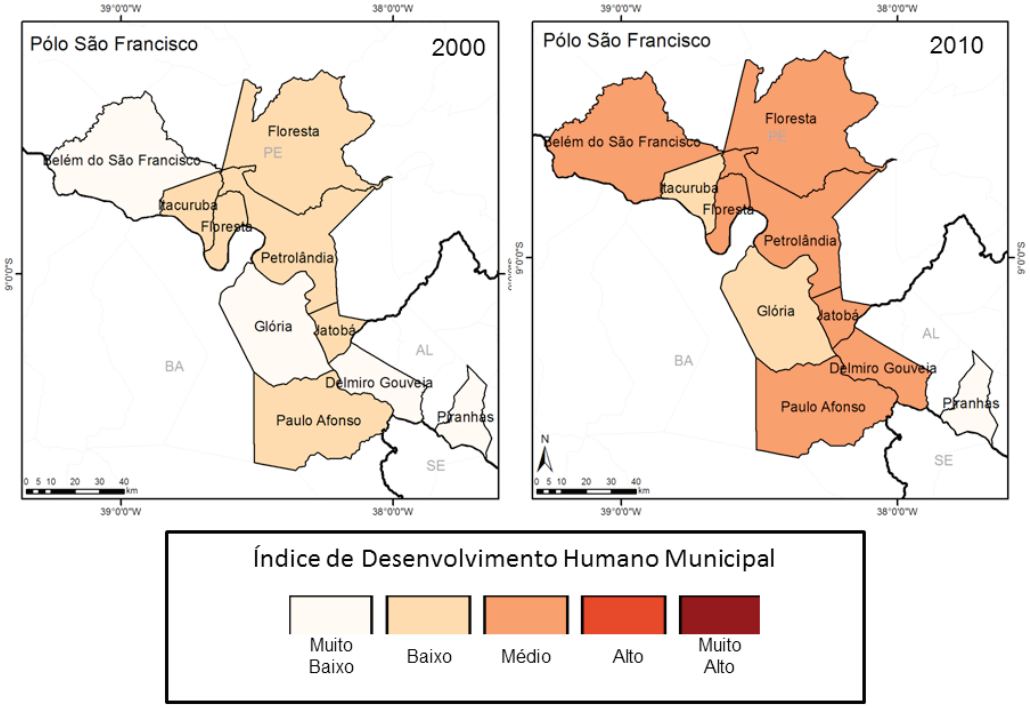
Município/Estado	**Área (km²)**	**População (habitantes)**	**IDH**	**Renda per Capita (R$)**
Petrolândia/PE	1.056,60	36.187	0,623	25.132,13
Floresta/PE	3.644,17	32.556	0,626	12.356,67
Itacuruba/PE	430,04	4.869	0,595	11.059,74
Belém do S.F./PE	1.830,80	20.728	0,642	9.107,80
Rodelas/BA	2.207,16	9.213	0,632	10.397,23
Glória/BA	1.566,61	15.208	0,593	10.588,92

Fonte: A Autora, 2019.

Os municípios mencionados, exceto Rodelas/BA, compõem o Polo de tilapicultura no submédio e baixo São Francisco (SBSF), associados a outros municípios a jusante de Itaparica: Jabotá/PE, Paulo Afonso/BA e Piranhas/AL. Estudos da dimensão socioeconômica e da cadeia produtiva da tilapicultura no SBSF têm sido realizados pela Embrapa (2018), reforçando a importância da piscicultura em municípios com baixo IDH, como é o caso dos municípios de Itacuruba/PE e Glória/BA, que apresentaram em 2010, IDH de 5,95 e 5,93 respectivamente (Tabela 2), classificado como baixo (Figura 11).

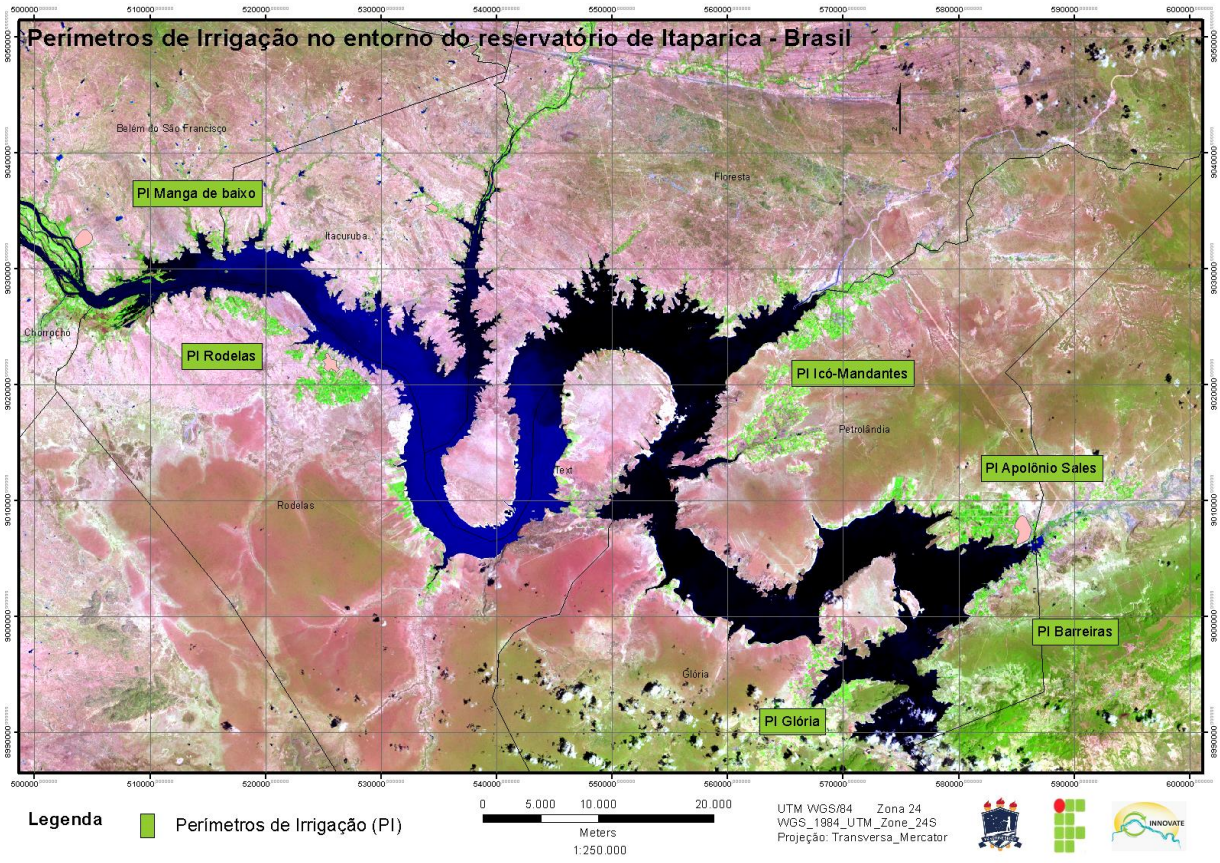
Apesar da relevância da piscicultura para o desenvolvimento socioeconômico local, a principal atividade econômica é agricultura, realizada principalmente em seis perímetros irrigados (PI), instalados no entono do reservatório de Itaparica, dos quais quatro estão localizados no Estado de Pernambuco e dois no Estado da Bahia (Figura 12). A localização dessas áreas faz-se importantes para monitorar a qualidade da água, principalmente na proposta de minimizar o uso de agrofertilizantes e desenvolver um manejo adequado no uso dos recursos hídricos.

Figura 11 - Índice de desenvolvimento humano dos municípios localizados no Polo da piscicultura do submédio e baixo São Francisco



Fonte: Embrapa, 2018.

Figura 12 - Perímetros de Irrigação no entorno do reservatório de Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

O recorte das análises para o reservatório Itaparica e para o município de Itacuruba/PE, foram delimitados considerando os aspectos ambientais e sociais, relacionados ao desenvolvimento da atividade, sendo o reservatório Itaparica escolhido em função dos seguintes critérios:

- Situado na região semiárida do nordeste brasileiro, área susceptível à desertificação e com potencial de impactos na quantidade e qualidade da água de reservatórios;
- Apresenta usos múltiplos (abastecimento doméstico e industrial, geração de energia elétrica, irrigação, lançamento de efluentes, recreação, turismo, navegação, pesca e piscicultura), que podem causar sérios problemas de qualidade de água e intensificar conflitos de uso;
- Reservatório Itaparica, ponto de captação da água no eixo leste do Projeto de Integração do rio São Francisco, no município de Floresta (jusante a Itacuruba), intensificando o monitoramento, fundamental para assegurar água de boa qualidade;
- A atividade de piscicultura desenvolvida no município de Itacuruba, constitui-se de forma diversificada, integrando empreendimentos privados de grande e pequeno porte, cooperativas e associações de pequenos produtores, conferindo ao município, polo produtivo mais a montante da barragem;
- O município tem a atividade de piscicultura como principal atividade econômica, uma vez que o solo apresenta baixa aptidão para a agricultura;
- Os empreendimentos monitorados foram parceiros prévios em pesquisas desenvolvidas no âmbito do Projeto de Innovate, ao qual a autora foi integrante, havendo prévia aceitação e autorização para realização das coletas;
- Localização das pisciculturas em trecho inicial do reservatório e produção contínua nos empreendimentos.

A escolha da área tem relevância, frente o crescimento expressivo da piscicultura em tanque-rede na região semiárida e a necessidade de avaliação dos efeitos da atividade sobre os recursos hídricos, principalmente no período de escassez, quando exigido ainda mais dos órgãos gestores e demais *stakeholders*.

3.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS SECUNDÁRIOS

Foi realizado o levantamento de documentos, arcabouço legal e artigos publicados, bem como as outorgas, licenças ambientais e deferimento de cessões de uso para aquicultura junto aos órgãos gestores envolvidos (Secretaria de Aquicultura e Pesca – SAP/MAPA, Agência Nacional de Águas - ANA, Superintendência do Patrimônio da União - SPU, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH, e secretarias municipais).

Ressalta-se que a coleta de dados em fontes bibliográficas e documentais foi um procedimento contínuo utilizado nas várias etapas da execução do projeto de pesquisa. A consolidação dos dados secundários, com participação no Fórum da Piscicultura, reuniões do comitê, visita aos órgãos responsáveis pela outorga, licença e cessão de uso, incluindo reuniões nas sedes da ANA e SAP/MAPA em Brasília/DF, além como na esfera estadual a CPRH, e na esfera municipal as secretarias municipais nos estados de Pernambuco e Bahia.

Conversas com representantes das instituições que atuam localmente como o Programa estadual de apoio ao pequeno produtor rural (ProRural) e a Associação de aquicultura do rio São Francisco (PEIXE SF), além de outros dados qualitativos foram obtidos durante visitas à campo e conversa informal com produtores locais.

Foram consultados relatórios técnicos e documentos publicados acerca de dados sobre cota, vazão, armazenamento, capacidade de geração de energia, bem como autorizações de redução da vazão mínima aplicada aos reservatórios do trecho submédio São Francisco, junto à Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), Agência Nacional de Águas (ANA) e ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

3.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS PRIMÁRIOS

A partir dos dados obtidos durante visitas às pisciculturas e aos órgãos de controle e gestão da atividade, foi organizado um banco de dados para aplicação de ferramentas computacionais, possibilitando o desenvolvimento *webmap*, que serão apresentados a seguir.

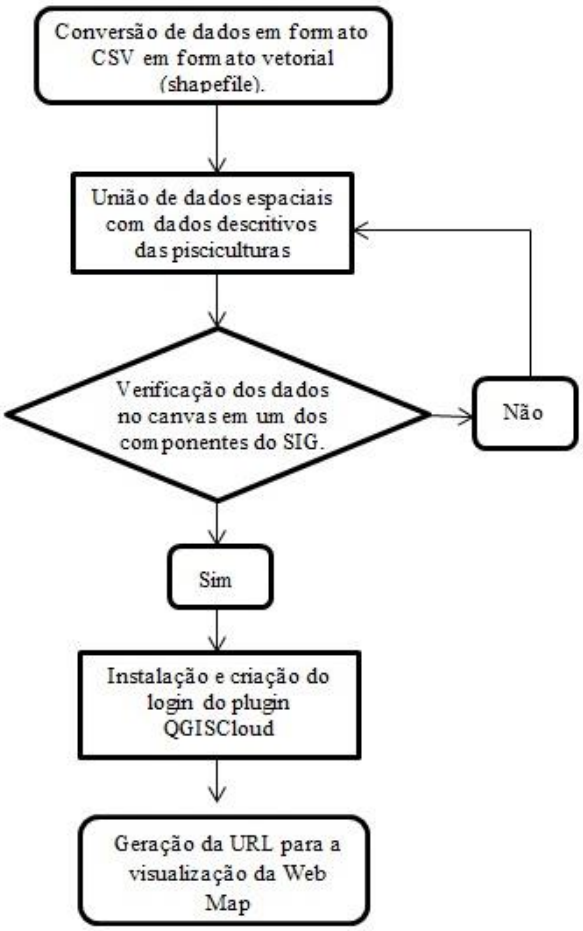
3.3.1 Geotecnologia aplicada à gestão da piscicultura

O *webmap* foi implementado no software livre QGIS, utilizando o plugin QGIS Cloud Hosting que é uma plataforma SIG-WEB para publicação de mapas, dados e serviços geoespaciais na Internet. Com o QGIS Cloud, é possível criar e editar mapas profissionais com todos os recursos do qgiscloud.com e permitem um tipo de interação básica com o usuário, como zoom, movimentação, manipulação das camadas visíveis, cálculo de áreas e distâncias, entre outras.

Este plugin converte todos os planos de informação do projeto do QGIS em formato HTML e, em seguida, gera uma pasta contendo os arquivos complementares para a geração do *webmap*. O QGIS Cloud oferece um banco de dados PostgreSQL completo, estendido com o componente espacial PostGIS. É possível gerenciar bancos de dados com qualquer ferramenta de administração compatível, como o pgAdmin ou a ferramenta Administrador do Banco de Dados do QGIS tendo acesso total a todas as funções de um banco de dados PostgreSQL / PostGIS (QGISCloud, 2018).

A criação do *webmap* para visualização espacial e disponibilização de informações na Internet é importante no manejo de pisciculturas no reservatório Itaparica de forma gratuita e acessível. Ainda é possível o compartilhamento de mapas e dados através de serviços de WMS ou baixar dados através do WFS compatíveis com o OGC (Open Geospatial Consortium). Logo após, a inserção de dados na plataforma QGISCloud é gerado um link na Internet para o acesso do *webmap* combinado com os dados das pisciculturas. A Figura 13 mostra os passos que foram seguidos para a geração no *webmap*, utilizando banco de dados conforme representados pelos atributos do Quadro 3.

Figura 13 - Fluxograma das etapas de elaboração do *webmap*



Fonte: A Autora, 2019.

Quadro 3 - Atributos disponibilizados no *webmap*

Atributo	**Descrição**	**Atributo**	**Descrição**
piscicultura	Nome da piscicultura	Longitude	Coordenadas geográficas longitude da piscicultura em graus decimais
CNPJ_CPF	Número do CPF ou CNPJ	município	Munícipio da piscicultura
licenca	Tipo de licença ambiental obtida	estado	Estado Federativo
numero_do_processo	Número do protocolo no MPA da outorga	volume_util	Volume útil em m³
situacao	Situação de regularização da piscicultura	fosforo	Fósforo em kg/dia
UHE	Reservatório	producao	Produção em toneladas por ano
outorga	Deferimento por resolução e ano de validade	racao	Ração em kg/dia
latitude	Coordenadas geográfica latitude da piscicultura em graus decimais	cessao_de_uso	Cessão de Uso

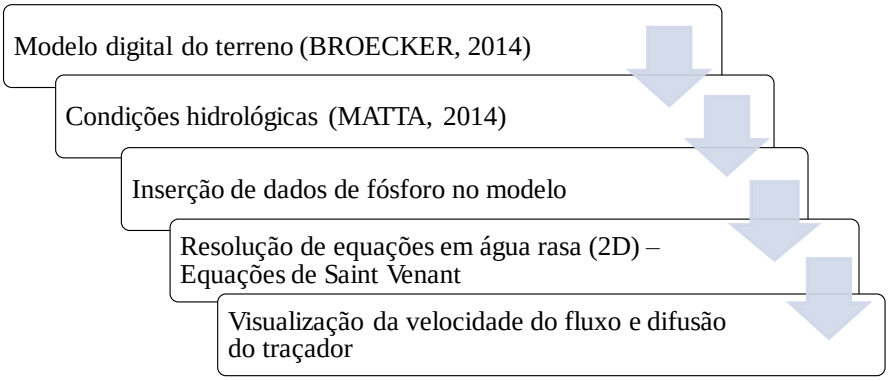
Fonte: A Autora, 2019.

São abordados a seguir os métodos aplicados na simulação da dispersão do fósforo dissolvido ao longo do reservatório Itaparica e na análise da qualidade da água nas pisciculturas estudadas no trecho do município de Itacuruba/PE, reservatório Itaparica.

3.3.2 Simulação da dispersão de nutrientes

A aplicação do modelo exigiu a execução dos procedimentos apresentados na Figura 14, dos quais, a criação do modelo digital do terreno (BROECKER, 2014) e a análise estatística dos dados temporais (MATTA et al., 2018) foram realizadas anteriormente em estudos do Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Modelagem de Hidrossistemas da TU Berlin no reservatório Itaparica ao longo do Projeto INNOVATE.

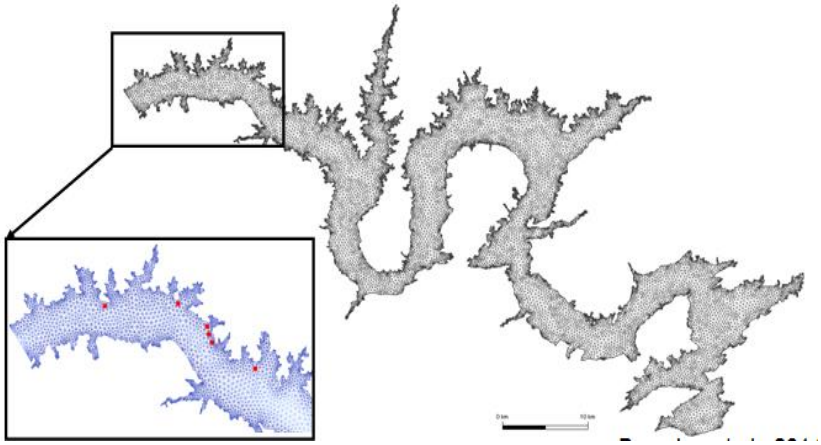
Figura 14 - Procedimentos para aplicação do modelo



Fonte: A Autora, 2019.

O modelo digital do terreno desenvolvido por Broecker (2014) considera a criação de duas malhas não estruturadas com alta resolução, diferente em relação à batimetria: uma para baixo nível de água e outra para médio e alto nível de água (Figura 15).

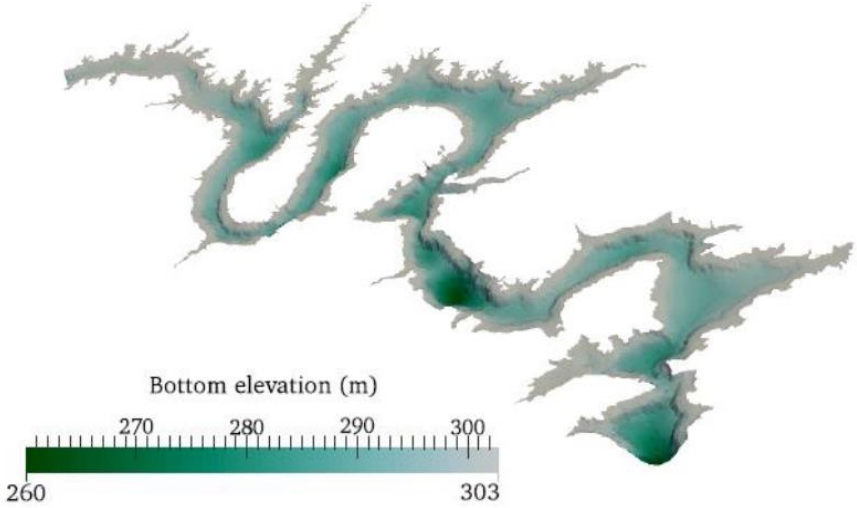
Figura 15 - Empreendimentos de piscicultura localizados na malha desenvolvida no software Janet



Fonte: Adaptado de Broecker (2014).

Para consolidação da malha gerada foram realizadas medições *in loco* de variáveis hidrológicas em secções transversais em cinco pontos de amostragem na área de estudo (P1, P2, P3, P4 e P5), em trecho do reservatório no município de Itacuruba/PE. Por meio de Correntógrafo Aquadopp da Nortek foram obtidos dados de velocidade da água, direção da corrente, profundidade e altitude. Os resultados obtidos em campo variaram em média 6 metros de profundidade com a topografia elaborada por Broecker (2014) na Figura 16, sendo realizada a correção do valor para reduzir possíveis erros, através de indução na cota do reservatório (m).

Figura 16 - Topografia do reservatório Itaparica no software Janet



Fonte: Broecker, 2014.

Foram assumidas algumas condições analisadas estatisticamente com base em séries históricas por Matta (2013) e Broecker (2014), como: Vazão média de 2.060 m³/s, Velocidade média do Vento de 5,5 m/s e direção vento em ângulo de 140º. Os dados de velocidade e direção do vento foram utilizados no modelo com descrição das condições iniciais do reservatório e foram considerados em todas as simulações para um nível de água de 300 metros, enquanto a vazão afluente foi estabelecida como variável nos diversos cenários. A velocidade inicial zero e a concentração zero do marcador foram as condições iniciais para cada cenário.

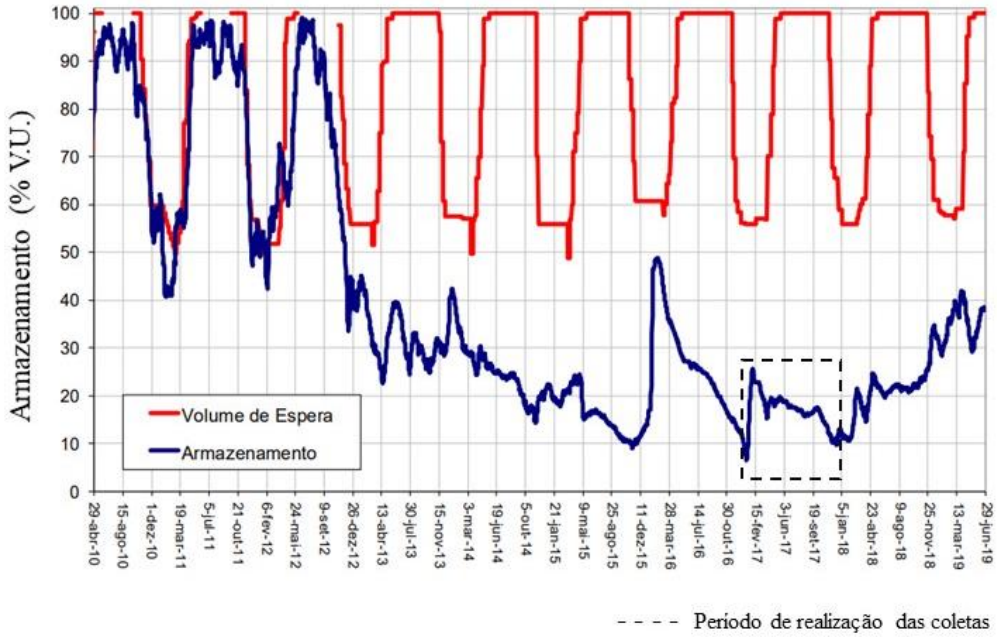
Outras investigações foram conduzidas assumindo elevações constantes da água de 304 m combinado com uma descarga variável no tempo no mesmo período. Os resultados obtidos para diferentes cotas não apresentaram diferenças significativas quanto a produção e dispersão do traçado, devido a isto, não serão abordados no presente trabalho.

3.3.2.1 Evolução da redução da vazão afluente em Itaparica

Analisando o percentual de armazenamento entre o período de 2010 a 2019 na Figura 17, verifica-se que a redução iniciou em dezembro/2012, a partir de então, o armazenamento variou entre 10% e 40% do volume útil. No período de realização das coletas de campo, para avaliação da qualidade da água nas pisciculturas situadas no reservatório Itaparica, foram observados reduzidos percentuais de armazenamento, entre 8% e 10%, nos meses de janeiro/2017 a dezembro/2017, respectivamente.

Ressalta-se que flutuações operacionais no nível da água no reservatório podem contribuir para a elevação dos níveis tróficos do reservatório Itaparica, em particular, uma vez que a variação do nível da água promove a proliferação de macrófitas aquáticas que criam grandes áreas marginais dessecadas em situação de cota reduzida, liberando grandes quantidades de nutrientes quando a cota do reservatório atinge patamares elevados (GUNKEL et al., 2018).

Figura 17 - Armazenamento observado no reservatório Itaparica, no período de 2010 a 2019



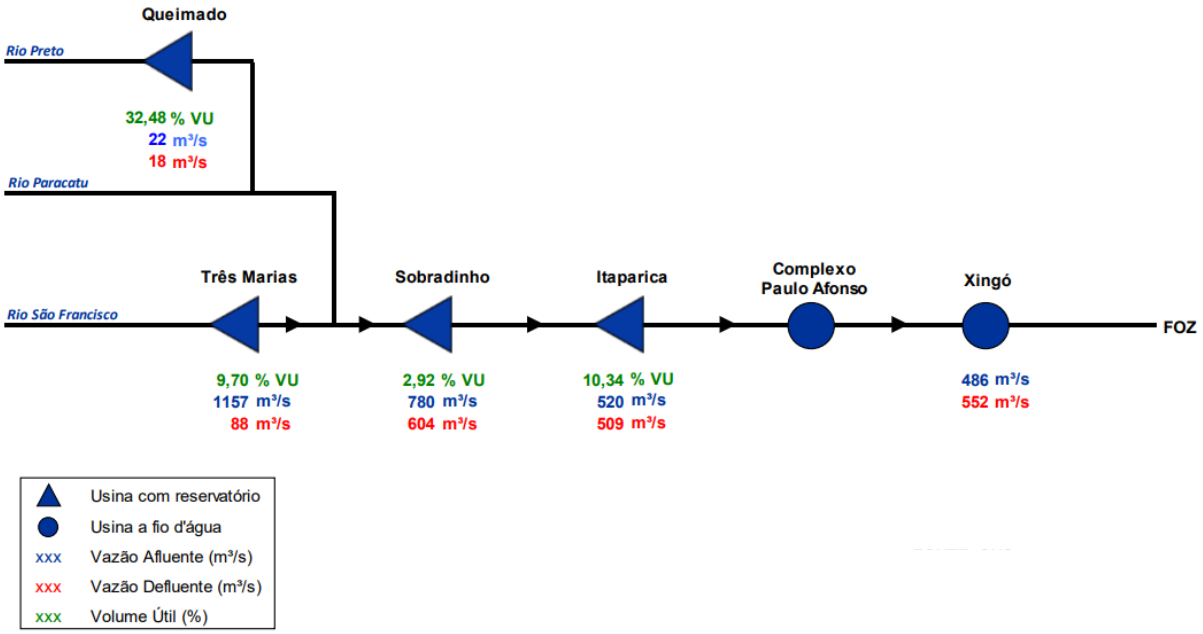
Fonte: Adaptado da ONS, 2019.

O percentual de armazenamento não tem como único fator a disponibilidade de água em forma de precipitação, mas pontualmente, também reflete o modo de operação dos reservatórios em cascata, principalmente quanto ao controle de vazões e disposição dos recursos hídricos para usos consultivos. Os baixos níveis de volume de água nos

reservatórios, não só em Itaparica, como também nos demais reservatórios localizados nos trechos submédio e baixo da bacia do rio São Francisco, receberam autorização para operação das barragens com vazão reduzida flexível, ou seja, abaixo da vazão mínima de 1.300 m³/s.

O diagrama esquemático das hidrelétricas na bacia do rio São Francisco, demonstra a situação crítica de volume útil (%) disponível e valores de vazão aplicados em dezembro/2017 (Figura 18). Itaparica operou à 10,34% do volume útil sob vazão afluente de 520 m³/s, embora Sobradinho forneça descarga efluente de 604 m³/s. Desta forma, a redução na vazão efluente de Sobradinho é ainda mais impactante em Itaparica, uma vez que a vazão afluente não é necessariamente a mesma, devido às retiradas ao longo do trecho de rio e as perdas por evaporação, entre outros fatores.

Figura 18 - Diagrama esquemático das hidrelétricas na bacia do rio São Francisco, com os valores de vazão e volume, em 04 de dezembro de 2017



Fonte: ONS, 2017

A partir de análise da evolução das reduções da vazão defluente mínima aplicadas no submédio São Francisco, foram determinados três cenários de vazão afluente para Itaparica na simulação da dispersão do fósforo provenientes de pisciculturas em tanque-rede, considerando fixa a cota do reservatório em 300 metros para todos os cenários:

a) Cenário 1: vazão de referência de 2.060 m^3/s

Foi considerada a vazão afluente para Itaparica de 2.060 m^3/s, que corresponde ao valor da vazão média história do reservatório calculada estatisticamente com base em séries históricas por Matta (2013) e Broecker (2014). Esta vazão é semelhante ao valor utilizado no sistema da Agência Nacional de Águas (ANA) para cálculo da capacidade de suporte no reservatório e determinação da outorga para fins de piscicultura. Apesar de, para os dias atuais ser uma vazão extremamente otimista, tem-se essa aplicação não muito coerente nesse período de escassez hídrica que acomete a região semiárida.

b) Cenário 2: vazão reduzida de 900 m^3/s

Considerada a vazão de 900 m^3/s, em vigência de junho a dezembro de 2015, por meio de autorização da redução da defluência mínima de Sobradinho, publicada na Resolução nº 713/2015 da ANA. O valor corresponde a terceira redução consecutiva desde abril/2013, a partida vazão mínima normal de 1.300 m^3/s.

c) Cenário 3: vazão crítica de 500 m^3/s

Correspondente a um cenário pessimista com vazão de 500 m^3/s, aplicada parcialmente no período do presente estudo, tendo em dezembro/2017 representado um mês crítico devido à operação dos reservatórios com baixas vazões e cotas. Desde 2017 até 2019, foi autorizada pela ANA, a redução da vazão para o patamar de 550 m^3/s (média diária), proporcionando vazões instantâneas abaixo desse valor, mais próximos a vazão de 500 m^3/s.

3.3.2.2 Estimativa das cargas de fósforo total e nitrogênio amoniacal total

As concentrações dos nutrientes de entrada no modelo foram calculadas a partir da produção de peixe (ton/ano) em 5 (cinco) empreendimentos de piscicultura localizados no município de Itacuruba, no ano de 2015 (Tabela 3). São inseridos no TELEMAC-2D os valores das cargas em kg/dia.

Tabela 3 - Valores calculados para o fósforo dissolvido utilizado na simulação

Parâmetros	Calculado	A5	B2	B5	B8	C	Total (ton/ano)
Produção de peixe	-	1320	130	1100	1000	1000	5270
Ração utilizada	conversão 1,4	1848	182	1540	1400	1400	7378
Entrada de fósforo	1,2% P ração	22,2	2,18	18,5	16,8	16,8	82,32
Fósforo dissolvido	22% P excreção	**4,88**	**0,48**	**4,07**	**3,70**	**3,70**	**18,11**

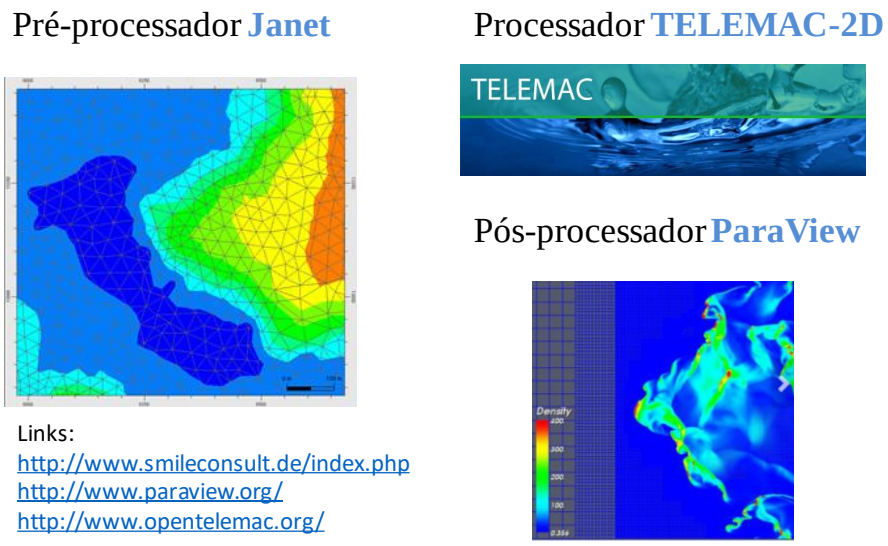
Fonte: A Autora, 2019.

3.3.2.3 Simulações

A simulação exige a utilização de três processadores, sendo eles: (i) O software pré-processador Janet (Smile Consult), uma ferramenta eficiente para gerar ou editar grades para simulações numéricas; (ii) O módulo TELEMAC-2D, como condutor das simulações a partir da importação dos dados reais calculados; e (iii) O Pós-processador ParaView, uma multi-plataforma de análise de dados e visualização (Figura 19).

Foram desenvolvidas inicialmente simulações pontuais na área de estudo para avaliar os resultados obtidos, e posteriormente contemplando análises integradas em pontos variados do reservatório estudado, de forma a avaliar o efeito do aporte de nutriente provenientes da piscicultura em tanque-rede e sua dispersão ao longo do reservatório.

Figura 19 - Processadores utilizados para aplicação da modelagem



Fonte: A Autora, 2019.

No Quadro 4, são apresentados os dados de entrada no módulo TELEMAC-2D para simulação do cenário 2, considerando vazão de 900 m³/s, nível de água 300 m. A simulação foi realizada com intervalor de tempo de 15 dias, num período total de seis meses, considerado um ciclo de produção da tilápia na piscicultura.

Quadro 4 - Dados de entrada no módulo TELEMAC-2D para simulação

Dados de comando introduzidos no TELEMAC -2D		
/ TELEMAC-2D		
BOUNDARY CONDITIONS	conlim.cli	Estabelecer condições da borda (Sólida, fixa e livre) Corresponder vazão afluente e defluente à borda
GEOMETRY FILE	geo.sel	Importar malha elaborada em Janet (Broecker, 2014)
RESULTS FILE	res_Aquas_300_900_6m_DP	Simulação inicial considerando influência do vento
/ INITIAL CONDITIONS		
COMPUTATION CONTINUED	YES	Computar simulação com ação do vento
PREVIOUS COMPUTATION	res_yW_300_900	Ex.: nível da água em 300 m e vazão de 900 m³/s
LAW OF BOTTOM FRICTION	3	Strickler law - Strickler coefficient of 50 m^3/s
FRICTION COEFFICIENT	30.0	Stricker coefficient, O valor de default é 50 m^3/s, mas analisado por Broecker (2014), melhor escolha para o reservatório de 30 m1/3/s
PRESCRIBED ELEVATIONS	300.0;0.0	Nível da água selecionado (m)
PRESCRIBED FLOWRATES	0.0;900.	Vazão afluente selecionada (m³/s)
/ NUMERICAL PARAMETERS		
EQUATIONS	SAINT-VENANT EF	Equações de Saint-Venant usando o método dos elementos finitos.
/ TRACER		
NUMBER OF TRACERS	1	Fósforo dissolvido
NAMES OF TRACERS	DP,1';DP,2';'DP,3 ';'DP,4 ';'DP,5';'	Nomeação dos dados de saída por piscicultura (1-5)
INITIAL VALUES OF TRACERS	0.;0.;0.;0.;0.;0.	Tempo 0
ABSCISSAE OF SOURCES	522290;524747; 524931;525203;528910	Coordenadas no eixo X, em ID específico na malha desenvolvida no software Janet
ORDINATES OF SOURCES	9030837;9030768;9029034; 9028453;9027845;9025881	Coordenadas no eixo Y, em ID específico na malha desenvolvida no software Janet
VALUES OF THE TRACERS AT THE SOURCES	154.7032;15.2359;128.9193; 117.1994;117.1994	Valor calculado do Fósforo dissolvido em Kg/dia e convertido em µg/s
COEFFICIENT FOR DIFFUSION OF TRACERS	: 1.E-4	Este parâmetro apresenta influência importante na difusão do traçador em cada tempo. Default: 1.E-6 m²/s

Fonte: A Autora, 2019.

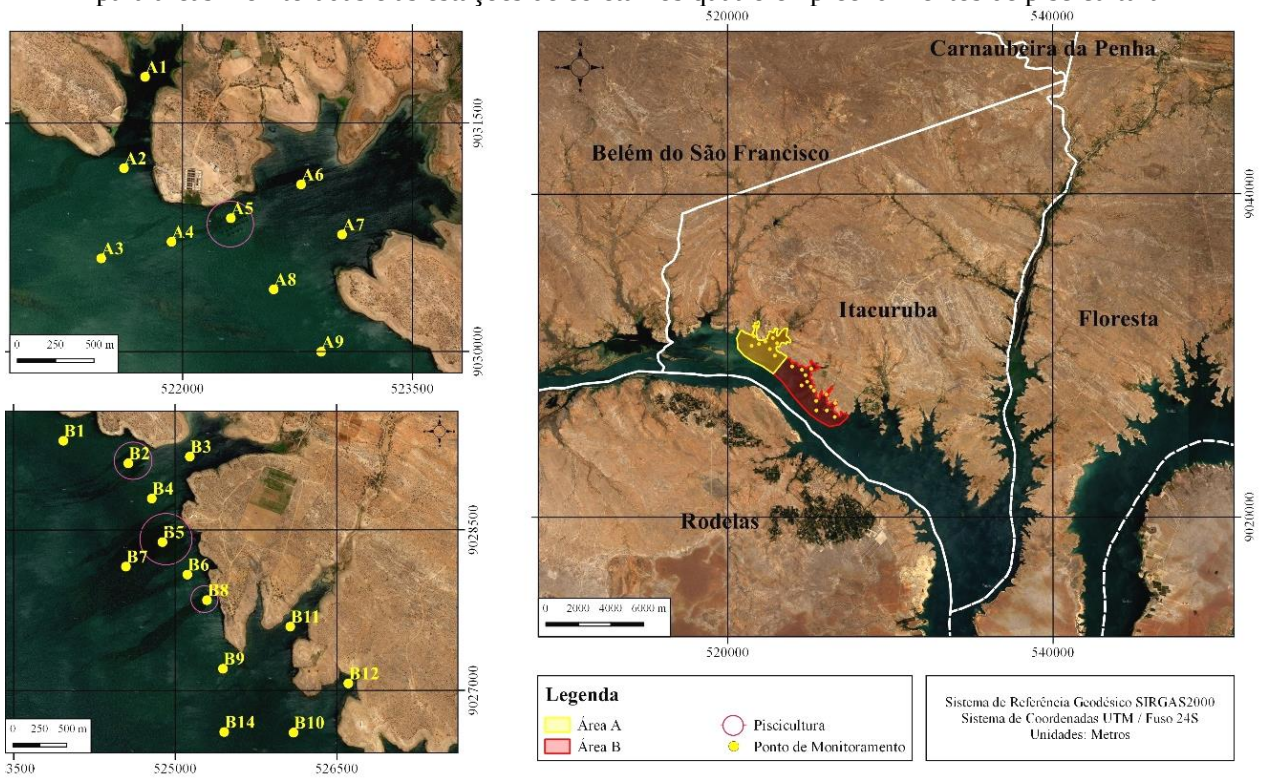
3.3.3 Avaliação da qualidade da água em piscicultura de tanques-rede

Para a avaliação da influência das pisciculturas em tanque-rede na alteração da qualidade da água e no aporte de nutrientes no sedimento do reservatório, foi realizado um recorte em duas

áreas (área A e B) situadas no município de Itacuruba/PE (Figura 20), onde foram monitorados 23 pontos de amostragem contemplando quatro pisciculturas.

A avaliação dos parâmetros de qualidade da água foi realizada trimestralmente durante o ano de 2017, totalizando quatro campanhas, sendo duas no período de estiagem (janeiro e dezembro) e duas no período chuvoso (abril e julho).

Figura 20 - Detalhamento da área estudada na porção inicial do reservatório Itaparica, com destaque para áreas monitoradas e as estações de coleta nos quatro empreendimentos de piscicultura



Fonte: A Autora, 2019.

As estações de coleta nas duas áreas monitoradas distam entre si aproximadamente 500 metros e foram selecionadas de forma a analisar a influência das pisciculturas na qualidade da água à montante, jusante e no centro das pisciculturas, bem como nas reentrâncias (baías) adjacentes (Quadro 5).

Quadro 5 - Descrição dos pontos de amostragem realizados por área no ano de 2017, no reservatório Itaparica

Localização	Área A	Área B
Baías	A1, A2, A6, A7	B3, B11, B12
Montante	A3, A4	B1
Centro	A5	B2, B5, B8, B6*
Jusante	A8, A9	B4, B7, B9, 10, B13, 14

Fonte: A Autora, 2019.

As áreas onde as pisciculturas estão localizadas apresentam profundidade média de 5,3 a 8,0 metros e situação nas coordenadas presentes no Quadro 6 e estão ilustradas na Figura 21.

Quadro 6 - Localização das pisciculturas selecionadas no reservatório Itaparica

Piscicultura	Eixo x	Eixo y	Profundidade média (m)
A5	522284	9030832	5,3
B2	524695	9029094	6,6
B5	524968	9028426	8,0
B8	525325	9027838	8,0

Fonte: A Autora, 2019.

Figura 21 - Pisciculturas localizadas no município de Itacuruba/PE, reservatório Itaparica

Fonte: A Autora, 2019.

3.3.3.1 Parâmetros físico-químicos

As amostras de água para determinação das variáveis físico-químicas foram coletadas em três (três) profundidades (superfície, meio e fundo) nas 23 estações de coleta, com o auxílio de garrafa Van Dorn. As variáveis temperatura (ºC), pH, oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade (µS/cm) e turbidez (UNT) foram determinadas em perfil vertical *in situ* mediante o uso de um analisador multiparâmetro Horiba U-52 G.

Nos pontos de amostragem onde a profundidade foi inferior a 2 metros, não foram obtidas amostras de meio da coluna d'água. Posteriormente as amostras foram acondicionadas em gelo e transportadas para o Laboratório de Limnologia, no Departamento de Pesca e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), onde foram analisadas as concentrações de nitrato ($N\text{-}NO_3$) e nitrito ($N\text{-}NO_2$), nitrogênio amoniacal total ($N\text{-}NH_3$ + $N\text{-}NH_4$), fosfato inorgânico e fósforo total (P). O material em suspensão na água foi analisado determinando-se a concentração de sólidos suspensos totais, conforme métodos apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Métodos de análise para os parâmetros físico-químicos da água

Parâmetros	Unidade	Método
Campo		
Temperatura	°C	Sonda multiparamétrica
Oxigênio dissolvido	mg/L	
pH	-	
Condutividade	µS/cm	
Turbidez	UNT	
Laboratório		
Nitrito	µg/L	Golterman, 1978
Nitrato	µg/L	Mackereth et al., 1978
Nitrogênio amoniacal	µg/L	F. Koroleff 1976
Fosfato inorgânico	µg/L	A.P.H.A 2012
Fósforo total	µg/L	A.P.H.A 2012
Clorofila-*a*	µg/L	Nusch, 1988
Feofitina	µg/L	Nusch, 1988
Sólidos suspensos totais	g/L	A.P.H.A 2012

Fonte: A Autora, 2019.

Os resultados obtidos foram relacionados aos padrões indicados na Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005, que estabelece limites para qualidade da água em rios de Classe 2, onde há pesca ou cultivo intensivo de organismos aquáticos e apresentam atividade de pesca e cultivo intensivo (Quadro 8).

Quadro 8 - Padrões indicados na Resolução CONAMA Nº 357/2005 para Classe 2

Parâmetros	**Res. CONAMA nº 357/2005**
Oxigênio Dissolvido (OD)	≥ 5 mg/L
pH	6,0 - 9,0
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	500 mg/L
Turbidez	≤ 100 UNT
Clorofila-a	≤30 µg/L
Fósforo Total	0,030 mg/L P
Nitrito	10,0 mg/L N
Nitrato	1,0 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	0,5 - 3,7 mg/L N
DBO	≤ 5 mg/L
Coliformes termotolerantes	1.000/100 mL

Fonte: A Autora, 2019.

Para a análise dos resultados no período chuvoso e de estiagem foram elaborados mapas de concentração dos parâmetros na área de estudo, utilizando o valor médio da concentração dos nutrientes. O arquivo vetorial com parâmetros físico-químicos na tabela de atributos foi processado no software livre QGIS 2.18, onde foi possível a realização da interpolação matemática IDW (*Inverse Distance Weighted)*, ou seja, Ponderação do Inverso da Distância. O IDW é uma das técnicas de interpolação mais usadas para pontos espalhados espacialmente, determinando os valores dos pontos usando uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância. Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método do IDW (MARCUZZO,2011), utiliza-se a seguinte Equação 9:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \omega i Z(x)}{\sum_{i=1}^{n} \omega i} \quad (9)$$

Onde, Z(x) - é o valor do ponto que se deseja interpolar; n - é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto x; Z(xi) - é o valor do ponto xi; e ωi - é o peso do valor de xi sobre o ponto x. Para se determinar ωi utiliza-se a Equação 10:

$$\omega i = \frac{1}{h(x,xi)^p} \quad (10)$$

em que, h (x, xi) - é a distância entre o ponto x e o ponto xi; e p - é o parâmetro de potência, geralmente igual a dois.

As variáveis físico-químicas da água foram analisadas usando uma correlação linear para eliminar variáveis que estão fortemente correlacionados, porque a multicolinearidade causa

problemas em modelos de regressão múltipla. Análises multivariadas foram aplicadas na avaliação das possíveis diferenças de dados ambientais e atributos de montagem (comportamento das variáveis físico-químicas nos pontos de coleta e nas diferentes profundidades da coluna d'água). Análise de Correspondência Canônica – CCA, com matriz de distância de Bray-Curtis e dados transformados (raiz quadrada), foi utilizada para encontrar as variáveis que melhor explicam a distribuição dos dados, quanto às variáveis abióticas e os pontos de coleta. Também Escalonamento Multidimensional Não-Métrico – NMDS com base em uma matriz de distância de Bray-Curtis, foi executado para encontrar agrupamentos das variáveis abióticas estudadas.

A análise estatística dos dados físico-químicos foi realizada no software livre R, versão 3.6.1 (R Core Team, 2019), por meio dos pacotes descriminados com sua respectiva função abaixo:

- ggplot2: utilizado na criação dos gráficos (WICKHAM, 2016);
- TTR: funções de análises técnicas (ULRICH 2018);
- ade4: funções de análise para dados ecológicos e ambientais no âmbito dos métodos exploratórios euclidianos (BOUGEARD e DRAY, 2018);
- vegan: funções mais básicas de análise de diversidade, ordenação de comunidades e análise de dissimilaridade (OKSANEN et al., 2019);
- dplyr: manipulação de dados (WICKHAM et al., 2019);
- tidyr: organização dos dados (WICKHAM e HENRY, 2019);
- gridExtra: organiza gráficos baseados em grade em uma página e desenha tabelas (AUGUIE 2017);
- Corrplot: exibição gráfica de uma matriz de correlação, intervalo de confiança (WEI e SIMKO, 2017);
- Hmisc: funções úteis para análise de dados, gráficos de alto nível, operações de utilitários, funções de computação de tamanho de amostra, imputação de valores ausentes, criação de tabelas avançadas, agrupamento variável, manipulação de cadeia de caracteres (FRANK e HARRELL JR, 2019);
- PerformanceAnalytics: ajudar profissionais e pesquisadores a usar as pesquisas mais recentes para análise de fluxos de distribuição normal e não normal (PETERSON e CARL, 2018);
- Devtools: coleção de ferramentas de pacotes (WICKHAM et al., 2019);
- Xda: análise exploratória de dados (KARN e JHA, 2019).

3.3.3.2 Concentração de nutrientes no sedimento do reservatório

Amostras de sedimento não-consolidado (argiloso-arenoso-lamoso) foram coletadas em todos os 23 pontos de amostragem com uma draga tipo “Petersen” modificada (0,0345 m²). O sedimento foi armazenado em sacos plásticos respectivamente identificado para análise de nutrientes (fósforo e nitrogênio).

Em laboratório, as amostras de sedimento foram inseridas em recipiente de alumínio e submetidas a temperatura de 60º em estufa por aproximadamente 48 horas para retirada da umidade (Figura 22). No laboratório de química ambiental de solos, do Departamento de Agronomia, as concentrações de fósforo (mg/dm³) foram determinadas pelo método da EMBRAPA (2009) e as análises de nitrogênio (dag/kg) segundo o método de Mendonça e Matos (2005).

Figura 22 - Amostras de sedimentos coletadas na Área A do reservatório Itaparica em 2017

Fonte: A Autora, 2017.

3.3.3.3 Parâmetros biológicos

A coleta dos parâmetros biológicos foi realizada concomitante às amostras de água, através de arrastos verticais ao longo da zona eufótica utilizando redes cônico-cilíndricas, com malhas de 25 µm para a coleta de fitoplâncton. As amostras de fitoplâncton foram acondicionadas em recipiente de polipropileno com capacidade de 250 mL e preservadas com lugol ao abrigo da luz, sendo posteriormente encaminhadas para o Núcleo de Pesquisa em Ecossistemas Aquáticos/NUPEA, Universidade do Estado da Bahia, Paulo Afonso.

Em microscópio óptico binocular (ZEISS, modelo Scope. A1), com aumento 40x ocorreu a identificação e quantificação do fitoplâncton. Para identificação as características

morfológicas dos organismos foram comparadas com aquelas descritas em bibliografia especializada, chegando ao menor nível taxonômico possível. A quantificação ocorreu utilizando a câmara Palmer Malony (APHA, 2005).

A técnica consiste em introduzir uma alíquota de amostra, com uma pipeta, na lateral da câmara e o deslizamento da lamínula para o lugar. Após um período de sedimentação mínimo de 10 minutos as células são quantificadas em campos aleatórios, transectos ou em toda câmara, dependendo da densidade e riqueza encontrada e/ou até atingir 100 indivíduos da espécie mais frequente. Foram mensuradas a riqueza, frequência de ocorrência, densidade (células/ mL) e abundância relativa.

Os volumes filtrados foram calculados a partir da Equação 11:

$$V_F = A \times P \quad (11)$$

Onde, V_F refere-se ao volume filtrado (m^3); "A" a área da boca da rede de plâncton (m^2), igual a πr^2, e "P" a profundidade da rede durante o arrasto vertical (m).

As concentrações de clorofila-a e feofitina foram determinadas através do método proposto por Nusch (1980) e recomendações de Wetzel e Likens (1991), empregando-se membrana filtrante HAWP da Millipore TM para filtração das amostras de água e posterior extração com etanol. As análises foram efetuadas no Laboratório de Limnologia da UFRPE, juntamente as análises físico-químicas, com o auxílio da técnica de laboratório, a Engenheira química Tereza Santos (Figura 23).

Figura 23 - Análise das amostras de água no Laboratório de Limnologia, Departamento de Pesca e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Fonte: A Autora, 2017.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados estruturados de acordo com os objetivos específicos, sendo contemplados, o diagnóstico da piscicultura no reservatório Itaparica, os cenários das simulações da dispersão dos nutrientes e a avaliação da qualidade da água e do sedimento nas pisciculturas e entorno monitoradas.

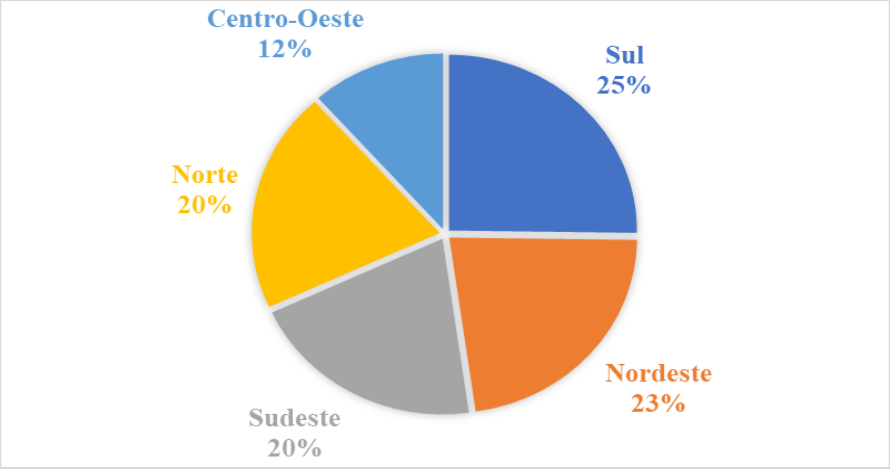
4.1 DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO E REGULARIZAÇÃO DA PISCICULTURA NO RESERVATÓRIO ITAPARICA

São apresentados a seguir os resultados do diagnóstico da produção em diferentes níveis de produção, bem como o detalhamento para a área de estudo, considerando os empreendimentos regularizados no reservatório Itaparica.

4.1.1 Diagnóstico da produção

A região Nordeste representa a segunda maior produção nacional de peixe (23%), que representa 89.918 toneladas de peixes vendidos em 2017, ficando atrás apenas da região Sul (25%) com 100.600 toneladas, conforme dados do censo agropecuário do IBGE (2017) apresentados na Figura 24.

Figura 24 - Percentual de peixe produzido no Brasil em 2017 por região do Brasil

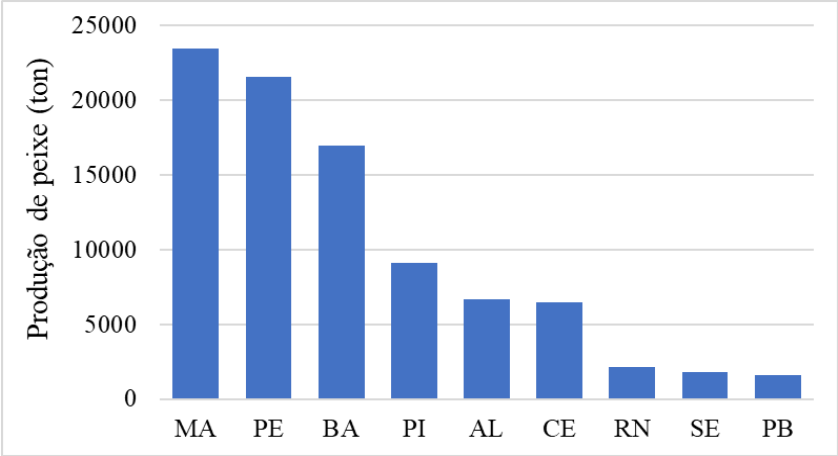


Fonte: A Autora, 2019.

Inseridos na região Nordeste, os Estados que apresentaram maior produção de peixes em 2017 foram Maranhão (24 mil toneladas), Pernambuco (22 mil toneladas) e Bahia (17 mil

toneladas) (Figura 25). Em escala municipal, Glória/BA, situado no reservatório Itaparica, foi o maior produtor nacional de peixe em 2017, com 11.644 toneladas de peixe (IBGE, 2017).

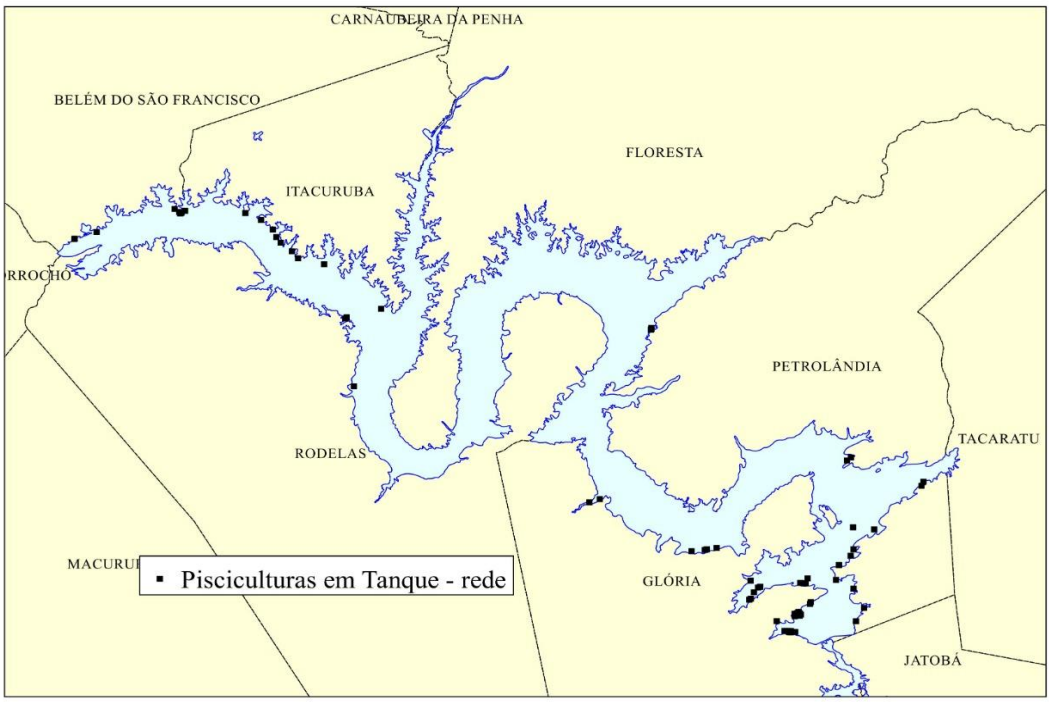
Figura 25 - Quantidade de peixe produzida na região Nordeste no ano de 2017, por Estado



Fonte: A Autora, 2019.

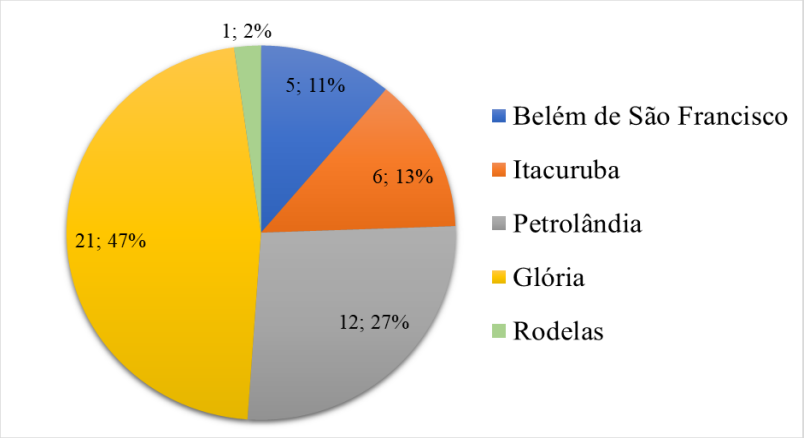
A atividade de piscicultura nos estados de Pernambuco e Bahia, situada no reservatório Itaparica é desenvolvida por 45 empreendimentos (Figura 26), dos quais 21 (47%) pisciculturas estão no município de Glória/BA, seguido por Petrolândia/PE, Itacuruba/PE, Belém de São Franscico/PE e Rodelas/BA, em Pernamuco, com 12 (27%), 6 (13%), 5 (11%) e 1 (2%) das pisciculturas, respectivamente (Figura 27).

Figura 26 - Pisciculturas em tanques-rede ativas no reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

Figura 27 - Número de pisciculturas por município, no reservatório Itaparica em 2018



Fonte: A Autora, 2019.

O quantitativo de pisciculturas em operação reflete na produção informada pelos municípios no ano de 2018, totalizando 29.374 ton/ano. A produção informada é inferior à produção outorgada até o ano de 2018 para o reservatório Itaparica, de 35.771 toneladas por ano, das quais 15.144 ton/ano seriam estipuladas para o município de Itacuruba. No entanto, o mesmo produz 6.384 ton/ano (42% da capacidade de produção), conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Produção informada e produção outorgada por município, com a quantidade de ração, carga de fósforo e taxa de conversão

Estado	Município	Produção Informada (ton/ano)	Produção outorgada (ton/ano)	Ração (ton/ano)	Carga de fósforo (kg/dia)	Taxa de conversão
PE	Belém de S. Francisco	446	72	698	3,4	1,6
	Itacuruba	6.384	15.144	24.158	177	1,4
	Petrolândia	8.088	8.035	14.344	96	1,6
BA	Glória	14.236	12.300	24.459	161	1,7
	Rodelas	220	220	336	0,35	1,5
	Total	29.374	35.771	63.996	437	-

Fonte: A Autora, 2019.

Ribeiro et al. (2015) obtiveram no trecho submédio São Francisco, que inclui o reservatório Itaparica, uma produção de 14.676 toneladas no ano de 2014, quase 50% a menos da produção informada pelos municípios em 2018 (29.374 ton/ano). Segundo os autores, o município de Glória (BA) já apresentava maior produção dentre os municípios avaliados em 2014, apresentando produção de 10.968 toneladas em 2014, que foi superada em 2017 pelo censo agropecuário em 11.644 e atualmente em 2018, em 14.236 toneladas, sendo considerado o município de maior produção em todo o Brasil (IBGE, 2017).

Quanto a piscicultura, apesar do município de Glória/BA apresentar uma efetiva produção, se destacando a nível nacional, o município de Itacuruba apresenta maior capacidade outorgadas pela ANA, possibilitando um maior aproveitamento da área. No entanto, com o período de estiagem prolongado entre 2012 e 2017, algumas pisciculturas foram prejudicadas com perdas na produção, e alguns empreendimentos encontram-se inativos temporariamente, aguardando a melhoria da situação do reservatório. Estes aspectos serão abordados no próximo subcapítulo, acerca da evolução da redução da vazão afluente no reservatório Itaparica.

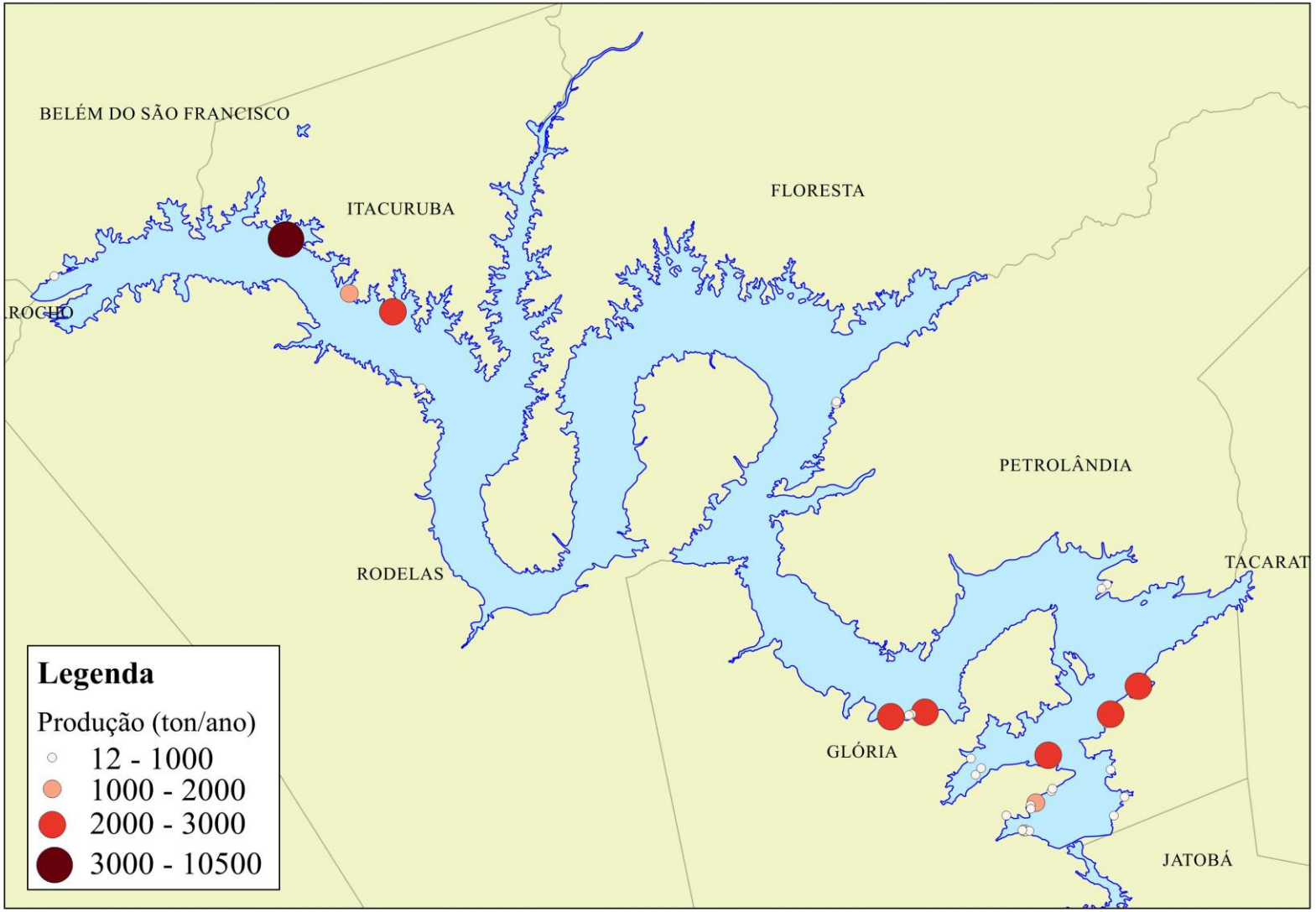
Os dados para produção outorgada, quantidade de ração e carga de fósforo inserida no reservatório Itaparica, são apresentados em mapas nas Figuras 28, 29 e 30, respectivamente, de forma a visualizar no reservatório os referidos atributos por piscicultura.

A carga de fósforo estimada nas outorgas oriunda da piscicultura é 437 kg/dia, entretanto outras fontes difusas contribuem para o aporte do fósforo no reservatório, principalmente o esgoto sanitário e os perímetros irrigados, das cidades a montante e no entorno do reservatório. É importante refletir a carga de fósforo oriundo do esgoto sanitário proveniente dos núcleos urbanos das cidades presentes no entorno do reservatório, tendo como base de cálculo 118.761 habitantes, considerando como vazão per capita de esgoto 100L/hab.dia e concentração de fósforo total de 8 mg/L (OLIVEIRA; SPERLING, 2005), resultaria numa carga de 95 kg/dia.

Arruda (2015), calculando o aporte de fósforo oriundo de um perímetro irrigado, no município de Petrolândia, com base na média de consumo de água de 34.600m³/ha/ano, no número de hectares cultivados anualmente de 1.045 ha e na concentração de fósforo total encontrado na corrente de água de drenagem de 0,4mg.L^{-1}, resultou uma contribuição teórica de 41 kg/dia. Fazendo uma estimativa superficial, considerando tamanho similar dos seis perímetros irrigados no entorno do reservatório, podemos relacionar uma carga de fósforo mínima de 250 kg/dia.

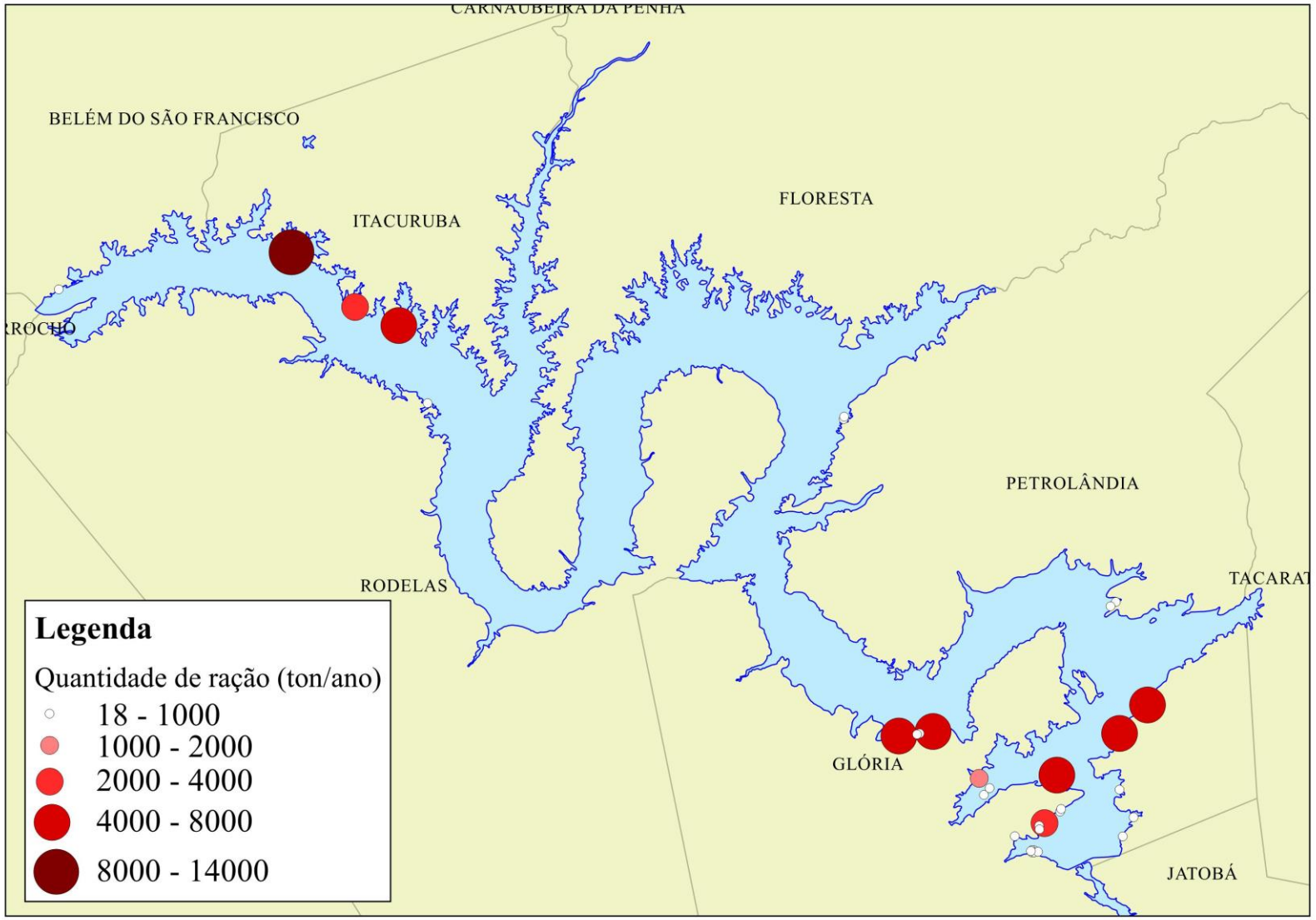
No contexto do aumento das áreas cultivadas e com aumento na oferta e melhores condições de créditos para compra de agroquímicos, pode-se esperar um aumento na concentração de fósforo na água de drenagem agrícola se não forem implementadas melhorias de gestão quanto ao uso, manuseio e estocagem desses produtos (ARRUDA, 2015).

Figura 28 - Produção outorgada para as pisciculturas no reservatório Itaparica em 2018



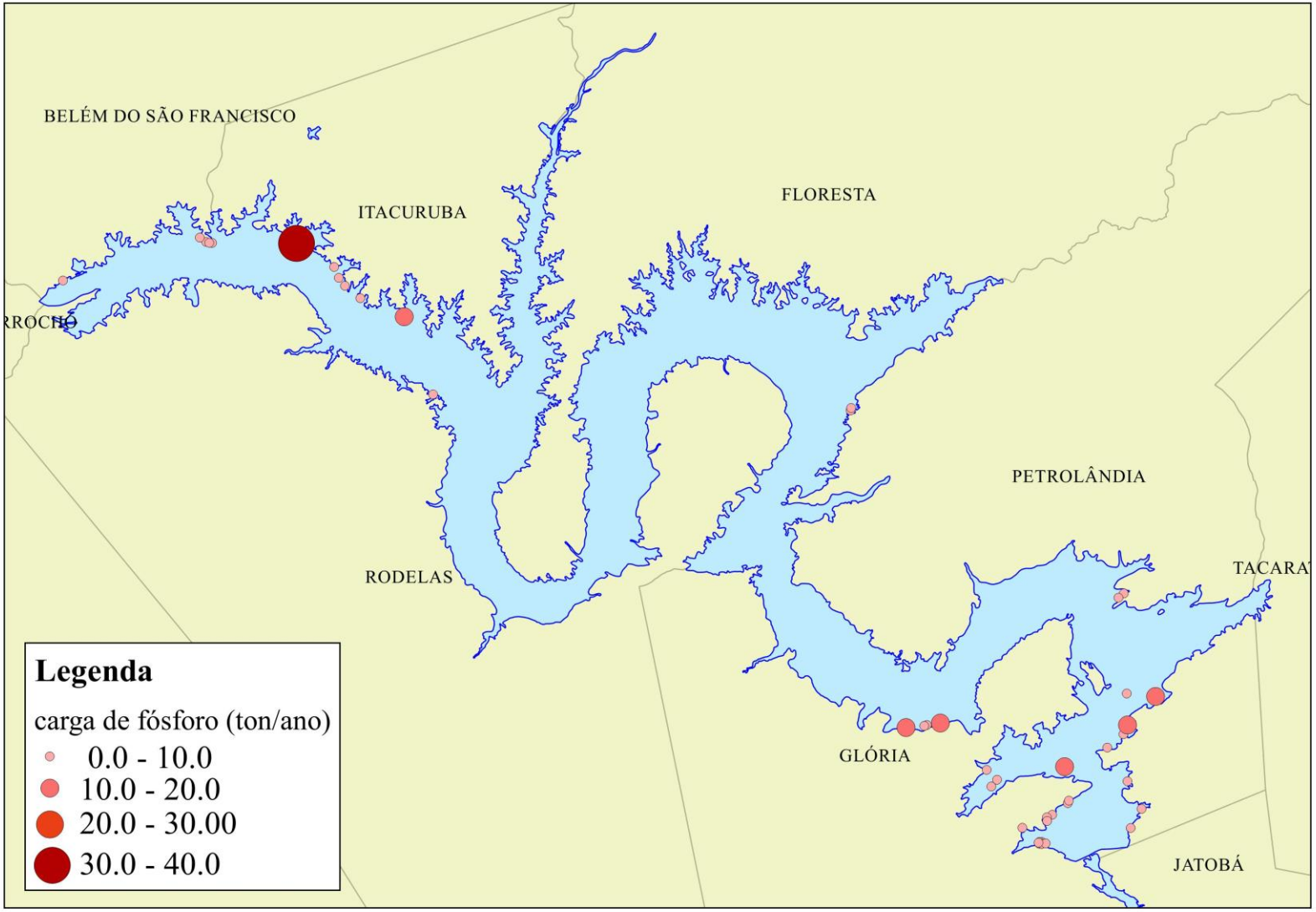
Fonte: A Autora, 2019.

Figura 29 - Quantidade de ração proveniente das pisciculturas no reservatório Itaparica em 2018



Fonte: A Autora, 2019.

Figura 30 - Carga de fósforo proveniente das pisciculturas no reservatório Itaparica em 2018



Fonte: A Autora, 2019.

O processo de regularização dos projetos de piscicultura, que propiciam aos empreendimentos a licença ambiental; outorga e por fim o contrato de cessão de uso de território em água da União, refletem diretamente na produção, sendo estes aspectos regulatórios abordados a seguir.

4.1.2. Regularização de projetos de piscicultura em águas de domínio da União

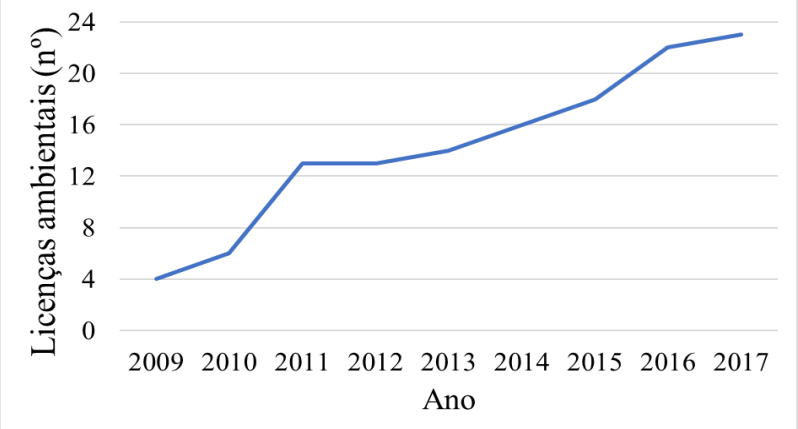
A regularização da piscicultura no Brasil envolve questões relacionadas às autorizações e liberações governamentais para a atividade, além de questões técnicas e administrativas, voltadas para a demanda no mercado. No processo de regulação, a morosidade e a burocracia são apontadas pelos piscicultores como fatores que desaceleram o crescimento da atividade, destacando os processos de licenciamento ambiental e outorga para então obtenção da cessão de uso para piscicultura (EMBRAPA, 2016).

4.1.2.1 Licenciamento ambiental

Os dados apresentados abaixo referentes ao licenciamento no estado de Pernambuco, onde a licença é emitida pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). No estado da Bahia, as licenças são descentralizadas em nível de município, de acordo com informação de técnicos do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia (INEMA).

No levantamento das licenças ambientais emitidas para os empreendimentos de piscicultura no período de 2009 a 2017 no estado de Pernambuco, verificou-se 37 licenças (licença prévia, de instalação e de operação) correspondentes a 23 empreendimentos de piscicultura no reservatório Itaparica (Figura 31).

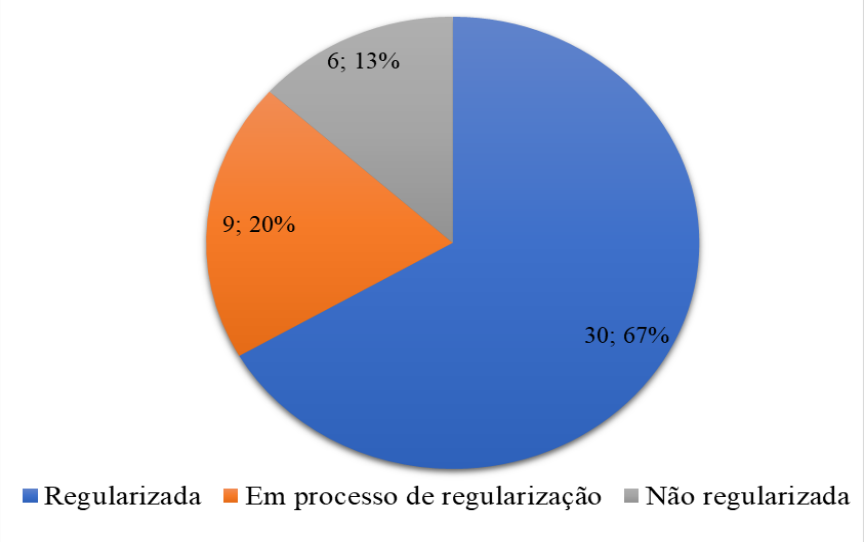
Figura 31 - Licenças ambientais concedidas no período de 2009 a 2017 para piscicultura no reservatório Itaparica, estado de Pernambuco



Fonte: A Autora, 2019.

Dentre as 45 pisciculturas presentes no reservatório, 30 estão regularizadas (67%), 9 estão em processo de regularização (20%) e 6 não estão regularizadas (13%), conforme Figura 32.

Figura 32 - Regularização das pisciculturas no reservatório Itaparica no ano de 2018



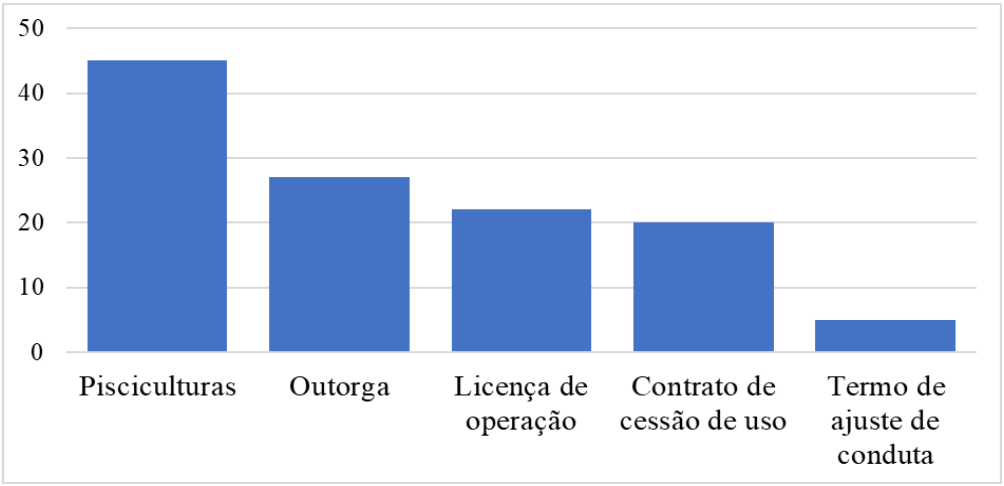
Fonte: A Autora, 2019.

De acordo com Sidônio et al. (2012), o licenciamento ambiental é um dos gargalos existentes na aquicultura. Por se tratar de uma atividade nova, há estados com regras distintas, sendo em alguns casos, mais restritivas que a legislação federal.

De forma a mitigar os impactos previstos, o processo de licenciamento e renovação da Licença de Operação exige o monitoramento da qualidade da água nos empreendimentos de piscicultura, a partir das condições e padrões de lançamento de efluentes estabelecidas na resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005). No entanto, a demora dos processos de regularização e incipiente fiscalização dos órgãos ambientais favorecem o não cumprimento do processo de monitoramento e fiscalização da qualidade da água, resultando em alterações no ambiente aquático sem seu devido acompanhamento e aplicação de medidas mitigadoras.

Do total de 45 pisciculturas, 28 apresentaram outorga, 22 licenças de operação, das quais 20 apresentam contrato para deferimento de cessão de uso e 5 delas se encontram em processo de negociação do Termo de Ajuste de Conduta (TAC) junto ao Ministério Público (Figura 33).

Figura 33 - Número de pisciculturas regularizadas por instrumento no reservatório Itaparica no ano de 2018



Fonte: A Autora, 2019.

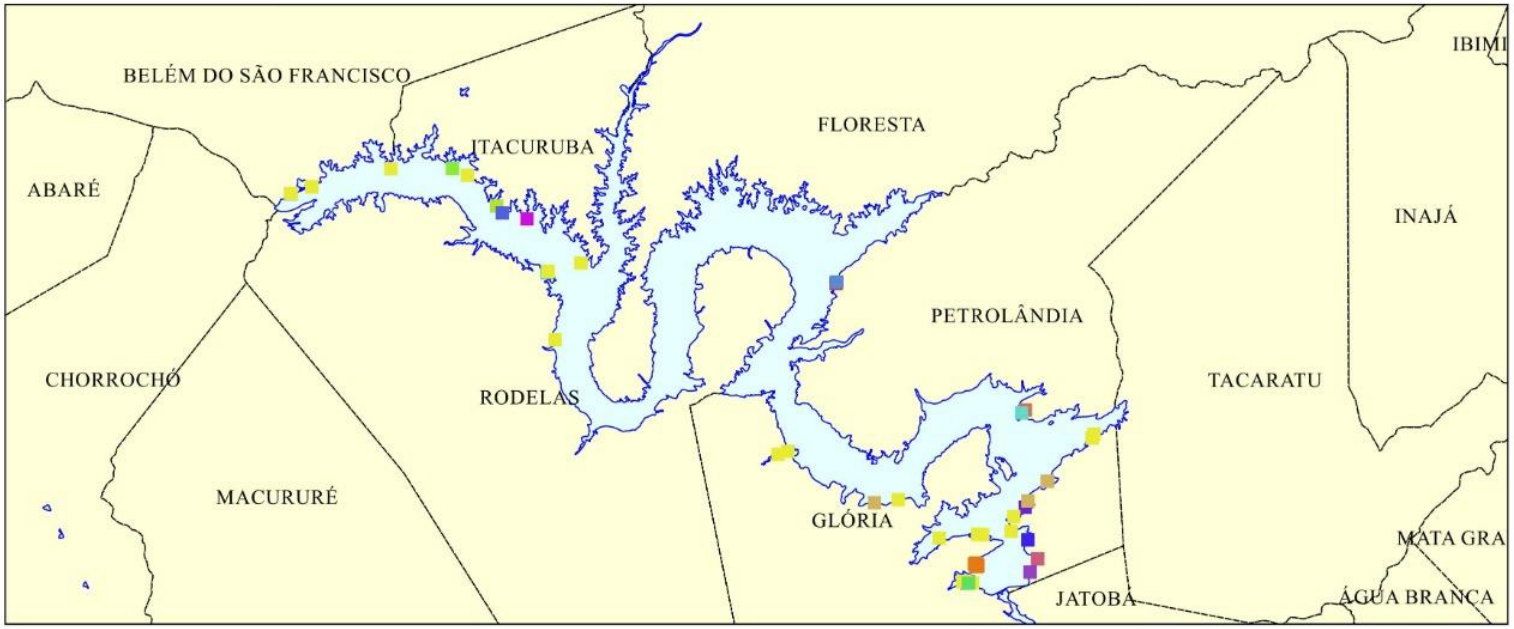
Marques et al. (2015) em levantamento das concessões de outorgas para piscicultura na bacia hidrográfica do rio São Francisco, identificaram 2 outorgas referentes ao alto São Francisco, 17 referentes ao submédio e 12 referentes ao baixo São Francisco (BA). Das outorgas expedidas, 64% foram favoráveis à piscicultura no reservatório Itaparica, 19% em Três Marias, 14% em Xingó e 3% em Sobradinho. Os autores indicaram a emissão de 74 licenças ambientais para empreendimentos de aquicultura no período compreendido entre 2009 e 2014 no Estado de Pernambuco, sendo 12 relacionadas à Licença de Instalação (LI), 13 com Licença de Operação (LO), 23 com Licença Prévia (LP), 6 com Renovação de Licença de Instalação (RLI) e 20 com Renovação da Licença de Operação (RLO).

4.1.2.2 Outorga de uso do recurso hídrico

Foram verificadas 28 outorgas de uso de recursos hídricos para a piscicultura no reservatório Itaparica, dentre os 45 empreendimentos ativos no reservatório, além de outras 20 outorgas referentes às outorgas preventivas (Figura 34). Observado o disposto no art. 13 da Lei Federal nº 9.433/1997 que cria a Política Nacional de Recursos Hídricos e a Lei Federal nº 9.984/2000 que cria a ANA, em seu artigo 6º determina que a outorga preventiva não confere direito de uso de recursos hídricos e se destina a reservar a vazão passível de outorga, possibilitando, aos investidores, o planejamento de empreendimentos que necessitem desses recursos.

A outorga de uso de recursos hídricos é um instrumento de gestão estabelecido na Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo obrigatória na regularização da piscicultura. Em corpos d'água de domínio da União, como para o caso do reservatório Itaparica, a competência para emissão da outorga é da Agência Nacional de Águas (ANA). Objetivando assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos, a ANA analisa o pedido em função da capacidade do corpo hídrico de diluir a carga de fósforo gerada nos empreendimentos de piscicultura.

Figura 34 - Usuários com outorga de direito de uso para piscicultura no reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

4.1.2.3 Cessão de uso para aquicultura em águas de domínio da União

As etapas para regularização do processo de cessão de uso de espaço físico de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura, são apresentados abaixo em 4 (quatro) etapas e sumarizado em representação esquemática na Figura 35.

1ª etapa: Submissão de projeto com as informações básicas a respeito dos caracteres técnicos e ambientais sobre a atividade e de localização do empreendimento, como as coordenadas geográficas e mapas de localização, junto à SEAP. A própria SEAP encaminha e centraliza o processo junto às outras instituições envolvidas.

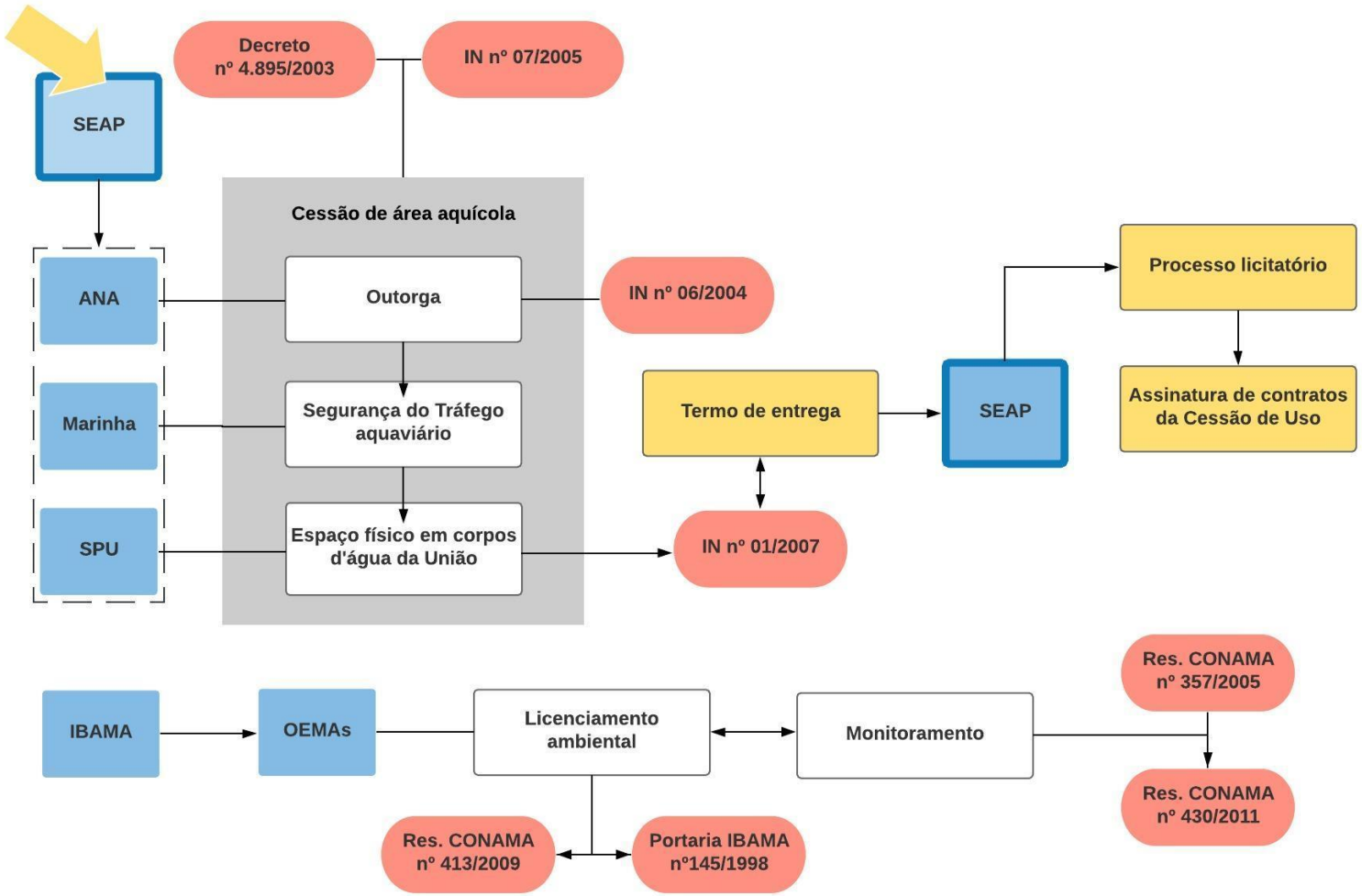
2ª etapa: Após verificação de conformidades e análises das áreas técnicas de aquicultura e geoprocessamento para pareceres favoráveis da SEAP, o processo é encaminhado para três instituições: ANA (outorga de uso do recurso hídrico em águas federais); Marinha do Brasil (parecer sobre a navegabilidade e segurança do tráfego aquaviário) e SPU (autorização de uso dos espaços físicos em corpos d'água de domínio da União).

3ª etapa: Após o deferimento pelas instituições anteriores mencionadas, o processo retorna à SEAP que o envia para a Secretaria do Patrimônio da União para emissão da cessão por meio do Termo de Entrega à SEAP, autorizando-a a realizar o processo seletivo público da área requerida.

4ª etapa: realização e finalização do processo licitatório na modalidade concorrência pública pela SEAP, que comunicará por meio do Diário Oficial da União (DOU) quem foram os vencedores, tomando as providências para elaboração dos contratos de cessão de uso a serem assinados pelos vencedores e representante legal da SEAP. O contrato de cessão de uso com o licitante vencedor tem duração de 20 anos (prorrogável por igual período).

Os processos em regularização podem ser acompanhados por meio de Sistema com situação das solicitações de espaço físico de águas da União para fins de aquicultura - SINAU disponibilizado pelo Departamento de Aquicultura da SEAP, desde 2018 em: <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?ll=-23.37376402529067%2C-53.311498188833184&z=7&mid=1bhdK2MkwxIOs77Q5-9OB8fGr1ZhdS35B> A partir dessa ferramenta, os piscicultores conseguem visualizar também a disponibilidade dos espaços e, em caso de interesse, iniciar o processo de cessão de uso de espaço físico de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura.

Figura 35 - Representação esquemática do processo para obtenção da Cessão de Uso para atividade de piscicultura em águas da União

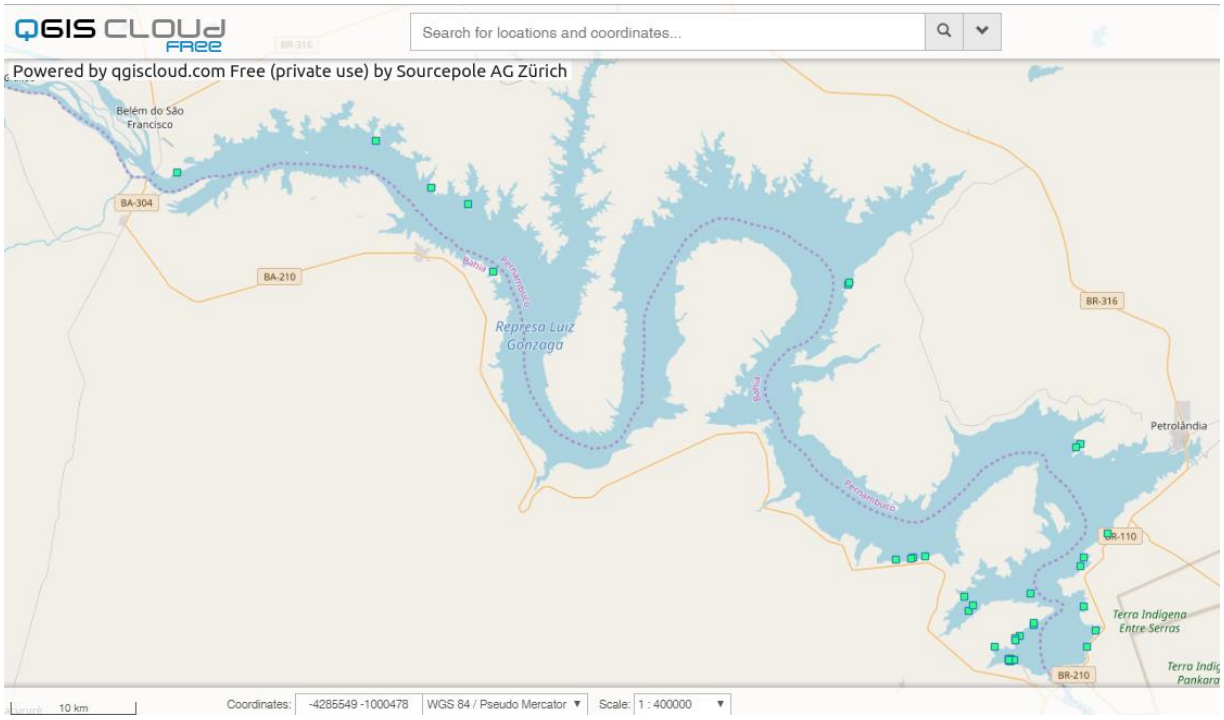


Fonte: A Autora, 2019.

4.1.3 Geotecnologia aplicada à gestão da piscicultura

Na Figura 36 é apresentado o *webmap* desenvolvido, com layout e a simbologia adotada para cada feição, tendo como basemap (plano de fundo) o OpenStreetMaps.

Figura 36 - Interface do *webmap* no QGIS Cloud.



Fonte: A Autora, 2019.

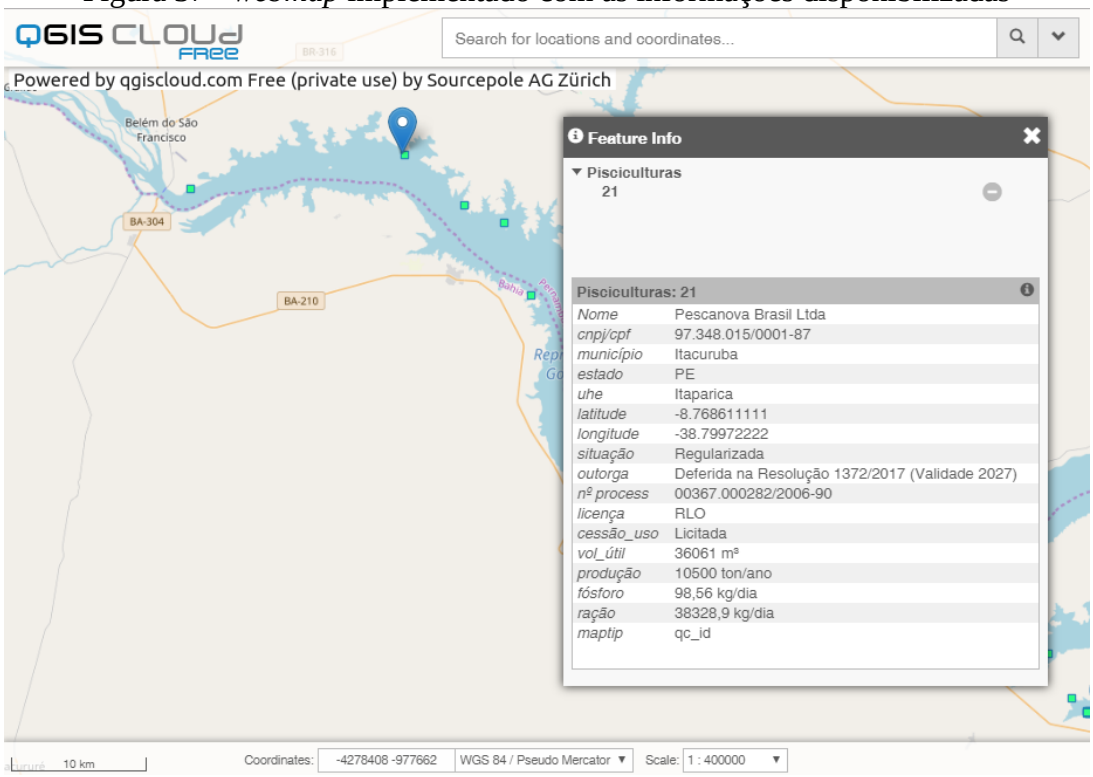
Os dados podem ser visualizados com apenas um click no ponto dos empreendimentos. Estes dados são importantes, pois caracterizam a localização, descrevendo parâmetros não visuais essenciais à gestão territorial e o manejo das pisciculturas. Por exemplo, através dos dados descritivos, pode-se consultar quais pisciculturas ainda não foram regularizadas ou qual o nome do determinado empreendimento.

Além de consultas aos atributos das feições, foi inserida uma ferramenta para medição de distâncias e áreas, e caixa de legendas para gerenciamento das camadas ativas e inativas e uma escala gráfica, conforme pode ser visualizado na Figura 37.

A gestão das áreas de uso pode auxiliar na determinação de quem tem acesso aos recursos e sob quais condições o acesso é permitido, como também na identificação de formas de

resolução de conflitos envolvendo direitos de acesso e propriedade (KALIKOSKI et al., 2009).

Figura 37 - *webmap* implementado com as informações disponibilizadas



Fonte: A Autora, 2019.

O *webmap* pode ser acessado por meio do link: https://qgiscloud.com/tesewebmap/PisciculturaWebMap/?bl=mapnik&st=&l=Pisciculturas&t=PisciculturaWebMap&e=-4349020%2C-1026352%2C-4230062%2C-969137.

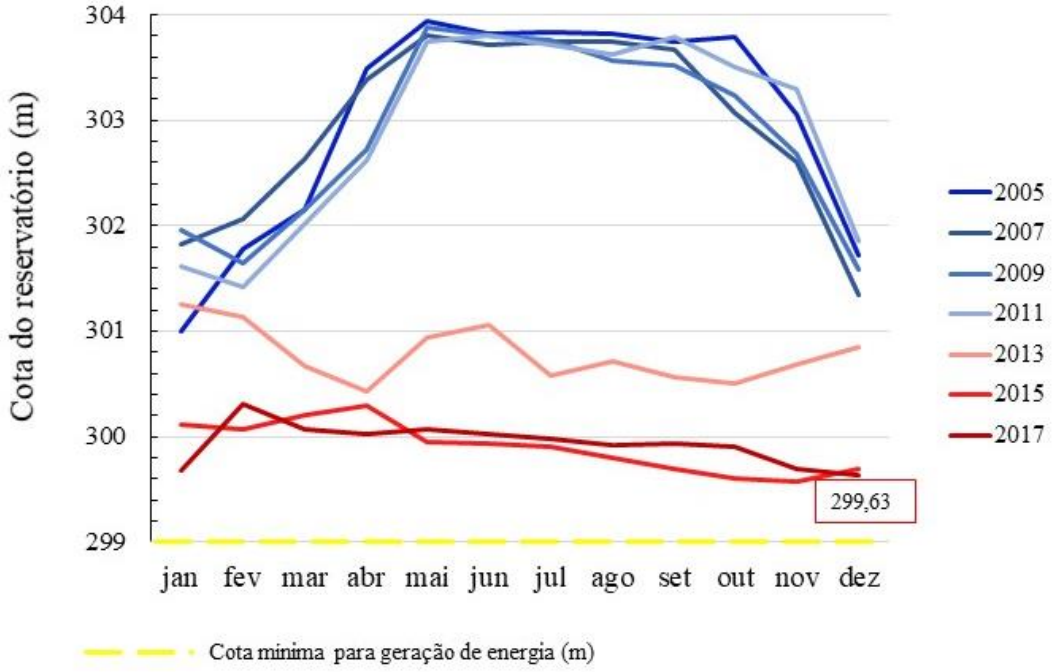
O endereço eletrônico gerado possui interface amigável e possibilitar a visualização dos dados espaciais, pois é disponibilizado na Internet, o que proporciona uma maior facilidade e agilidade na disponibilização aos produtos cartográficos.

As informações podem auxiliar a gestão da piscicultura no reservatório Itaparica, fomentando dados aos órgãos presentes em todas as esferas administrativas, incluindo as instituições de interesse local como o Comitê da Bacia do Rio São Francisco (CBHSF) e mais recentemente a Associação Aquicultura do Rio São Francisco – PEIXE SF, criada em 2018, para representação da cadeia produtiva da aquicultura na bacia hidrográfica do rio São Francisco.

4.2 EVOLUÇÃO DA REDUÇÃO DA VAZÃO AFLUENTE EM ITAPARICA

O reservatório Itaparica desde o ano de 2013 não apresenta picos de cheia após o período chuvoso, diferentemente do período de 2005 a 2011, que após os meses de abril, obtiveram um armazenamento importante para garantia dos múltiplos usos da água (Figura 38). Os meses críticos, novembro/2015 e dezembro/2017, com 299,57 e 299,65 metros de cota, respectivamente, correspondem a um pouco mais de 10% do seu volume útil, próximo ao limite mínimo para geração de energia, no nível de 299 metros.

Figura 38 - Cota do reservatório Itaparica de 2005 a 2017



Fonte: A Autora, 2019.

Estes fatores influenciam diretamente nos resultados da qualidade da água do reservatório, e ainda mais nos trechos das pisciculturas, pois tanto a redução do volume quanto da vazão, contribuem para aumento da concentração de nutrientes na água e no sedimento, e consequentemente, para o processo de eutrofização, intensificado por conta do aumento do tempo de residência da água e diminuição do fluxo de mistura dos nutrientes.

Desde abril/2013 a vazão defluente mínima do reservatório de Sobradinho, sofreu consecutivas reduções, por meio de Autorização Especial do IBAMA e da Agência Nacional de Águas (ANA), publicada em diversas resoluções da ANA. Desde julho/2017, a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) está autorizada a operar os reservatórios de Sobradinho, Itaparica e Xingó com vazão média diária de 550 m³/s (Figura 39).

A redução da vazão defluente mínima de Sobradinho de 1.300 m³/s para 550 m³/s, foi oficializada por meio de 7 (sete) autorizações consecutivas, entre o período de abril/2013 a abril/2019. A Figura 39 apresenta a evolução destas reduções, ao longo deste período, incluindo os valores aplicados nas resoluções da Agência Nacional de Água (ANA).

Figura 39 - Evolução das reduções da vazão defluente mínima, aplicadas ao submédio São Francisco, no período de abril 2013 a abril 2019

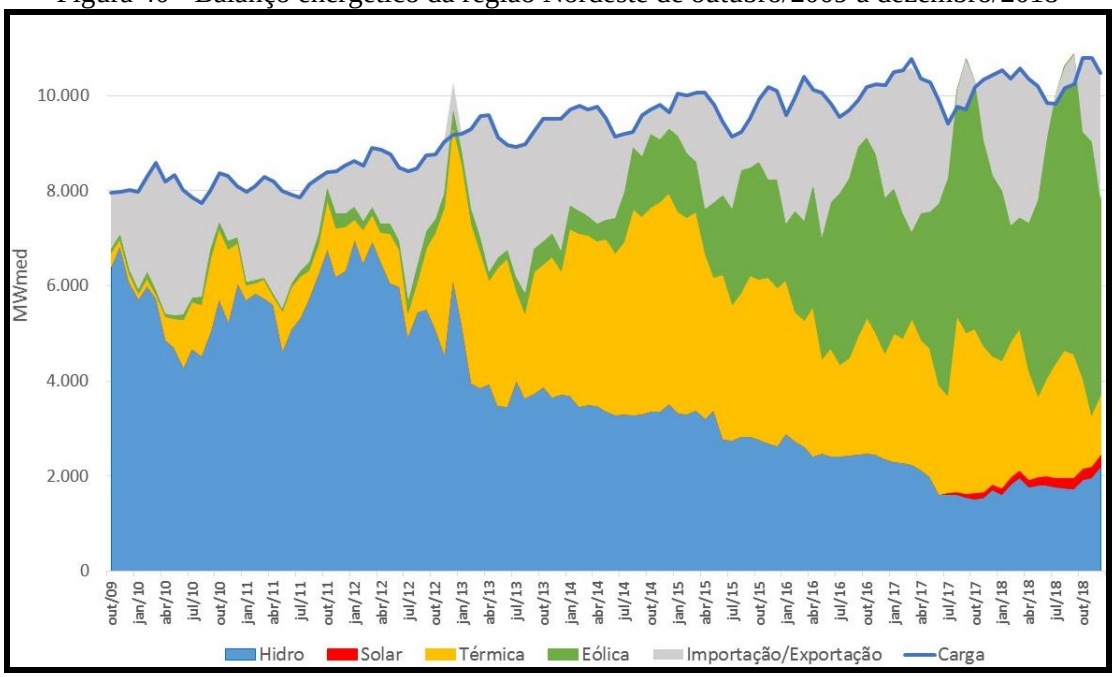
Fonte: A Autora, 2019.

No semiárido do nordeste brasileiro, os modelos climáticos têm previsto um aumento de temperatura de até 4°C, refletindo em períodos de seca mais prolongados e intensos devido às mudanças climáticas (BRASIL et al., 2016). A redução das chuvas e aumento das temperaturas podem alterar a hidrologia dos sistemas aquáticos, um fator chave no funcionamento de reservatórios do semiárido (BAKKER; HILT, 2015).

Outro impacto negativo da redução da cota dos reservatórios foi a redução da produção de energia hidroelétrica produzida nos reservatórios da bacia hidrográfica do rio São Francisco. A produção média de energia hidroelétrica para a região Nordeste (NE), reduziu 54% (aprox. 6.500 MW – 3.000 MW) de 2009 para 2015, e 68% até 2018 (2.000 MW). Para assegurar a

demanda de energia, o setor elétrico tem investido em energias renováveis, com o crescimento acelerado da energia eólica a partir de 2015, chegando a gerar 5.000 MW em outubro/2017 e 6.000 MW em julho/2018 (cerca de 60% da energia Nordeste), além da inserção da energia solar a partir de julho/2017 (Figura 40).

Figura 40 - Balanço energético da região Nordeste de outubro/2009 a dezembro/2018



Fonte: ONS, 2019.

A partir destas condições hidrológicas adversas, desde 2013, a ANA instalou a Sala de Crise do São Francisco, para debater medidas com vistas a aumentar a segurança hídrica da bacia, realizando então as sucessivas reduções nas vazões defluentes do reservatórios de Sobradinho, de modo a garantir condições mínimas do ecossistema aquático e que o mesmo não atingisse o volume morto.

O panorama apresentado revela o atual cenário de escassez hídrica na bacia do rio São Francisco, e como este, influencia diretamente na quantidade de água (cota e vazão). Essa abordagem subsidiou a determinação de cenários, bem como a aplicação deste na avaliação da qualidade da água. Foram considerados três cenários de vazão afluente no reservatório Itaparica apresentados a seguir, subsidiando as simulações hidrológicas na avaliação da dispersão de nutrientes provenientes das pisciculturas em tanque-rede, situadas no município de Itacuruba.

4.3 SIMULAÇÃO DA DISPERSÃO DO FÓSFORO DISSOLVIDO

Inicialmente, foram levantados dados hidrodinâmicos (velocidade, profundidade) na área de estudo para verificação da qualidade dos dados obtidos pelo modelo de simulação.

4.3.1 Dados hidrodinâmicos

O modelo computou em um nível médio da água de 302,08 metros, um volume de água equivalente a 8.790 Hm^3 no reservatório. A velocidade da água para o reservatório foi ajustada à vazão simulada. A redução da vazão de referência (Cenário 1) para a vazão reduzida (Cenário 2) resultou em uma decréscimo de 63% da velocidade da água (Tabela 5), podendo numa primeira avaliação interferir no aumento do tempo de residência da água no reservatório e reduzir o potencial de diluição dos poluentes lançados, promovendo concentração de nutrientes e sedimentação nas áreas próximas às pisciculturas.

A velocidade da água também apresenta relação com o volume de água mantido no reservatório, como se observa na Tabela 5. A simulação apresentou variação de velocidade máxima entre 0,236 m/s (Cenário 1) e 0,052 (Cenário 3). A vazão de 900 m^3/s apresentou velocidade de fluxo médio de 0,018 m/s. Estes valores são coerentes e devem-se à quantidade de massa de água que precisa ser impulsionada pelo fluxo e a topografia da região. Logo, considerando velocidade de fluxo e nível de água/volume para os dois casos simulados, estes são considerados inversamente proporcionais.

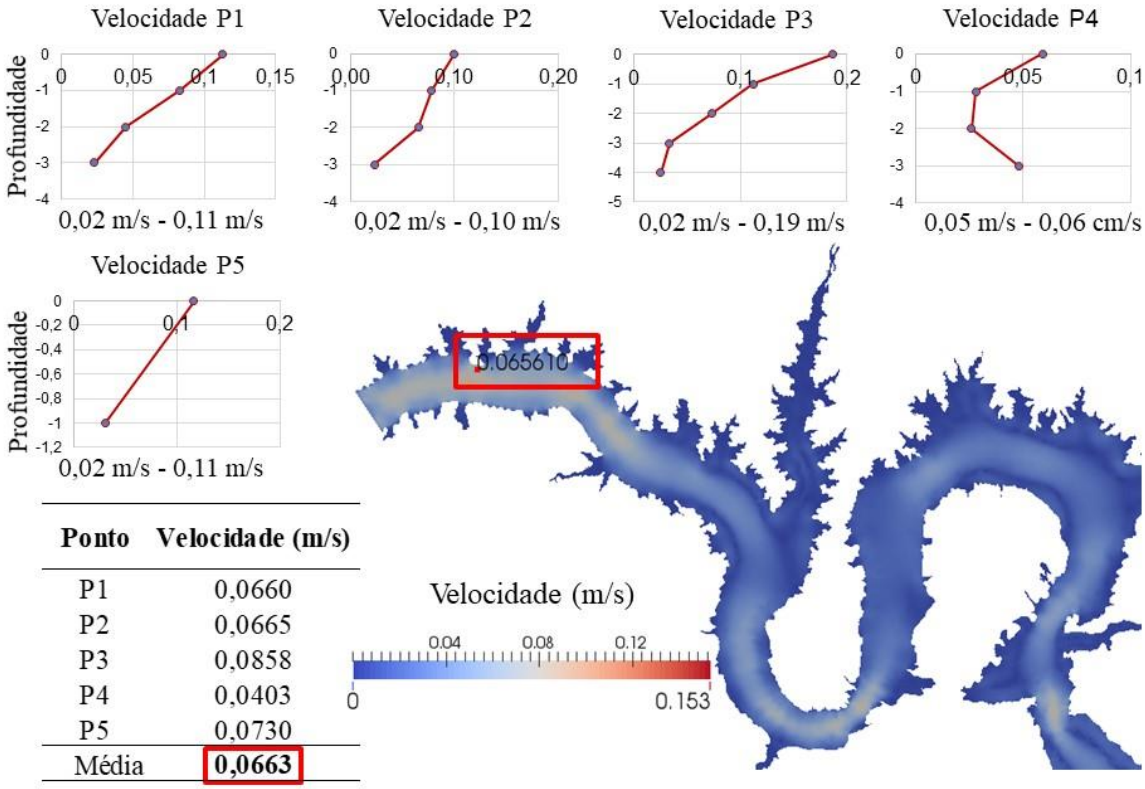
Tabela 5 - Velocidade média (m/s) obtida na simulação para os 3 cenários, considerando vazão e nível de água

Cenário	**Vazão (m^3/s)**	**Velocidade média (m/s)**	**Velocidade máxima (m/s)**
Cenário 1	2060	0,049	0,236
Cenário 2	900	0,018	0,081
Cenário 3	500	0,011	0,052

Fonte: A Autora, 2019.

Dados de velocidade obtidos na coluna d'água com o auxílio de correntógrafo apresentaram semelhança aos valores calculados pelo modelo. A variação na velocidade do fluxo observada na coluna d'água foi de 2 cm/s no fundo (até 4 metros de profundidade) a 19 cm/s na superfície no ponto A3. Observa-se que a velocidade média obtida em campo de 0,066 m/s (0,66 cm/s) é semelhante à média calculada pelo modelo (0,0656 m/s) conforme apresentado da Figura 41.

Figura 41 – Velocidade da água obtida no reservatório Itaparica por correntógrafo e valor comparativo com a velocidade média obtida no modelo



Ponto	Velocidade (m/s)
P1	0,0660
P2	0,0665
P3	0,0858
P4	0,0403
P5	0,0730
Média	**0,0663**

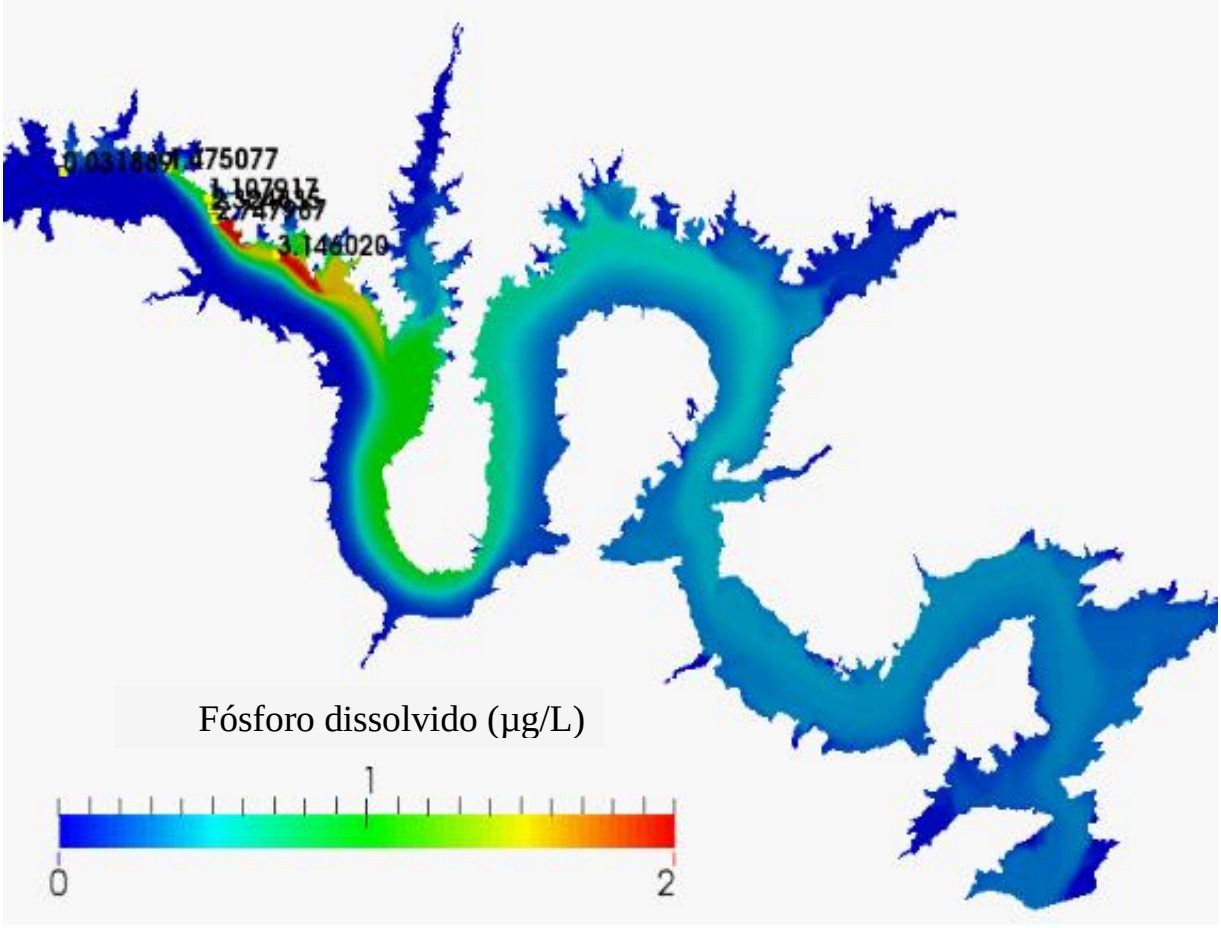
Fonte: A Autora, 2019.

4.3.2 Cenário 1 (vazão de referência de 2.060 m³/s)

O cenário 1 com vazão afluente para Itaparica de 2.060 m^3/s, corresponde ao valor aproximado da vazão média história inserida no sistema da ANA para cálculo da capacidade de suporte no reservatório e determinação da outorga para fins de piscicultura.

A maior concentração observada em um ciclo de 6 meses de produção para o cenário 1 foi 3,146 µg/L de fósforo na piscicultura C (Figura 42). Essa concentração obtida pelo modelo TELEMAC-2D corresponde a apenas 10% do valor de 30 µg/L conforme resolução CONAMA 357/2005 para corpos hídricos de Classe 2.

Figura 42 - Concentração de fósforo dissolvido (µg/L) ao longo do reservatório Itaparica, simulado no cenário 1 para as pisciculturas A5 a C

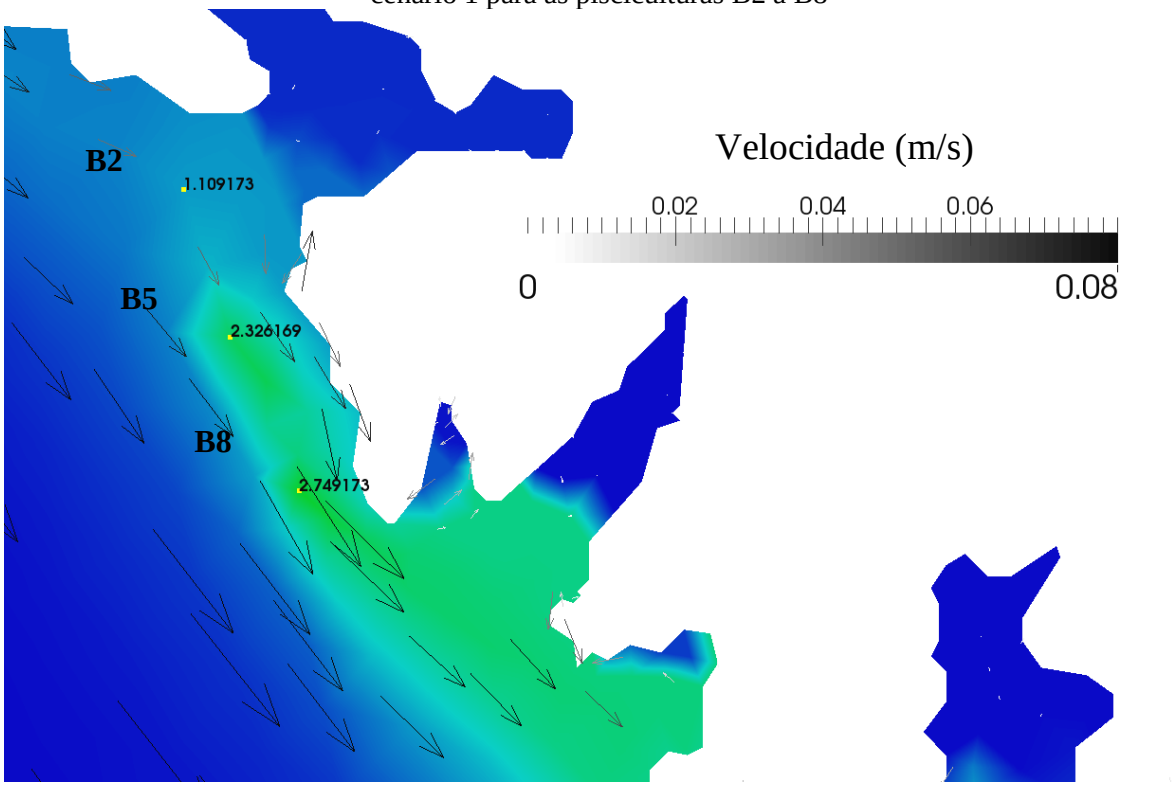


Fonte: A Autora, 2019.

Apesar da velocidade média do fluxo para o reservatório ter sido de 0,049 m/s, a área entre as pisciculturas B2 e B8, apresentaram valores próximos a 0,08 m/s, facilitando o carreamento dos nutrientes para jusante (Figura 43). A velocidade inferior apresentada na piscicultura C, além de seu posicionamento marginal próximo a uma baía, pode ter auxiliado numa concentração maior do fósforo no local (Figura 44).

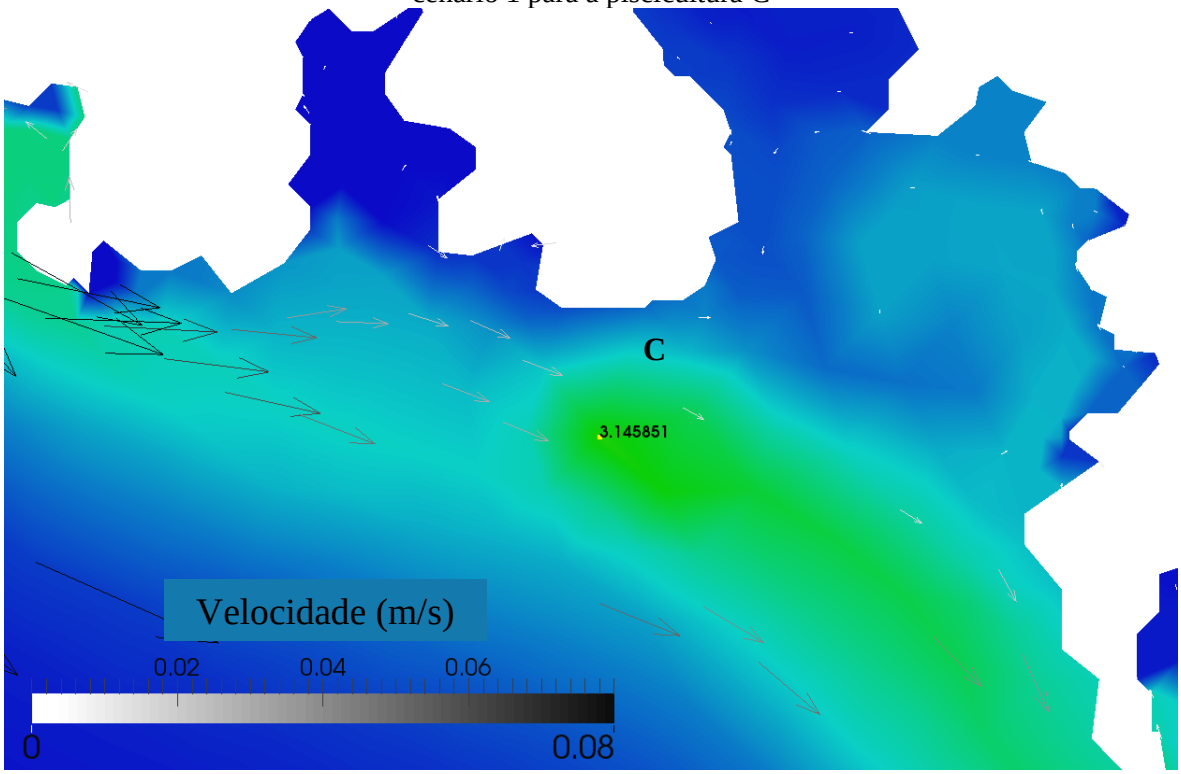
No cenário 1, a concentração de fósforo apresentada foi relativamente pequena, demonstrando a importância da avaliação das correntes para indicar medidas mitigadoras, como por exemplo, a possibilidade de deslocamento da piscicultura C mais para o corpo central do reservatório, permitindo melhor circulação e consequente diluição dos nutrientes.

Figura 43 - Velocidade (m/s) e concentração de fósforo dissolvido (µg/L) no reservatório simulado no cenário 1 para as pisciculturas B2 a B8



Fonte: A Autora, 2019.

Figura 44 - Velocidade (m/s) e concentração de Fósforo dissolvido (µg/L) no reservatório simulado no cenário 1 para a piscicultura C

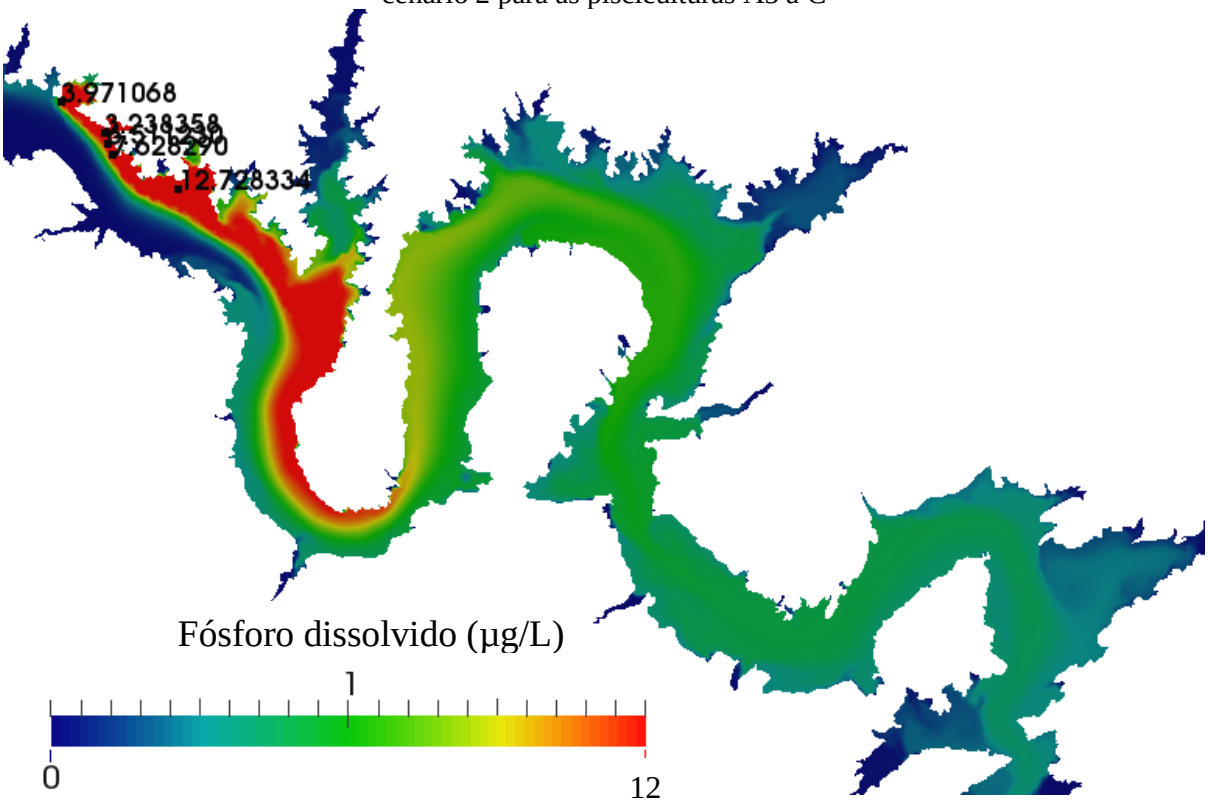


Fonte: A Autora, 2019.

4.3.3 Cenário 2 (vazão reduzida de 900 m³/s)

O cenário 2 com vazão de 900 m³/s corresponde à vazão reduzida no período de junho a dezembro de 2015, por meio da Resolução da ANA nº 713/2015, representando a terceira redução de vazão consecutiva desde abril/2013 no trecho submédio São Francisco. Enquanto no cenário 1 a concentração de fósforo dissolvido máxima foi de 3,146 µg/L, o cenário 2 que representa a situação atual de operação do reservatório Itaparica, apresentou concentração de fósforo de 12,728 µg/L (Figura 45), representando apenas nesta área de avaliação aproximadamente 50% do valor crítico de fósforo obtido a partir dos empreendimentos de piscicultura (Figura 45).

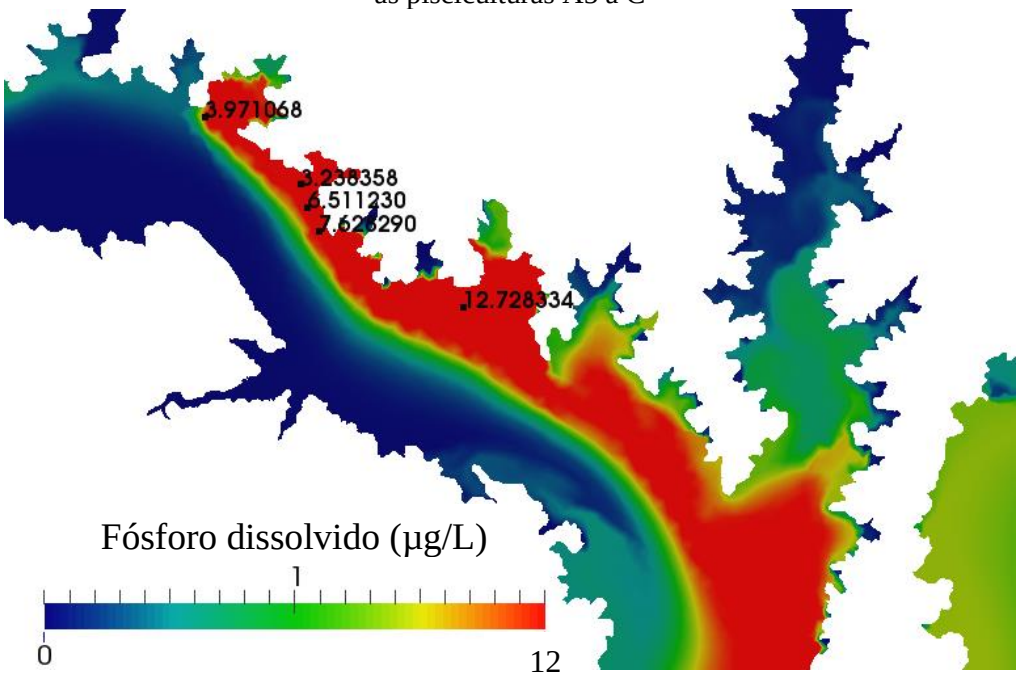
Figura 45 - Concentração de Fósforo dissolvido (µg/L) ao longo do reservatório Itaparica, simulado no cenário 2 para as pisciculturas A5 a C



Fonte: A Autora, 2019.

Pode-se verificar que a redução da vazão média de 2.060 m³/s para 900 m³/s teve impacto substancial no aumento da concentração de fósforo total (4 vezes maior), contribuindo na criação de áreas vulneráveis à eutrofização, principalmente no interior de baías onde há baixa velocidade de circulação e provavelmente maior tempo de residência (Figura 46).

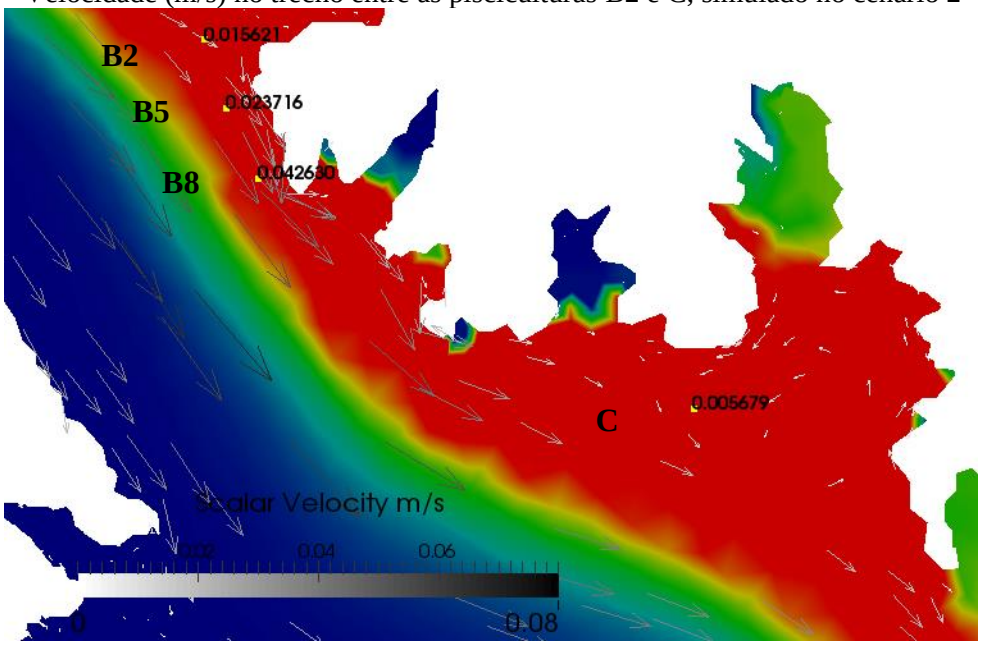
Figura 46 - Concentração de Fósforo dissolvido (µg/L) simulado no trecho estudado no cenário 2 para as pisciculturas A5 a C



Fonte: A Autora, 2019.

As maiores velocidades de fluxo obtidas no cenário 2 foram 0,0581 e 0,0426 m/s na piscicultura A5 e B8, respectivamente. Enquanto a menor velocidade foi 0,0056 m/s na piscicultura C. Novamente o perfil de circulação apresentado na piscicultura C auxilia no entendimento da elevada concentração obtida (Figura 47).

Figura 47 - Velocidade (m/s) no trecho entre as pisciculturas B2 e C, simulado no cenário 2



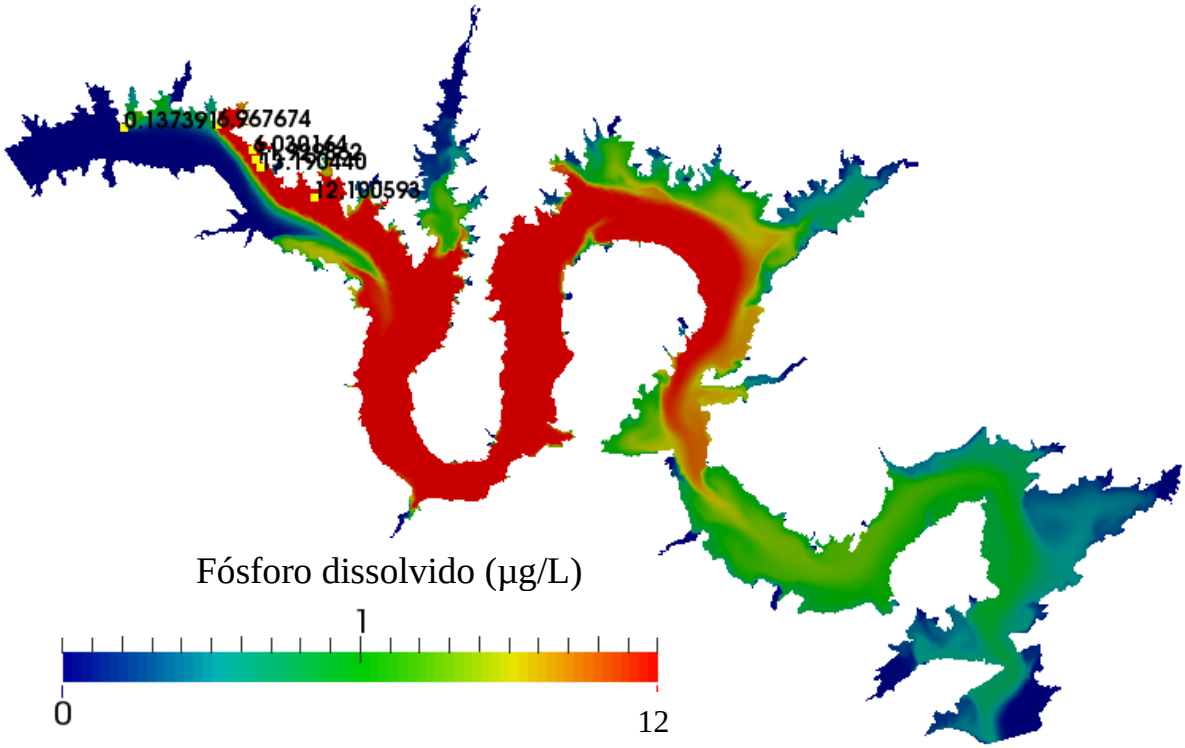
Fonte: A Autora, 2019.

4.3.4 Cenário 3 (vazão crítica de 500 m³/s)

Neste cenário, a concentração máxima obtida não sofreu grande alteração, sendo estimados valores entre 12,100 µg/L (C) e 13,190 µg/L (B8). No entanto, o perfil de circulação nas áreas rasas às margens do reservatório é bastante modificado e auxilia na contenção da poluição na área entre as pisciculturas B2 e B8 (Figura 48). Além dos aspectos de circulação e velocidade do fluxo (Figura 49), a proximidade entre as pisciculturas é um fator agravante para as altas concentrações obtidas, uma vez que o aporte de nutriente neste pequeno trecho é introduzido em grande quantidade e mantido por mais tempo.

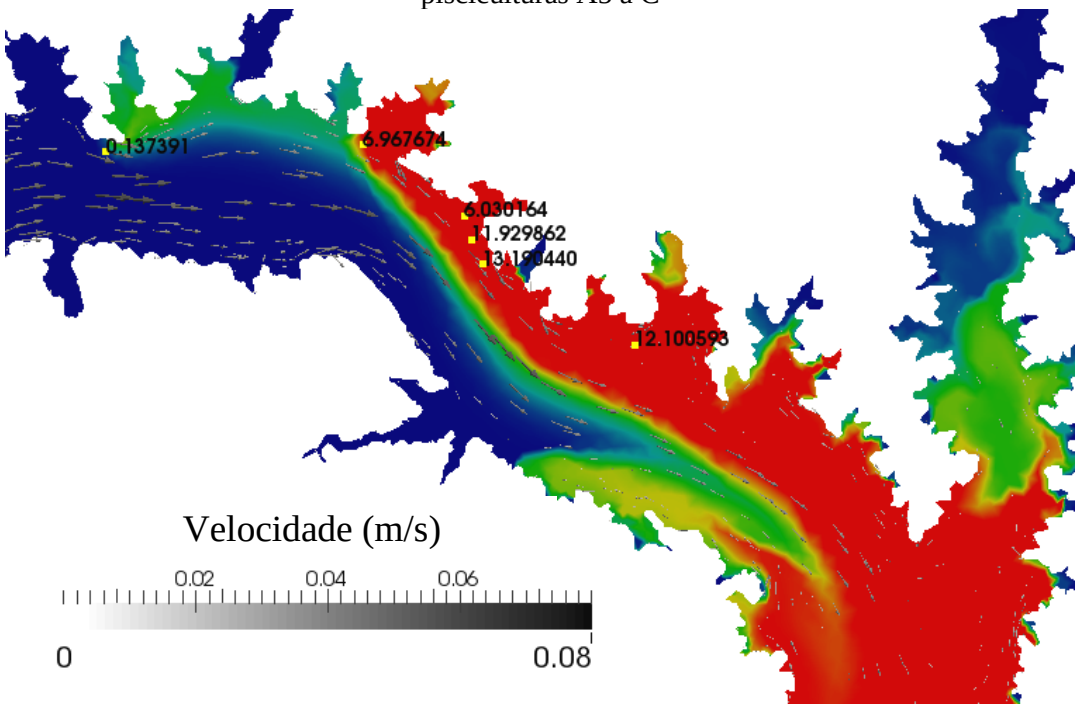
Na Figura 48 também é possível constatar que a redução da vazão ao patamar de 500 m³/s, influência numa interação maior entre a água presente no corpo central do rio e as baías, facilitando a entrada de nutrientes nas áreas lênticas.

Figura 48 - Concentração de fósforo dissolvido (µg/L) ao longo do reservatório Itaparica, no cenário 3 para as pisciculturas A5 a C



Fonte: A Autora, 2019.

Figura 49 - Velocidade do fluxo (m/s) ao longo do reservatório simulada no cenário 3 para as pisciculturas A5 a C



Fonte: A Autora, 2019.

Um agravante para a redução da vazão no cenário 3 é tornar a maioria dos trechos do reservatório de intermediários para lênticos, sendo observadas velocidade do fluxo entre 0,0094 e 0,035 m/s, nas pisciculturas C e A5, respectivamente. Áreas mais profundas são necessárias para garantir o fluxo e diluição do material orgânico particulado e evitar o acúmulo de sedimentos sob os tanques-rede (GUNKEL et al., 2015).

A regulação natural através de processos de troca de água e profundidade mínima da água podem mitigar algumas das questões relacionadas aos sistemas de cultivo em tanque-rede. Entretanto, os tanques-rede são comumente instalados próximos às margens do reservatório e em áreas com águas mais calmas (por exemplo, baías) para facilitar o deslocamento aos tanques para a alimentação manual dos peixes. Em uma perspectiva ecológica, alguns atores recomendam a instalação de tanques em áreas com profundidade superior a 10 m abaixo da gaiola (GUNKEL et al., 2018).

Considerando o aporte de nutrientes, principalmente no que diz respeito à concentração de fósforo (P), a resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece limites, onde a concentração de P não deve ser > 30 µg/L para corpos d´água Classe 2, sendo este o mesmo valor da carga de P calculada segundo conceito de Vollenweider (GUNKEL et al., 2015).

O cálculo da capacidade de suporte do reservatório Itaparica elaborado pela ANA para subsidiar a emissão de outorga para pisciculturas, permite uma produção máxima anual de tilápias de 43.267 ton/ano (AURELIANO et al., 2007). De forma geral, os resíduos da ração ofertada, as perdas, as práticas inadequadas de manejo e as fezes dos indivíduos cultivados são os principais fatores contribuintes para o aporte de fósforo da atividade. Neste contexto, estudos indicam que 32% de todo fósforo empregado na criação de peixes em tanques-rede, são utilizados para o metabolismo dos peixes e os 68% restantes são transferidos para o meio aquático, aumentando o potencial de eutrofização. Essa proporção é de 10-20 kg de fósforo liberados para o ambiente para cada tonelada de tilápia produzida em tanques-rede (FERREIRA JUNIOR, 2011).

Gunkel et al. (2015) avaliando a capacidade de suporte de pisciculturas no reservatório Itaparica calcularam um valor de carga total de 3,30 g m²/ano. Este valor encontra-se além do valor crítico de 2,84 g m²/ano, indicando que o ambiente estaria sobrecarregado. Ainda segundo os autores, já se observa certa eutrofização pontual, tal como o desenvolvimento em massa, temporalmente, de algas e macrófitas submersas nas áreas com empreendimentos em operação.

4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Os resultados da análise das amostras de água e sedimento nos 23 pontos de monitoramento das pisciculturas do reservatório Itaparica são apresentados em termos dos parâmetros físico-químicos da água, parâmetros biológicos, e concentração de nutrientes no sedimento.

4.4.1 Parâmetros físico-químicos da água

Foram analisadas 250 amostras de água, sendo 123 coletadas no período de estiagem (janeiro e dezembro de 2017) e 127 no período chuvoso (abril e julho de 2017). Os pontos de amostragem apresentaram profundidade máxima de oito metros, não sendo possível a coleta de meio da coluna d'água em pontos com profundidade inferior a dois metros.

Dentre os parâmetros analisados, nitrogênio amoniacal, fósforo total, clorofila-*a*, oxigênio dissolvido e pH, excederam os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005,

para corpos de águas doces Classe 2 onde haja pesca ou cultivo de organismos para fins consumo intensivo (Tabela 6).

Os dados obtidos no presente estudo corroboram com Melo (2007), que avaliou a qualidade da água no reservatório Itaparica em diferentes períodos e observou concentrações de fósforo total, clorofila-*a*, oxigênio dissolvido e ainda coliformes, fora dos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005.

Tabela 6 - Valores máximo, mínimo e médio dos parâmetros físico-químicos analisados nas áreas A e B, no reservatório Itaparica no ano de 2017

Parâmetros	Unidade	Área A			Área B			Limites CONAMA 357/2005 Classe 2
		Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	
Nitrato	µg/L	18,0	0,3	76,1	27,4	1,1	76,8	10000 µg/L
Nitrito	µg/L	2,0	-	16,4	1,6	-	13,8	1000 µg/L
Nitrogênio Amoniacal	µg/L	67,1	1,0	**973,2**	61,2	-	378,7	500 µg/L pH > 8,5 1000 µg/L 8,0 < pH ≤ 8,5 2000 µg/L 7,5 < pH ≤ 8,0 3700 µg/L pH ≤ 7,5
Fosfato Inorgânico	µg/L	18,0	1,7	167,7	13,5	-	121,2	-
Fósforo total	µg/L	**121,0**	12,1	**329,5**	**146,3**	12,1	**399,0**	≤ 30 µg/L
Clorofila-*a*	µg/L	8,8	-	**31,2**	5,9	-	**34,9**	≤ 30 µg/L
Feofitina	µg/L	4,6	-	16,7	3,5	-	21,5	-
Turbidez	UNT	6,8	1,7	23,3	5,1	1,3	13,3	≤100 UNT
Fração orgânica	g/L	0,1	-	0,3	0,1	-	0,3	-
Temperatura	ºC	26,6	22,8	30,1	26,5	22,8	29,4	-
Oxigênio Dissolvido	mg/L	6,8	**0,6**	13,7	6,5	**1,5**	9,8	≥ 5,0 mg/L
Condutividade	µS/cm	80,8	65,9	105,1	78,5	68,1	98,3	-
pH	-	8,7	6,9	**10,4**	8,2	6,5	**9,8**	6,0 - 9,0

Fonte: A Autora, 2019.

Os valores de nitrato e nitrito mantiveram-se próximos aos limites recomendados pela legislação, enquanto o nitrogênio amoniacal total apresentou valor máximo de 973,2 µg/L na área A, superior ao limite de 500 µg/L estabelecido pela CONAMA 357/05 para corpo hídrico com pH > 8,5 (Tabela 6). Ressalta-se que a Diretiva da União Européia que regulamenta a produção de peixes considera limiar tóxico a concentração de 780 µg/L de amônia (GUNKEL et al., 2015).

O fósforo total apresentou valores 13 vezes maior que o limite recomendado pela resolução CONAMA nº 357/05 (≤ 30 µg/L), chegando a 329,5 e 399,0 µg/L nas áreas A e B, respectivamente. Os valores médios da concentração de fósforo total nas duas áreas foram 121,0 µg/L e 146,3 µg/L, mais de 400% acima do recomendando. As máximas concentrações do fósforo total podem estar relacionadas aos valores de clorofila-*a* obtidos, 31,2 e 34,9 µg/L, excedente ao limite recomendando nas duas áreas (Tabela 6).

SOARES et al. (2008) relacionam o aumento na concentração de fósforo à presença dos tanques-rede, com elevação no teor de clorofila-*a* na água. Da mesma forma, JOHANSSON e NORDVARG, (2002) ressaltam que fósforo é o nutriente estimulador do crescimento do fitoplâncton.

As elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal, fósforo e clorofila-*a*, refletem nos baixos valores de oxigênio dissolvido registrados, chegando a condições quase anóxicas, com 0,6 mg/L de OD, quando o valor mínimo recomendado para a manutenção da vida aquática deve ser 5,0 mg/L de OD (Tabela 6). O aporte de matéria orgânica resulta em consumo de oxigênio pela mineralização, assim como contaminação de sedimentos e promoção de condições anóxicas (GUNKEL et al., 2015).

O pH variou entre 6,5 e 10,4, atingindo valores máximos nas áreas A (10,4) e B (9,8), acima da faixa recomendada de 6,0 a 9,0 (Tabela 6). O pH varia em função da temperatura e dos teores de matéria orgânica e OD, podendo afetar o desenvolvimento e o metabolismo dos organismos aquáticos (ESTEVES, 2011).

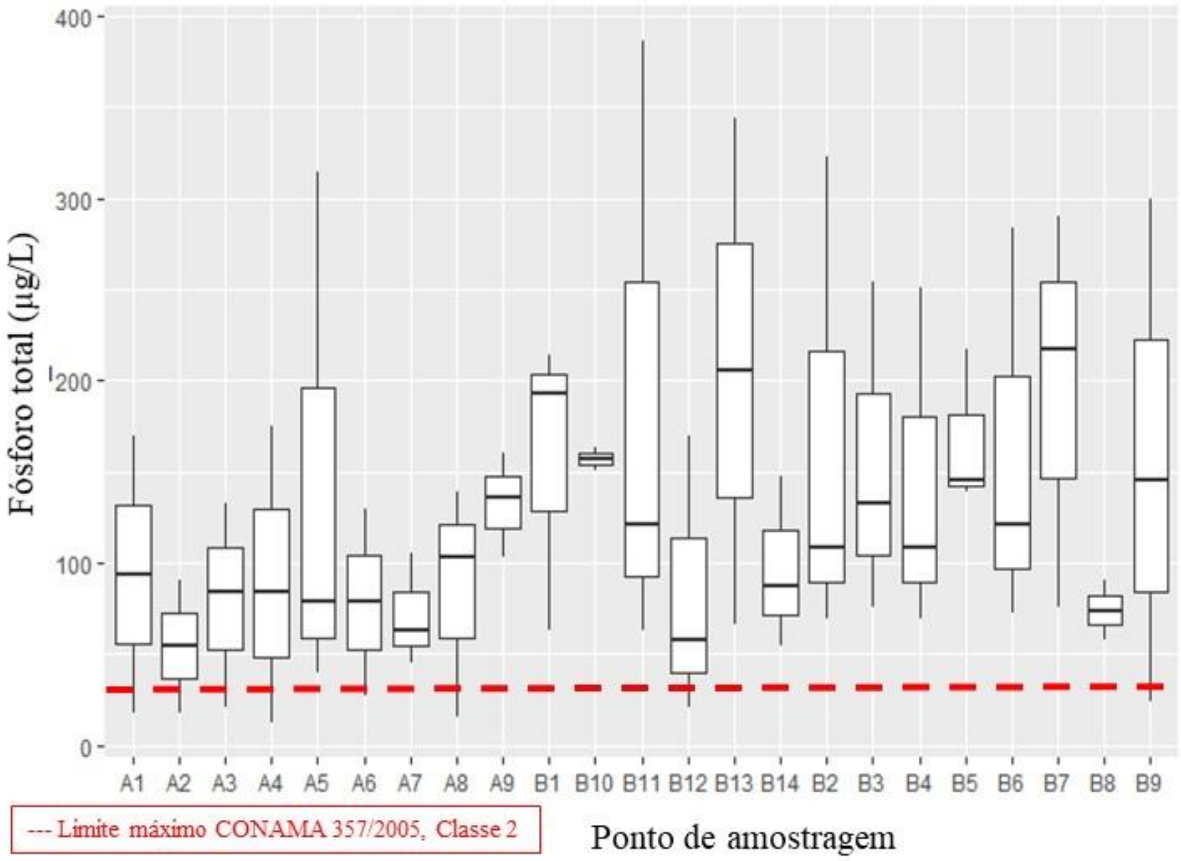
As concentrações de nitrato e nitrito foram 76,1 e 16,4 µg/L na área A, e 76,8 e 13,8 µg/L na área B, respectivamente (Tabela 6). Baixas concentrações de compostos nitrogenados são características de reservatórios tropicais (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008; GUNKEL et al., 2018). A limitação por nitrogênio pode ser resultado de uma super fertilização pelo fósforo (SCHINDLER et al., 2008) e porque em altas temperaturas há rápida atuação microbiana nitrificante e desnitrificante (GUNKEL et al., 2018).

Observa-se a predominância de concentrações de fósforo acima do limite recomendado em todos os pontos de amostragem, incluindo aqueles a montante das pisciculturas (A3, A4) e (B1) e no interior das baías (A1, A2, A6 e A7) e (B3, B11 e B12). O valor máximo registrado (399,03 µg/L) corresponde ao ponto B11, situado em baía a montante das pisciculturas,

indicando possível influência das pisciculturas na redução da qualidade da água nas baías (Figura 50).

Arruda (2015) avaliou a contribuição do sistema de drenagem de perímetros irrigados em Petrolândia no aporte de fósforo total para o reservatório Itaparica e observou teores entre 35 µg/L e 209,7 µg/L na água dos canais, concentrações superiores ao limite estabelecido para fósforo total na água do reservatório.

Figura 50 - Boxplot dos valores da concentração de fósforo total, registrados ao longo dos pontos de amostragem do reservatório Itaparica



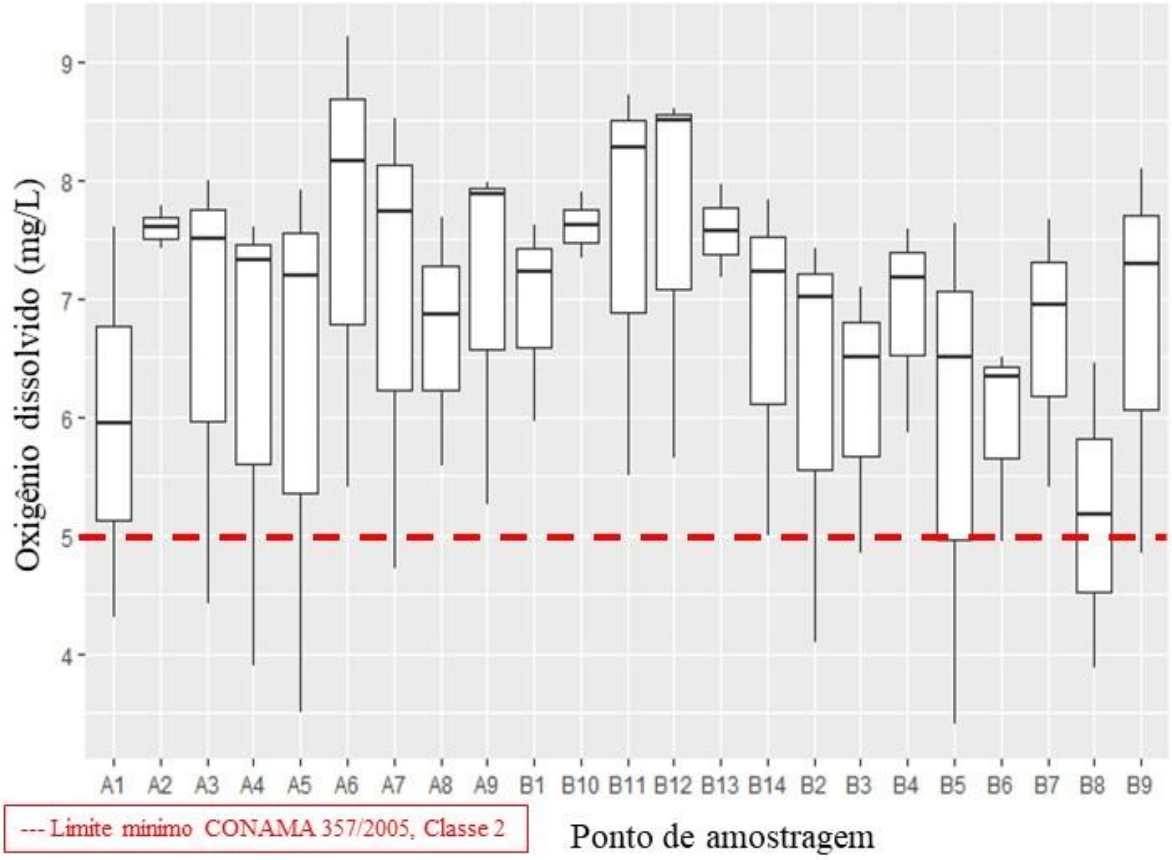
Fonte: A Autora, 2019.

O uso de agrofertilizantes na área de influência do reservatório Itaparica é considerado um problema central por Carvalho (2009), impactante tanto na qualidade d'água, como na saúde dos homens e dos animais, tendo, os compostos tóxicos provenientes do uso de agrotóxicos em perímetros de irrigação instalados nas margens do reservatório potencial para exercer efeitos tóxicos danosos à saúde dos organismos aquáticos.

Os valores médios das concentrações de oxigênio dissolvido na superfície da água foram superiores a 5,0 mg/L em todos os pontos de amostragem, apresentando o ponto B8 a menor

média 5,2 mg/L. Além do ponto B8, outros sete pontos apresentaram ao menos um valor abaixo do limite mínimo recomendado, considerado o mais crítico as pisciculturas apresentadas em A5 e B5 (Figura 51).

Figura 51 - Boxplot dos valores da concentração de oxigênio dissolvido registrados ao longo dos pontos de amostragem do reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

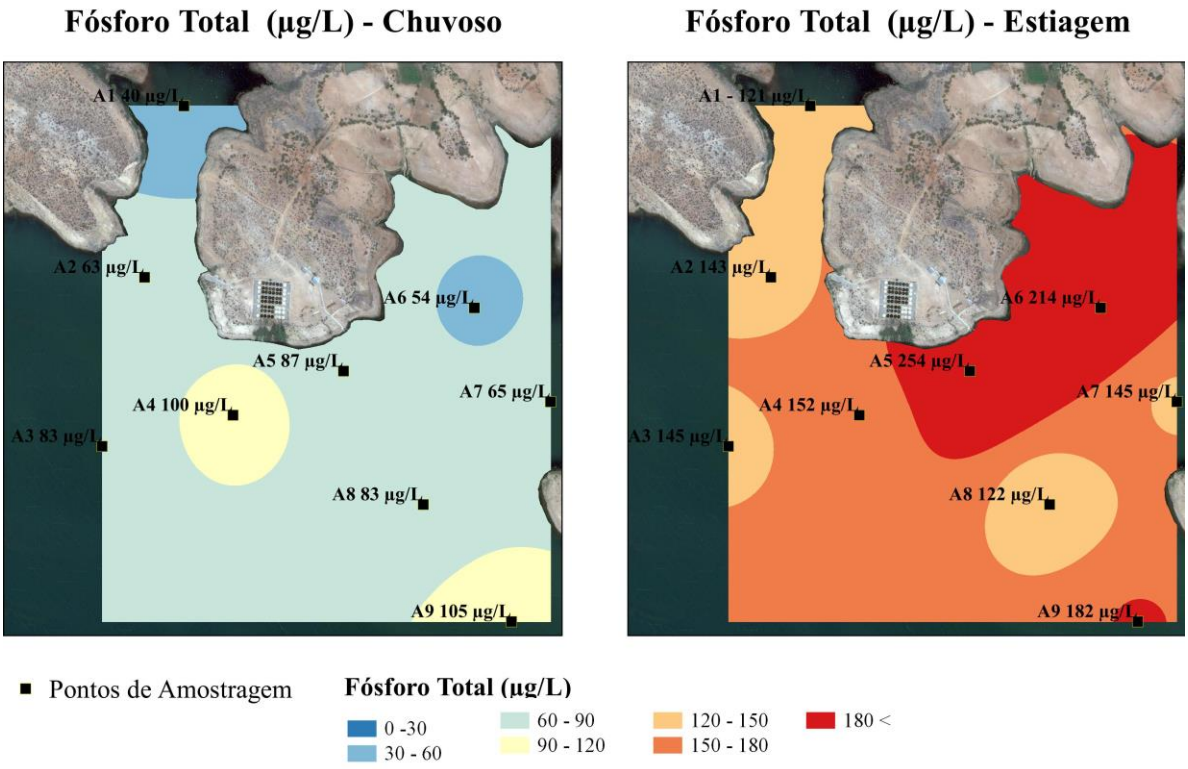
Apesar da concentração do oxigênio dissolvido (OD) apresentar-se superior ao limite mínimo da legislação, é preocupante a supersaturação do OD em baías situadas a jusante das pisciculturas (A6 e A7) e (B11 e B12), uma vez que corpo d´água durante o período diurno pode apresentar concentrações de oxigênio superiores a 10 mg/L, mesmo em temperaturas superiores a 20°C, devido ao crescimento excessivo de algas, principalmente em áreas de baixa velocidade da água, camuflando o processo de eutrofização (CETESB, 2014a).

4.4.1.1 Distribuição espacial e sazonal dos nutrientes

O período de estiagem propiciou concentrações de nutrientes mais elevadas a partir da piscicultura localizada na área A (ponto A5). O fosforo total variou de 87 µg/L no período chuvoso para 254 µg/L no período de estiagem, sendo observado no ponto A6 (baía a jusante) a manutenção de valor acima de 200 µg/L (Figura 52).

Todos os valores médios do fósforo total apresentado nos períodos chuvoso e estiagem estão acima do limite recomendado pela resolução CONAMA 437/05, incluindo o ponto A3 com 83 µg/L, situado 1 km a montante da piscicultura (Figura 52). Altas concentrações de fósforo a montante das pisciculturas remetem ao aporte proveniente de outras fontes e outras cargas ao longo do reservatório.

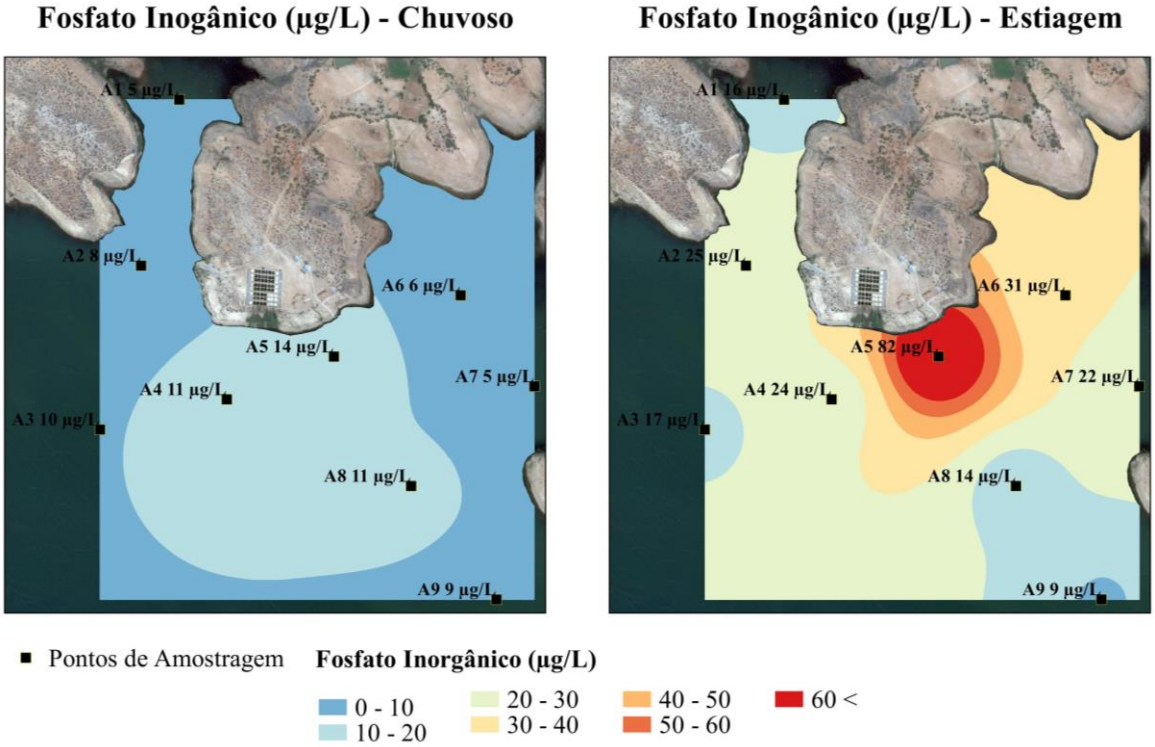
Figura 52 - Interpolação da concentração média de fósforo total no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área A, reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

O fosfato inorgânico também apresentou maiores concentrações no período de estiagem, mais pontualmente nos pontos A5 e A6, com 82 µg/L e 31 µg/L, respectivamente. A menor concentração registrada foi no Ponto A1 (5 µg/L) no período chuvoso e A9 (9 µg/L), em ambos os períodos (Figura 53).

Figura 53 - Interpolação da concentração média de fosfato inorgânico no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área A, reservatório Itaparica

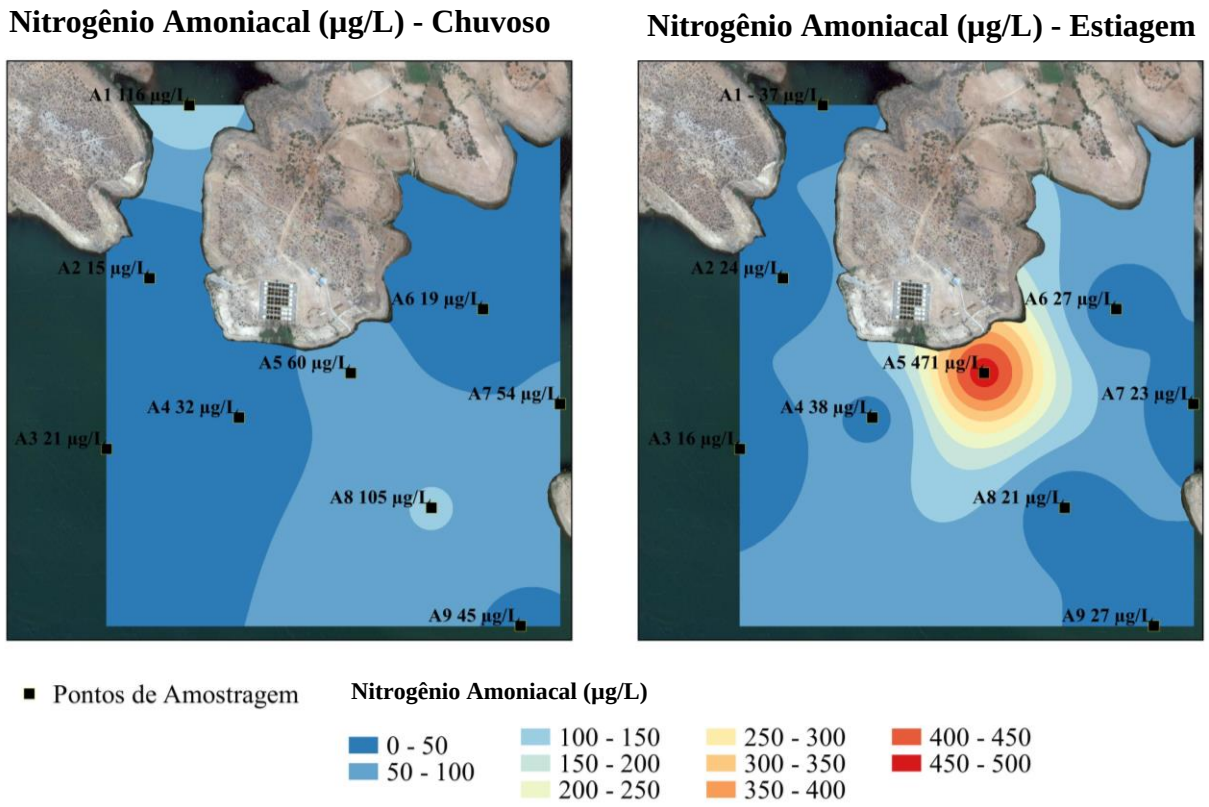


Fonte: A Autora, 2019.

Diferentemente dos resultados anteriores, o nitrogênio amoniacal, apresentou alguns pontos com concentração média superior no período chuvoso em relação ao período de estiagem, com o caso do ponto A1, com concentração em de 116 µg/L, podendo ser resultado do aporte de material carreado pela drenagem natural para o interior da baía. Outro ponto, A8 a jusante da piscicultura apresentou concentração de 105 µg/L, inferindo ao período chuvoso maior efeito da dispersão deste parâmetro nos pontos próximos (Figura 54).

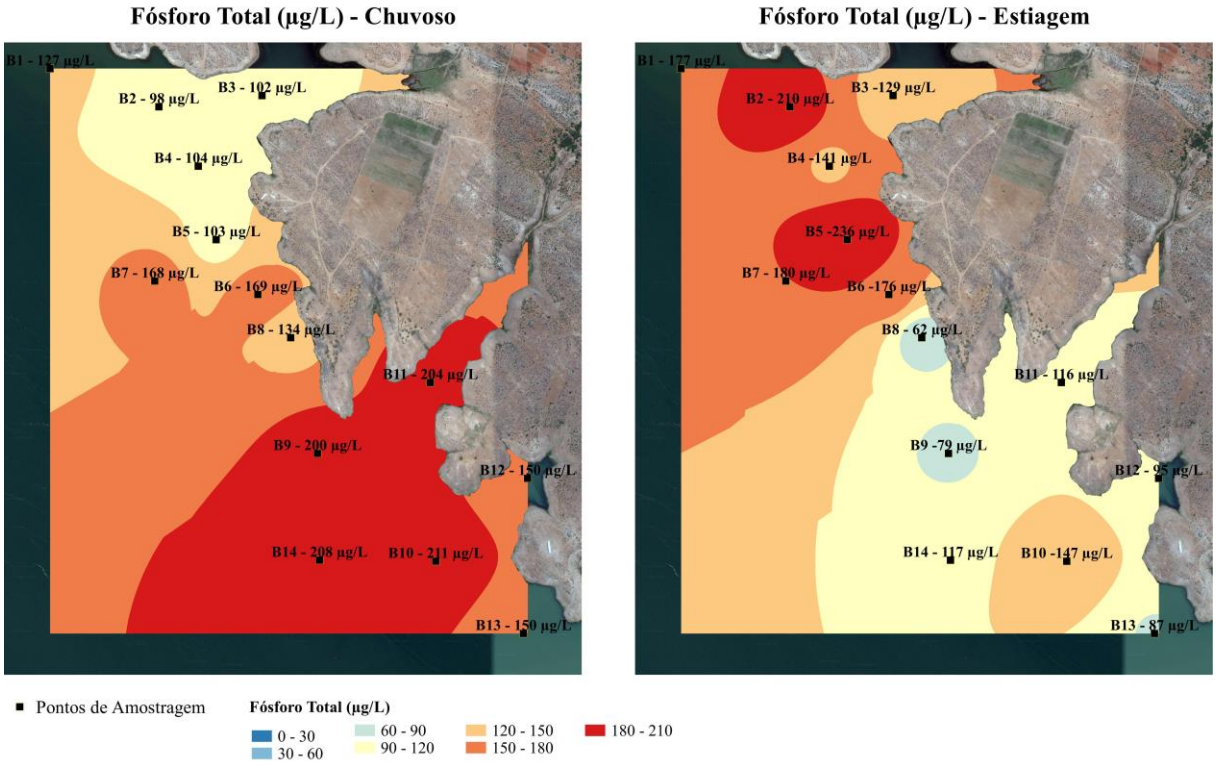
Em relação à área B, o período de estiagem manteve as maiores concentrações de fósforo total registradas em B2 (210 µg/L) e B5 (236 µg/L), no entanto um pouco mais pontual, nas áreas de influências das pisciculturas. Enquanto no período chuvoso foram observadas elevadas concentrações de fósforo total em um maior número de pontos, com concentração maiores a jusante das três pisciculturas, principalmente nos pontos B9, B10, B11 (baía) e B14 (Figura 55).

Figura 54 - Interpolação da concentração média de nitrogênio amoniacal no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área A, reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

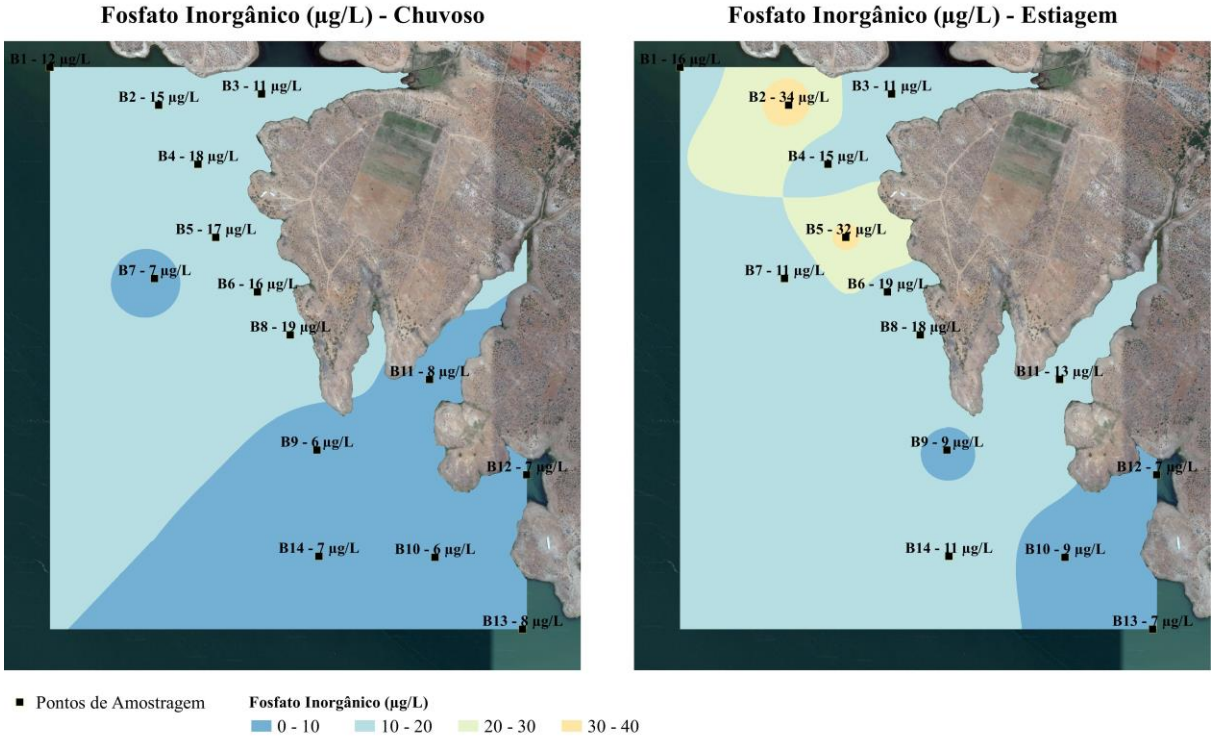
Figura 55 - Interpolação da concentração média de fósforo total no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área B, reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

A concentração de fosfato inorgânico na área B foi inferior aos valores obtidos na área A, principalmente no período chuvoso, sendo os maiores valores obtidos também em B2 e B5, com 34 µg/L e 32 µg/L, respectivamente (Figura 56).

Figura 56 - Interpolação da concentração média de fosfato inorgânico no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área B, reservatório Itaparica

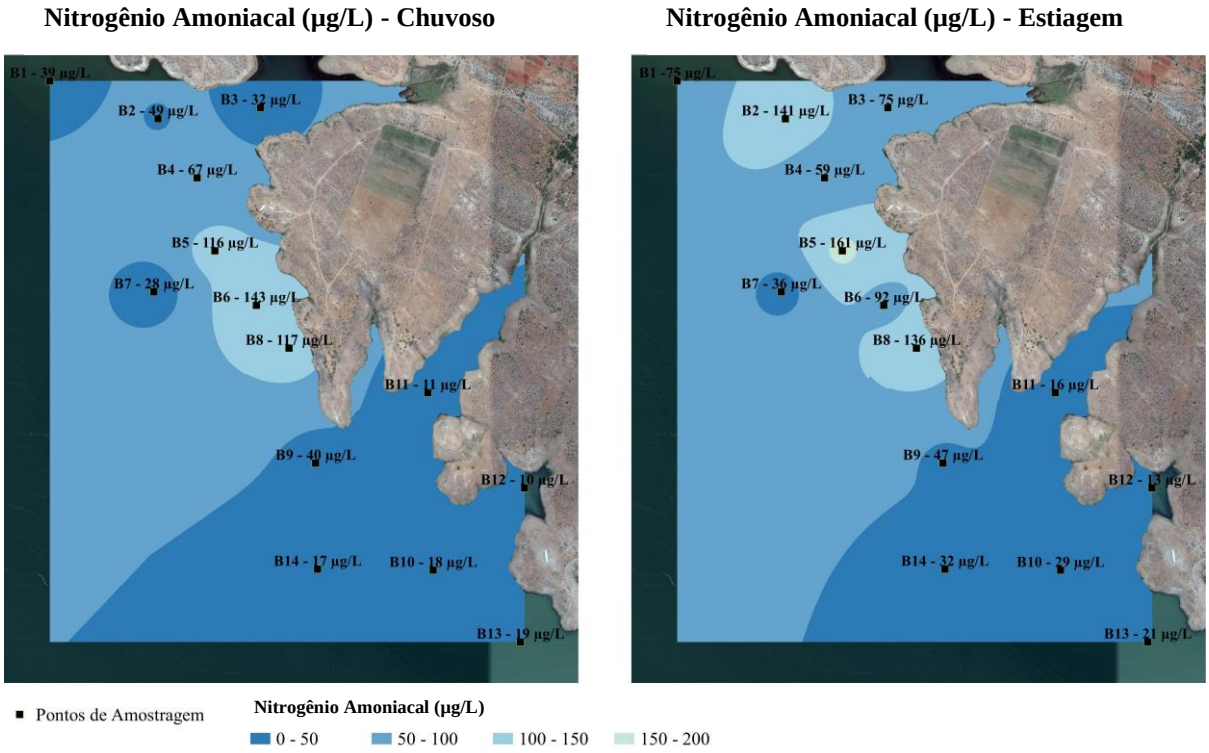


Fonte: A Autora, 2019.

Por fim, o nitrogênio amoniacal manteve as concentrações recomendadas, apresentando valor máximo em B5 (161 µg/L) e sucessivamente em B2 (141 µg/L) e B8 (136 µg/L) no período de estiagem, nos pontos correspondentes às áreas centrais das pisciculturas (Figura 57).

Comparando os períodos de estiagem e chuvoso, observou-se que houve aumento das concentrações dos nutrientes no período de estiagem na maior parte dos pontos de amostragem. No entanto, pesquisa no reservatório Itaparica, analisando as alterações físico-químicas da água com a variação sazonal, constatou que ocorreu elevação da concentração de alguns parâmetros físico-químicos no período chuvoso (MORAIS et al., 2011). Estas alterações podem estar relacionadas com a redução gradativa da vazão afluente ao reservatório ao longo do ano de 2017, que passou de 700 m³/s no período chuvoso para 550 m³/s no período de estiagem.

Figura 57 - Interpolação da concentração média de nitrogênio amoniacal no período de janeiro a dezembro de 2017, ao longo dos pontos de amostragem na área B, reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

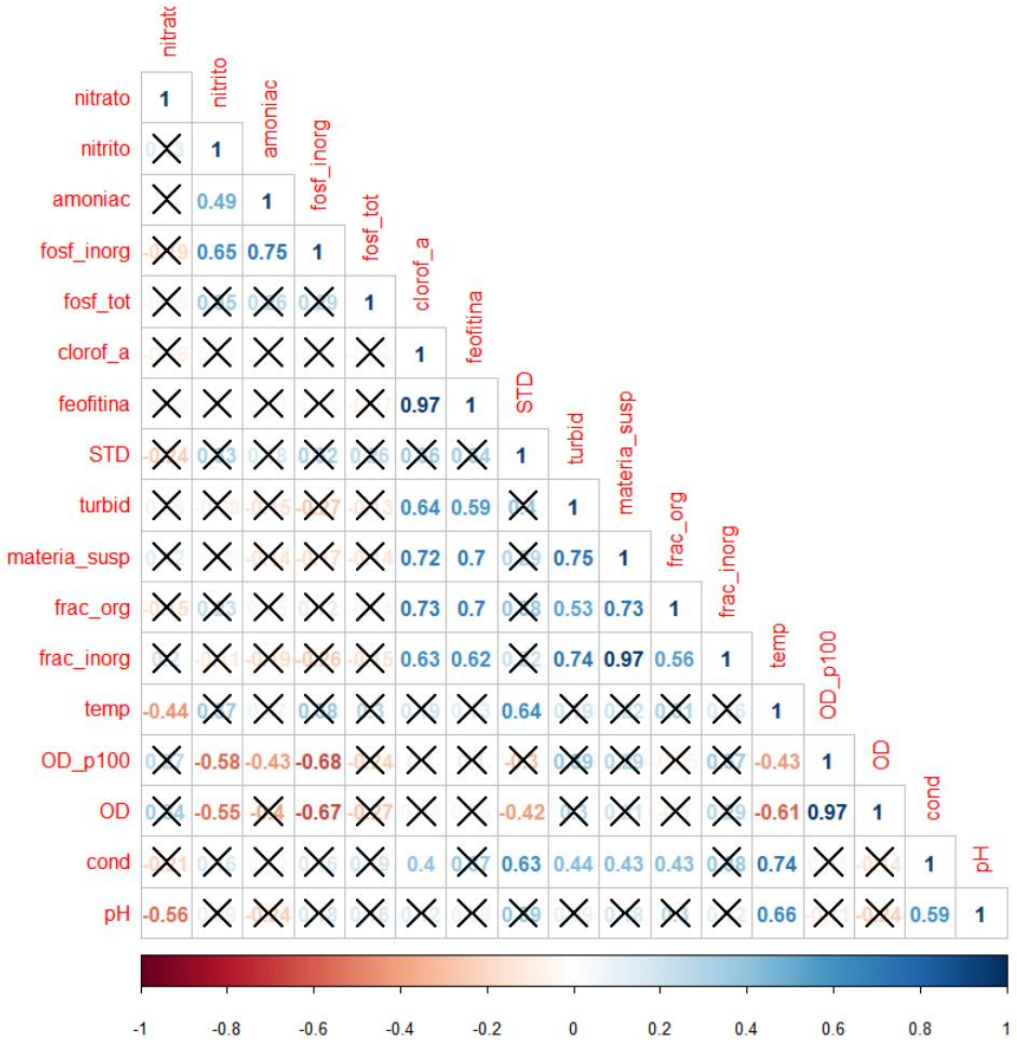
Corroborando com dados do presente estudo, Morais et al. (2011) constataram que no reservatório Itaparica, os compostos nitrogenados estiveram dentro do estabelecido pela legislação brasileira e os valores de fósforo total, acima do recomendado. Os altos valores apresentados já indicam suscetibilidade do reservatório em sofrer processo de eutrofização.

4.4.1.2 Análise de correlação e ordenação dos nutrientes significativos

Foram obtidos coeficientes de correlação significativos entre as variáveis: (i) o fosfato inorgânico e os compostos nitrogenados (0,65 e 0,75), (ii) a clorofila-*a* e os parâmetros turbidez (0,64) e material em suspensão (0,72), tanto da fração orgânica (0,73) como inorgânica (0,63), (iii) os sólidos totais dissolvidos e temperatura (0,64) e condutividade (0,63), estes dois últimos ainda correlacionados com o pH (0,66 e 0,59), e (iv) correlação negativa do oxigênio dissolvido com o fosfato inorgânico (-0,68), o nitrito (-0,55), a temperatura (-0,61) e sólidos totais dissolvidos (-0,42), conforme Figura 58.

A relação inversa do oxigênio dissolvido (OD) com nutrientes indica reações de oxidação que ocorrem no ciclo do fósforo e do nitrogênio, (como a amonificação e a nitrificação), a exemplo do nitrito (estado de oxidação intermediário do ciclo do nitrogênio).

Figura 58 - Coeficientes de correlação entre os parâmetros físico-químicos avaliados no monitoramento das pisciculturas no reservatório Itaparica em 2017



Fonte: A Autora, 2019.

O fosfato inorgânico (ortofosfato) apresentou coeficientes de correção significativos com parâmetros importantes para o monitoramento, como nitrogênio amoniacal (0,75) e oxigênio dissolvido (-0,67), conforme Figura 58. Apesar do fosfato inorgânico não estar presente entre os parâmetros de qualidade estabelecidos na resolução CONAMA 357/05, ele é um elemento fundamental na qualidade de água de reservatórios de múltiplos usos, por se tratar da principal forma de fósforo assimilada pelos vegetais aquáticos.

Por exemplo, a macrófita submersa *Egeria densa* apresenta expressivo crescimento nas áreas com pisciculturas da região, devido à alta disponibilidade de nutrientes, contribuindo para a retenção do fluxo de nutrientes e redução do oxigênio dissolvido. Na Figura 59 é possível visualizar a grande quantidade de macrófitas submersas que foram expostas devido à redução do volume e da cota do reservatório, impossibilitando a operação dos tanques-redes ali existentes.

Figura 59 - Alta densidade de macrófitas nas áreas de piscicultura em tanque-rede no reservatório Itaparica

Fonte: A Autora, 2019.

O desenvolvimento da *E. densa* na baía de Icó-Mandantes, no reservatório Itaparica, foi estudada por Lima (2018), que observou uma taxa de reprodução equivalente à 2,1% ao dia, estimando um tempo de duplicação de 48 dias. Considerando a taxa de crescimento e a absorção diária de nutrientes na coluna d'água e no sedimento, *E. densa* apresentou importante função ecossistêmica na absorção de 27 mg P/m^2 e 325 mg N/m^2, que corresponde a 78% do fósforo total e 56% do nitrogênio total, disponível na coluna d'água (LIMA, 2018).

A presença das macrófitas contribuem para a absorção dos nutrientes disponibilizados no ambiente, comprometem em parte o fluxo e o volume de água nos tanques, bem como disponibilidade de oxigênio. Estes efeitos também são inferidos à espécie invasora de molusco bivalve, *Limnoperna fortunei* (mexilhão dourado), introduzido no Brasil nos anos 90 (PESTANA et al., 2010) e desde 2015 vem de desenvolvendo no reservatório Itaparica.

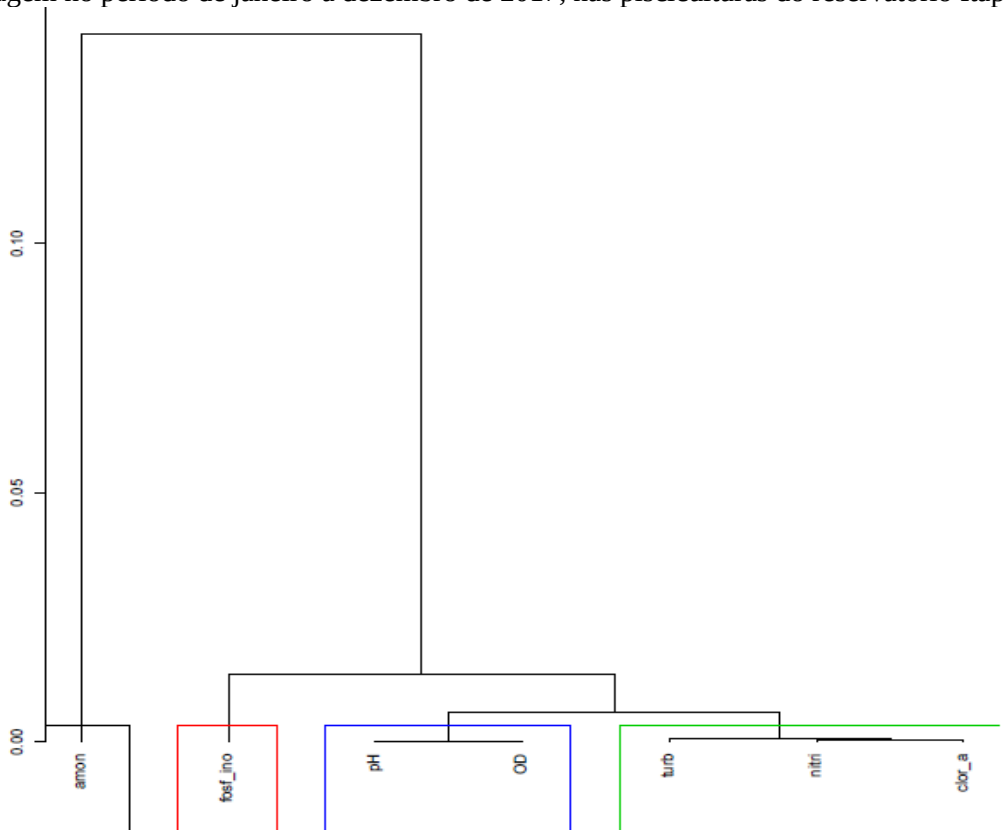
A fixação de *L. fortunei* no tanque-rede dificulta a troca de água de dentro para fora das gaiolas, evitando a saída de resíduos e reduzindo a oxigenação (VIANNA et al. 2019). Além disso, as conchas podem causar lesões na pele dos peixes, permitindo o acesso de patógenos e

doenças infecciosas, comprometendo a produtividade, aumentando as chances de mortalidade (PESTANA et al., 2010)

Um esforço maior tem sido feito pelos produtores para manutenção e limpeza das gaiolas de peixe, (a cada 2 a 3 meses) aumentando os custos de produção e mão-de-obra para substituição dos peixes para outros tanques limpos. Vianna et al. (2019) inferem que a invasão do mexilhão dourado pode comprometer o potencial aquícola em reservatórios no rio Paraná, caso medidas de controle não sejam tomadas.

A partir da análise de correlação entre as variáveis, foram identificados os seguintes parâmetros que explicam a correção significativa com os pontos de amostragem: nitrito (nitri), nitrogênio amoniacal (amon), fosfato inorgânico (fosf_ino), turbidez (turb), pH, oxigênio dissolvido (OD) e clorofila-*a* (clor_a). Por meio da análise de cluster, foi gerado um dendrograma que permite identificar dois grandes grupos mais distantes, o primeiro formado exclusivamente pelo nitrogênio amoniacal (amon) e o segundo pelos demais parâmetros físico-químicos, agrupados em quatro subgrupos: (i) amon, (ii) fosf_ino, (iii) pH e OD, e (iv) turb, nitri e clor_a (Figura 60).

Figura 60 - Dendrograma das variáveis abióticas analisadas agrupadas em relação aos pontos de amostragem no período de janeiro a dezembro de 2017, nas pisciculturas do reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

4.4.1.3 Análise de Correspondência Canônica - Área A

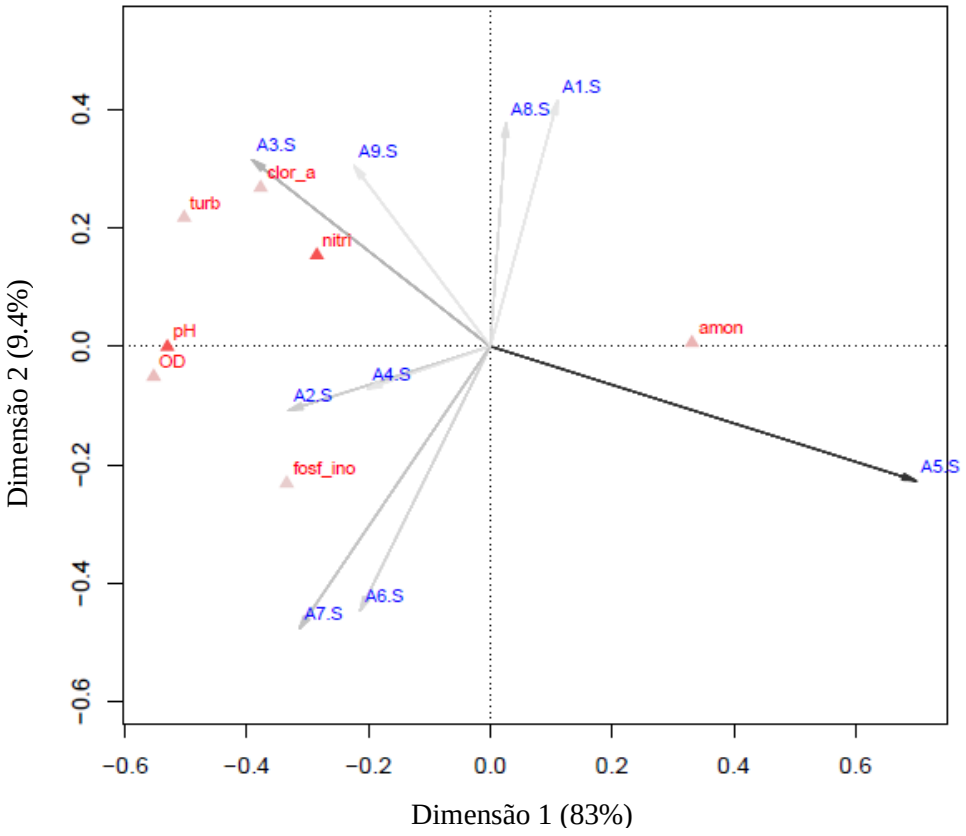
Foram considerados apenas os valores de superfície, inferindo a denominação S, ao ponto amostral na apresentação dos resultados (exemplo: A1.S). A variáveis foram ordenadas em dois lados oposto no eixo 1, que apresentou percentual de explicação em 83% da variância total, sendo observado um contraste de OD, pH, turbidez e clorofila a, com nitrogênio amoniacal. Esta correlação negativa demonstra que a clorofila-*a* foi favorecida pela disponibilidade de nitrito, aumentando consequentemente o pH e o OD (Figura 61).

A segunda dimensão explica 9,4% da variância total e apresenta como principal elemento de explicação o ponto A5.S, localizado no centro da piscicultura da área A, que apresentou como variável de explicação o nitrogênio amoniacal (amon) e variáveis negativas, o OD e pH, que refletem o baixo padrão de qualidade da água. Ainda no eixo 1, os pontos de maior correlação com o A5.S foram o A1.S (baía a montante) e A8.S (jusante da piscicultura) (Figura 61).

Picos de fosfato inorgânico na água no local de criação de peixes em tanques-rede também foram observados por Mallasen et al. (2012), no reservatório de Ilha Solteira em Santa Fé do Sul-SP, coincidindo ainda com o período mais quente de análise, uma vez que nos meses com temperaturas elevadas, aumenta o metabolismo dos peixes produzidos e consequentemente, maior ciclagem deste nutriente.

Os pontos A3.S e A9.S foram ordenados em um grupo discriminado pelas variáveis explicativas turbidez, clorofila-*a* e nitrito, demonstrando uma menor influência pela ação da atividade, e boa relação com a sua localização que permite maior fluxo de água. Enquanto os demais pontos (A2.S, A4.S, A6.S e A7.S), foram correlacionados a variável explicativa fosfato inorgânico (Figura 61). Siqueira (2006) analisando o fósforo no sedimento da Lagoa de Cima/RJ relaciona os altos valores do nutriente na limitação do nitrogênio ao fitoplâncton no ecossistema. O autor verificou aumentos concomitantes nas concentrações de fósforo total e clorofila nos sedimentos depositados na Lagoa em relação às deposições mais antigas (profundas), sugerindo uma eutrofização por fósforo.

Figura 61 - Ordenação Biplot pela ACC das unidades amostrais (variáveis abióticas e pontos de amostragem na área A), no período de janeiro a dezembro de 2017, no reservatório Itaparica



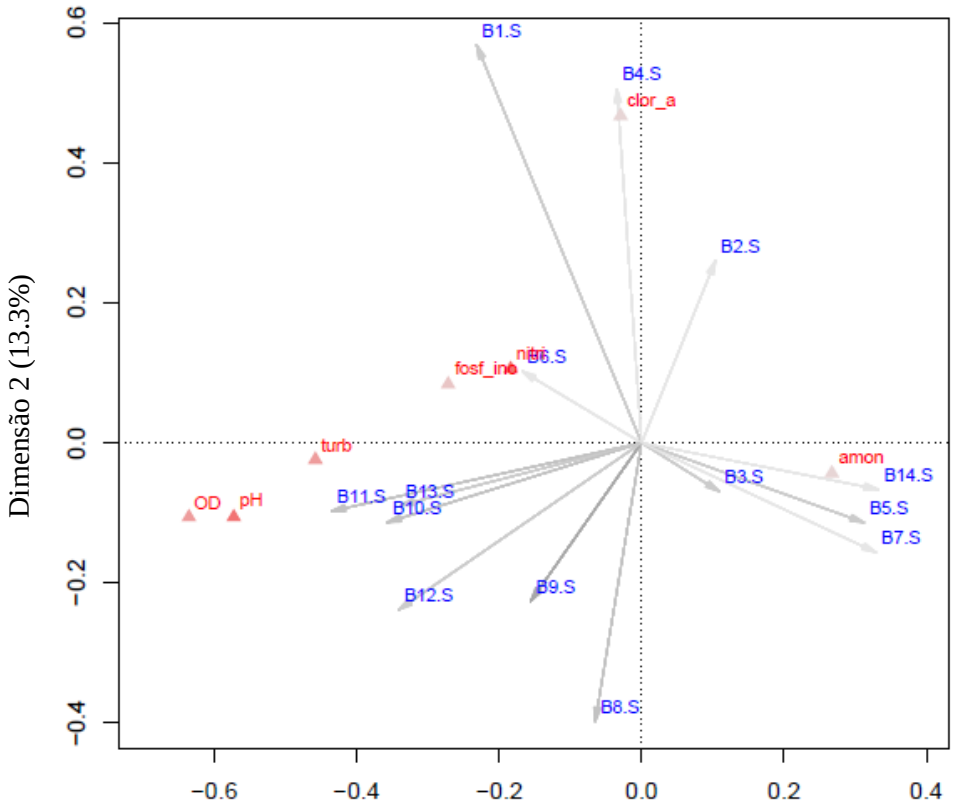
Fonte: A Autora, 2019.

4.4.1.4 Análise de correspondência da Área B

Na segunda área, onde estão presentes 3 (três) pisciculturas, não houve uma ordenação direcionada para agrupar os pontos dos centros das pisciculturas. Semelhante à área A, o eixo 1 apresentou percentual de explicação em 83% da variância total e o mesmo contraste entre as variáveis OD, pH e turbidez em detrimento ao nitrogênio amoniacal. O nitrogênio amoniacal foi a variável explicativa na ordenação dos pontos B2.S e B5.S (pisciculturas), B3.S (baía a montante) e dois pontos afastados da margem do reservatório (B7.S e B14.S) (Figura 62).

No terceiro quadrante observa-se grande correlação entre os pontos B10.S, B11.S e B13.S, ordenados pelas variáveis explicativas OD e pH, conforme Figura 62. Todos os quatro pontos situam-se mais distantes a jusante das pisciculturas, indicando baixa influência da carga das pisciculturas. O eixo 2 apresenta percentual de explicação em 13,3% da variação total, ordenando o ponto B6.S pelas variáveis explicativas fosfato inorgânica e nitrito, e B4.S pela clorofila-*a*, ambos são pontos situados entre duas pisciculturas (Figura 62).

Figura 62 - Ordenação Biplot pela ACC das unidades amostrais (variáveis abióticas e pontos de amostragem na área B), no período de janeiro a dezembro de 2017, no reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

Diante do que foi apresentado, é possível verificar que houve alterações pontuais nos parâmetros físico-químicos analisados nos pontos centrais das pisciculturas, que se estendem para as demais áreas, principalmente a montante dos tanques e em alguns casos nas baías, onde o fluxo reduzido intensifica o acúmulo de material orgânica e nutrientes de forma geral.

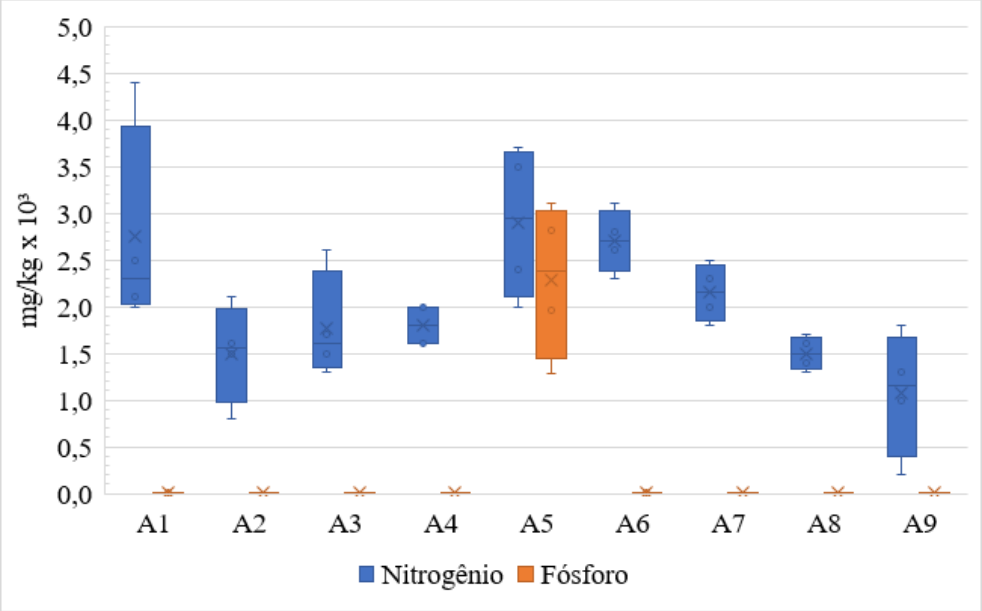
O fósforo total é o parâmetro que apresentou, em todos os pontos monitorados valores acima do recomendado pela resolução CONAMA 357/2005, e devido a esta uniformização de altas concentração, não foi observada diferença significativa entre os pontos de amostragem, ficando então a parte da análise ACC. Visto que os valores de fósforo foram elevados inclusive nos pontos iniciais das áreas, a montante das pisciculturas, pode-se inferir o aporte do fósforo oriundo de outras atividades antrópicas, desde o lançamento de efluente sem tratamento, até o elevado volume de agroquímicos utilizados nos perímetros de irrigação no entorno e em trechos a montante do reservatório Itaparica.

Em águas destinadas à atividade de piscicultura, a grande adição de ração e as excreções metabólicas dos peixes são responsáveis pelo acréscimo de compostos como fósforo e nitrogênio na água (MOURA et al., 2014), e portanto, o monitoramento é fundamental para entender os efeitos da hidrodinâmica na qualidade da água e orientar boas práticas de manejo desta atividade.

4.4.2 Concentração de nutrientes no sedimento do reservatório

Foram obtidos valores elevados da concentração do fósforo no sedimento, nos pontos inseridos sob os tanques-rede das pisciculturas, correspondendo aos pontos A5 (Figura 63) e B2, B5 e B8 (Figura 64), juntamente com o ponto B6, que não possui uma piscicultura, mas está localizado entre duas pisciculturas, apresentando grande influência de montante para jusante.

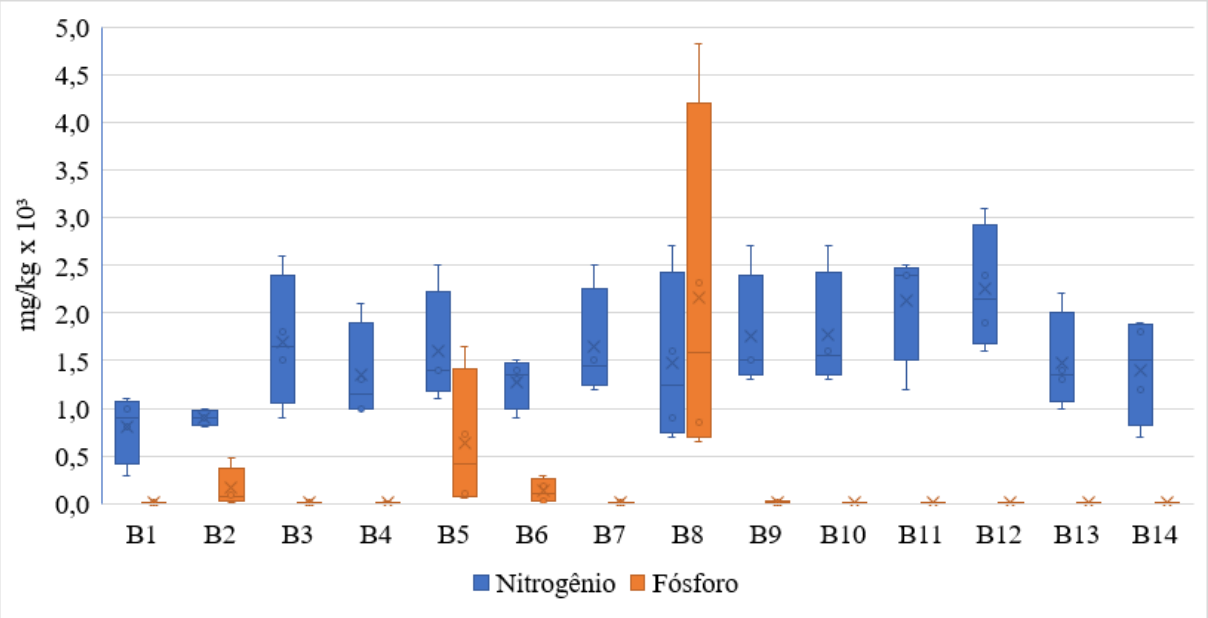
Figura 63 - Concentração de fósforo e nitrogênio registrados nas análises de sedimento durante todo o período de estudo na área A, no reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

Na área A, na piscicultura localizada no ponto A5, a concentração do fósforo variou de 1,3 a 3,1 mg/kg x 10^3 e o nitrogênio entre 2,0 e 3,7 mg/kg x $10^{3,}$ conforme Figura 63. A concentração média do nitrogênio nos demais pontos, apresenta uma redução a medida que os pontos vão se distanciando da piscicultura, tanto no trecho a montante quando a jusante, com exceção do ponto A1, localizado em uma baía.

Figura 64 - Concentração de fósforo e nitrogênio registrados nas análises de sedimento durante todo o período de estudo na área B, no reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

Embora não haja limites estabelecidos para o monitoramento de nutrientes no sedimento, a resolução CONAMA 454/2012 que estabelece diretrizes gerais e procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional, chama atenção para o valor alerta, orientador para nutrientes, acima do qual há possibilidade de ocorrer prejuízo ao ambiente na área de disposição em corpo de água. Esta resolução determinando como valor alerta para o fósforo total e o nitrogênio total, 2,0 e 4,8 mg/kg x 10^3, respectivamente. Considerando estes parâmetros, tanto a área A como B, apenas o fósforo seria fator de alerta, apesar dos altos valores de nitrogênio total estarem presentes ao longo de toda a área estudada.

Na área B, o ponto mais crítico é o B8, onde foi registrada concentração máxima de fósforo de 4,8 mg/kg x 10^3, possivelmente pela disposição da piscicultura B8, a jusante de outras duas (B2 e B5), reforçando a capacidade de deposição destes nutrientes no sedimento (Figura 64). Os valores de fósforo observados nos pontos de amostragem no centro das pisciculturas indicam uma sedimentação contínua sob os tanques-rede, tendo em vista que o uso excessivo de ração associado à baixa eficiência da hidrodinâmica nas áreas rasas marginais intensifica esse processo.

4.4.3 Comunidade fitoplanctônica

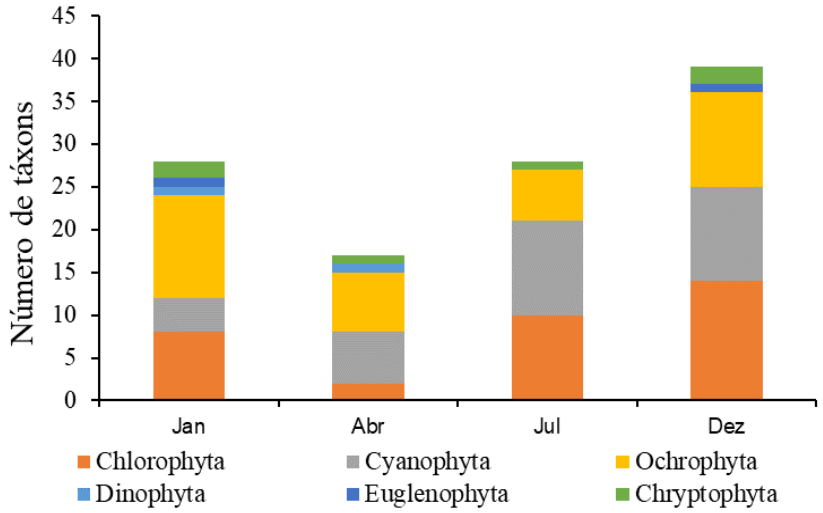
Foram identificados 52 táxons infragenéricos, distribuídos entre as divisões Chlorophyta (21), Cyanophyta (13), Ochrophyta (13), Euglenophyta (2), Chryptophyta (2) e Dinophyta (1). Essa distribuição da riqueza fitoplanctônica, com predomínio de clorofíceas, vem sendo observada em outros estudos em regiões semiáridas (COSTA et al., 2009; CARDOSO et al., 2017). A importância dessa divisão em ambientes aquáticos tropicais, sobretudo em ambientes lacustres, tem sido relatada em vários estudos (SILVA et al., 2011; CARDOSO et al., 2017).

Em janeiro e abril de 2017, Ochrophyta foi a divisão mais representativa, com 12 e 07 táxons, respectivamente. Em julho/2017, Cyanophyta apresentou maior riqueza, com 11 táxons, sendo substituída em dezembro/2017 por Chlorophyta, com 14 táxons (Figura 65). A riqueza de Chlorophyta e Cyanophyta em reservatórios na região semiárida pode ser explicada pelas condições ambientais, enquanto as cianobactérias são favorecidas por estiagem prolongada, elevado tempo de residência da água, alta evaporação, altos níveis de nutrientes favorecendo a eutrofização dos reservatórios, pelo uso de fertilizantes e das práticas de aquicultura em reservatórios (COSTA et al., 2009).

Ao longo dos meses de amostragem, a riqueza foi menor nos meses considerados chuvosos, abril (17 táxons) e julho (28 táxons), e mais elevado nos meses secos, janeiro (28 táxons) e dezembro (39 táxons). Dentre os táxons identificados, apenas dois foram classificados como Frequentes: a cianobactéria *Microcystis aeruginosa* e a diatomácea *Aulacoseira granulata*. Esta foi dominante em janeiro (66,9%), sendo substituída por *M. aeruginosa* em abril (61,5 %) e julho (51,7 %) e, finalmente substituída pela cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* (56,9 %).

Os resultados demonstram semelhança com outros trabalhos realizados no reservatório Itaparica, onde *C. raciborskii* e *A. granulata*, junto a outras três espécies foram consideradas as mais frequentes em diagnóstico da composição fitoplanctônica, sendo identificadas um total de 110 espécies por Aragão-Tavares et al. (2015). Ainda segundo os autores, *C. raciborskii* é amplamente estudado devido seu potencial para produzir toxinas que são prejudiciais para os seres humanos e outros animais, sendo observada em ambientes eutróficos com alta temperatura e baixa relação N/P (BRIAND et al., 2002; GUNKEL et al., 2018).

Figura 65 - Número de táxons do fitoplâncton observados por Divisão, em cada de coleta no reservatório Itaparica

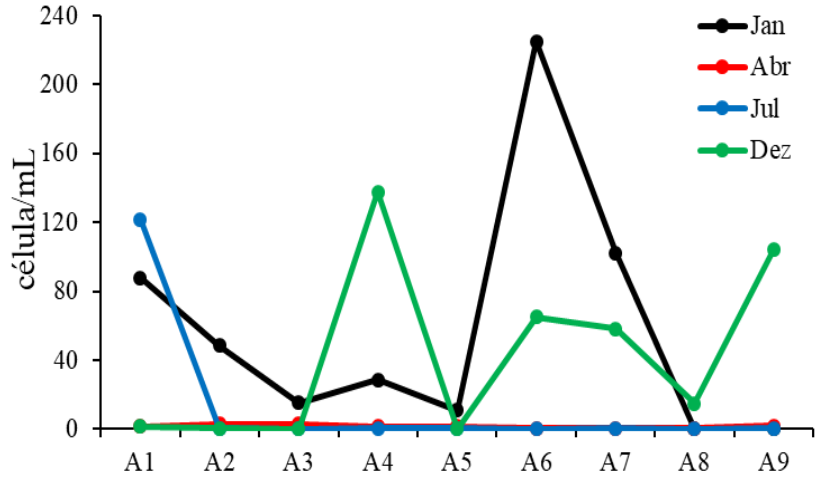


Fonte: A Autora, 2019.

A densidade total do fitoplâncton por ponto de coleta nas duas áreas de monitoramento não apresentou correlação evidente com os pontos de maior influência das pisciculturas (centro e a jusante). No entanto, maiores densidades foram registradas nos meses de estiagem, correspondendo a janeiro e dezembro de 2017, evidenciando uma variação sazonal ao longo do período de estudo.

No mês de julho, tanto na área A quanto B, a densidade planctônica na superfície foi nula, exceto nos pontos localizados a montante (ponto A1) e no interior de uma baía (ponto B3), onde foi registrada densidade total de 122 e 43 células/ml, respectivamente (Figura 66 e Figura 67).

Figura 66 - Densidade total do fitoplâncton na área A, nos quatro meses de coleta realizados no reservatório Itaparica

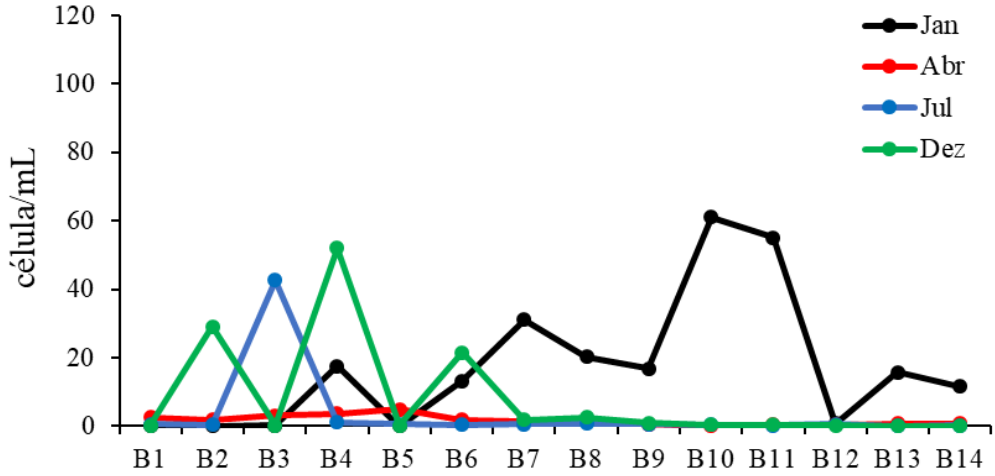


Fonte: A Autora, 2019.

Na análise de correção entre os pontos de amostragem e os parâmetros apresentados anteriormente, foi observado que o ponto B4 foi influenciado pela Clorofila-*a*, pressupondo que neste ponto poderia haver relação com a biomassa do fitoplâncton. No entanto, é possivel observar que apenas nos meses de estiagem (janeiro e dezembro) as densidades foram maiores, com 58 células/mL em dezembro/2017 (Figura 67).

A presença de algumas espécies em altas densidades pode comprometer a qualidade das águas, causando restrições ao seu tratamento e distribuição. Atenção especial é dada às Cianobactérias (Cianofíceas), que possuem espécies potencialmente tóxicas. A ocorrência desses organismos tem sido relacionada a eventos de mortandade de animais e com danos à saúde humana (CARDOSO et al., 2017).

Figura 67 - Densidade total do fitoplâncton na área B, nos quatro meses de coleta realizados no reservatório Itaparica



Fonte: A Autora, 2019.

O mês de Janeiro/2017 apresentou as maiores densidades observadas nas duas áreas, 230 e 64 células/ml na área A e B, respectivamente. Apesar das espécies mais representativas observadas terem efeitos adversos na qualidade da água e no abastecimento humano, as densidades observadas foram muito baixas. Em reservatórios utilizados para abastecimento público, é exigido o monitoramento mensal para aqueles com densidades superiores a 10.000 células/ml, e semanal, em que a densidade ultrapassa 20.000 células/ml (CARDOSO et al., 2017).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento da tese *"Avaliação do aporte de nutrientes provenientes da piscicultura na qualidade da água diante de cenários de redução de vazão em reservatório do semiárido"* tendo como estudo de caso o reservatório Itaparica localizado no trecho submédio da bacia do rio São Francisco comprovou a hipótese apresentada, apontando aspectos importantes para garantir os múltiplos usos da água, particularmente diante dos cenários de eventos climáticos extremos previstos para a região semiárida do nordeste brasileiro.

5.1 CONCLUSÕES

Os dados obtidos podem contribuir com os órgãos que atuam na gestão ambiental da atividade, por meio da limitação dos tanques-rede nos reservatórios da bacia hidrográfica do rio São Francisco, considerando cenários pessimistas, de acordo com a capacidade de suporte dos reservatórios. Observa-se no contexto das mudanças climáticas uma alternativa de aplicação de licença ambiental e outorga flexível, considerando a espacialização dos empreendimentos no reservatório, e observada a necessidade em estimular melhores práticas de manejo.

Os dados obtidos acerca dos empreendimentos regularizados, apontam a necessidade de maior atuação dos órgãos públicos e de fiscalização para controle e compilação dos empreendimentos em atividade. Apesar da grande contribuição da produção de pescado para o desenvolvimento socioeconômico da região, em torno de 29.374 ton de peixes no ano de 2018, corresponde à carga de fósforo no reservatório de cerca de 359 kg/dia e consequentemente 131 ton/ano. Esse entendimento é importante, uma vez que, as ações no submédio São Francisco refletem para os demais reservatórios em cascata.

A produção outorgada pela Agência Nacional de Águas até outubro/2018 permitiria uma produção ainda maior, ou seja, um aporte maior de fósforo para o reservatório Itaparica, estimada uma carga de 437 kg/dia. Entretanto, as condições ambientais e hidrodinâmicas do reservatório não tem sido satisfatória para algumas pisciculturas em operação, obtendo perdas na produção. Neste contexto, a previsão e expansão da produção não vêm ocorrendo como anteriormente previsto nas outorgas concedidas.

As condições hidrológicas do reservatório têm sido impactadas em decorrência do longo período de estiagem, que desencadeou a redução do volume de água armazenado e da vazão afluente mínima do reservatório de Sobradinho, operando desde julho 2017 com vazão média diária de 550 m³/s. O período de 2013 a 2018 foi crítico para o rio São Francisco, com sérias implicações na redução da geração de energia, tendo induzido o setor elétrico a investir em energias renováveis, como eólica e solar.

Os resultados obtidos pelo traçador da concentração do fósforo na simulação, demonstrou uma ferramenta importante, mas que em estudos futuros pode ser otimizado, incluindo um número maior de pisciculturas e diferentes trechos do reservatório, contribuindo ainda mais para a avaliação da capacidade suporte do reservatório Itaparica. Os resultados obtidos contribuem com a revisão do método de cálculo da capacidade de suporte considerando a vazão atual, diferentes cenários e regionalização das áreas produtivas para a gestão ambiental da atividade.

Os pontos monitorados nas áreas das pisciculturas, reforçam a contribuição da atividade na alteração da qualidade da água, bem como a deposição de nutrientes no sedimento. Elevadas concentrações de fósforo, tanto obtidas na simulação como nas coletas em campo, contribuíram para ultrapassar os valores estabelecidos na resolução CONAMA 357/2005 para corpos hídricos de Classe 2. Concentrações elevadas incluindo os pontos analisados à montantes das pisciculturas, indicação outras fontes de poluição, conforme a caracterização da região, que apresenta diversos perímetros irrigados e ausência de tratamento de esgotos nas cidades.

Os valores obtidos da concentração de nitrogênio amoniacal, fósforo total, clorofila-a, oxigênio dissolvido e pH, excederam os limites da resolução CONAMA 357/2005, resultante do uso excessivo de ração e do baixo fluxo da água nas áreas rasas marginais do reservatório. Os parâmetros refletiram diretamente no valor de oxigênio dissolvido, promovendo condições anóxicas pontuais nos centros das pisciculturas, sendo o oxigênio dissolvido uma variável de correlação negativa com os nutrientes, principalmente fosfato inorgânico e nitrito, além da temperatura, principalmente no período de estiagem. Bem como na composição do fitoplâncton, que apesar da baixa densidade, apresentou alta frequência de cianobactérias, como, *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii.*

A organização e compilação dos dados gerados pelo projeto possibilitaram o desenvolvimento de um mapeamento interativo (*webmap*) contendo informações detalhadas sobre as 45 pisciculturas em funcionamento até 2018 no reservatório Itaparica em termos de: localização, regularização ambiental, volume útil, produção, quantidade de ração e carga de fósforo. O acesso e atualização deste sistema poderá ser realizado por meio de: https://qgiscloud.com/tesewebmap/PisciculturaWebMap/?bl=mapnik&st=&l=Pisciculturas&t=PisciculturaWebMap&e=-4349020%2C-1026352%2C-4230062%2C-969137. Ressalta-se que a aplicação do *webmap*, através de um software livre de forma gratuita e amigável, revelou-se como um produto técnico que possibilita acessibilidade e disponibilidade de informações a todos os atores interessados.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Para que seja possível estabelecer de maneira adequada um processo de gestão ambiental da atividade de piscicultura, é necessário que se ponha em prática uma rede de monitoramento, considerando as variáveis-chave e o aporte de nutrientes na água e no sedimento, de forma a caracterizar os riscos e as incertezas envolvidas no processo de outorga e de qualidade de água em cenários críticos de vazão.

Devem ser avaliadas estratégias para controle do aporte de fósforo, incluindo o controle do lançamento dos efluentes de esgoto sanitário das áreas urbanas, bem como a carga oriunda dos perímetros irrigados localizados a montante e no entorno do reservatório Itaparica.

O fortalecimento do monitoramento sistemático junto ao processo de regularização territorial das pisciculturas é fundamental para que se promova as boas práticas de manejo e as ações de mitigação dos polos de pisciculturas em situações de vazão reduzida e baixos nível de água nos reservatórios.

No sentido de evitar perda de produção do estoque por conta de degradação da qualidade da água do reservatório, recomenda-se às empresas de pisciculturas de maior porte que realizem estudo de batimetria e correntes na área de abrangência do empreendimento, de forma a situar os tanques-rede em área de boa circulação e profundidade mínima de 10 metros abaixo dos tanques. Se faz necessário ainda a rotatividade de localização dos tanques, de forma a reduzir a carga de fósforo no sedimento abaixo dos tanques.

Além das recomendações mencionadas anteriormente, registra-se algumas propostas apresentadas para boas práticas de manejo da piscicultura indicadas pela Embrapa (2016) que visam a minimizar problemas enfrentados pelas pisciculturas em tanque-rede, tais como:

- Confecção de tanques-redes com materiais resistentes, proporcionando maior segurança ao cultivo e evitando a fuga dos indivíduos para o ambiente natural, aconselhando-se a cobertura dos tanques com telas leves e de baixo custo;
- Avaliação das densidades de estocagem dos animais, previstas segundo o enquadramento do órgão ambiental responsável pelo licenciamento;
- Redução da carga orgânica, utilizando ração peletizada e estrusada de alta qualidade que contenha concentrações adequadas de nutrientes, sem excesso de nitrogênio e fósforo; para engorda de tilápia usar rações que contenham de 28-32% de proteína bruta, 4,5-5,1% de nitrogênio e 0,75-1,0% de fósforo;
- Redução da carga orgânica por meio da produção de alevinos maiores (alevinão), o que diminui o tempo de permanência no tanque-rede e a oferta de ração/nutrientes lançados ao ambiente. O manejo pode ser ainda associado a sistemas de biorremediação, que auxiliam na retirada de nutrientes no sistema aquático;
- Monitoramento mensal da qualidade da água. E, mais frequentemente, aferir a temperatura da água dos reservatórios; selecionar quais variáveis de qualidade da água estão afetando o consumo de ração, pois parâmetros como temperatura e pH podem modificar a alimentação do pescado, reduzir o apetite e aumentar o percentual de amônia não ionizada na água;
- Controle da quantidade de ração oferecida aos peixes, observando se há acúmulo de ração na superfície da água dos tanques-rede e, constantemente, da concentração de oxigênio dissolvido;
- Redução no uso de embarcações motorizadas nas proximidades da área do cultivo, a fim de prevenir a contaminação do produto com hidrocarbonetos oriundos dos combustíveis e óleos de motores;
- Outras medidas no entorno dos reservatórios podem auxiliar na redução da entrada de carga: controlar a erosão e aporte de sedimentos; proteger a mata ciliar; construir terraços ou valetas para desviar o excesso de escoamento superficial; construir um reservatório adicional ou uma área de inundação para aumentar a capacidade de armazenamento da água nas áreas de drenagem à montante; evitar a criação de gado e outros animais às margens dos reservatórios;

Para aprofundamento e continuidade desta pesquisa, propõe-se futuros estudos de avaliação da capacidade de suporte do reservatório antes da implantação ou ampliação das pisciculturas, considerando diferentes vazões afluentes em função dos eventos climáticos extremos de cheias e estiagem, tanto no reservatório Itaparica, como em outros reservatórios.

Recomenda-se também o fortalecimento das instituições de planejamento, monitoramento e controle ambiental nos diversos níveis (ANA, CRPH, Secretarias Municipais de Meio Ambiente), juntamente com associações e cooperativas de piscicultores, bem como o Comitê de bacia do rio São Francisco, na busca de alternativas locais e acompanhamento da regularização e gestão desta importante atividade econômica.

Recomenda-se negociação com as prefeituras da região para atualização dos dados do *webmap* e divulgação dos mesmos pelos órgãos e usuários no processo de monitoramento e regularização das pisciculturas, evitando esforços e gastos duplicados e cumprindo com a finalidade de planejamento e gestão sustentável da piscicultura em reservatórios do semiárido.

De forma geral, a atividade da piscicultura apresenta diversos desafios, que vão desde as condições ideais do corpo hídricos, que subsidiam a qualidade necessária para promover a continuidade e o desenvolvimento da atividade, a gestão ambiental pública nas diversas escalas, incluindo a minimização das fontes difusas do aporte do fósforo no entorno no reservatório, bem como, investimentos na melhoria técnica e tecnológica do manejo da atividade, atrelado este, principalmente ao monitoramento da qualidade da água.

O desenvolvimento da piscicultura no Brasil além de promover seus aspectos positivos da geração de emprego, renda e introdução do país dentre os grandes produtores mundiais de pescado, deve também garantir a segurança hídrica e alimentar à população, considerando os serviços ecossistêmicos essenciais às demais atividades desenvolvidas nos corpos hídricos, a exemplo da pesca artesanal.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO CULTURAL E EDUCACIONAL BRASIL. **1º Anuário brasileiro da pesca e da aquicultura**. Brasília: ACEB, 2014. 136 p. Disponível em: http://formsus.datasus.gov.br/novoimgarq/16061/2489520_218117.pdf. Acesso em: 15 jun. 2017.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. cap. 3. p. 39-97. Disponível em: http://ftp.nupelia.uem.br/users/agostinhoaa/publications/178-Ecologia_e_Manejo_de_Recursos_Pesqueiros_em_Reservatorios.pdf. Acesso em: 15 jun. 2017.

ALVES, R. C. P.; BACCARIN, A. E. Efeito da produção de peixes em tanques-rede sobre sedimentação de material em suspensão e de nutrientes no córrego do Arribada (UHE Nova Avanhandava, Baixo Rio Tietê, SP). *In*: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A. **Ecologia de reservatórios**: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. São Carlos: Rima. 2005. p. 329-347.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos.** Brasília: ANA, 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington, DC,: APHA; AWWA; WEF, 2005.

ARAGÃO-TAVARES, N. K. C.; SEVERIANO, J. S.; MOURA, A. N. Phytoplankton composition of the Itaparica and Xingó reservoirs, São Francisco River, Brazil. **Brazilian Journal of Biology.** v.75, n. 3, p. 616-627. 2015.

ARANTES, F. P.; SANTOS, H. B.; RIZZO, E.; SATO, Y.; BAZZOLI N. Collapse of the reproductive process of two migratory fish (*Prochilodus argenteus* and *Prochilodus costatus*) in the Três Marias Reservoir, São Francisco River, Brazil. **J. Appl. Ichthyol**. v. 27, p. 847–853. 2011.

ARRUDA, N. O. **Controle do aporte de fósforo no reservatório de Itaparica localizado no semiárido nordestino**. 2015. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. 187f.

AUGUIE, B. **GridExtra:** miscellaneous functions for "grid" graphics: R package version 2.3. 2017. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=gridExtra. Acesso em: 15 jun. 2019.

AURELIANO, J.; LACERDA, A.; FALCÃO, D.; MARINHO, L. H.; BRITO, J. Levantamento dos sistemas de tanque-rede nos reservatórios da CHESF, em Pernambuco. *In*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, 2007, São Paulo. **Anais […]**. São Paulo: ABRH: SBRH, 2007. CD-ROM.

BAKKER, E. S.; HILT, S. Impact of water-level fluctuations on cyanobacterial blooms: options for management. **Aquat. Ecol.** n. 50, p. 1-14. 2015. doi:10.1007/s10452-015-9556-x.

BARROSO, R. M.; ANDRÉS, M. P. **A tilápia e o desenvolvimento do sertão de Itaparica-PE:** análise econômica para investimentos de desenvolvimento na região. (Documentos 4) 1. ed. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014. 44 p.

BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P. Modelos matemáticos para avaliação do índice de qualidade de água: uma revisão. **Acta geográfica**. v. 11, n. 25. 2017.

BERKES, F.; MAHON, R.; MCCONNEY, P.; POLLNAC, R.; POMEROY, R.; KALIKOSKI, D.C. (Org.). **Gestão da pesca de pequena escala:** diretrizes e métodos alternativos. Rio Grande: Furg, 2006. 360 p.

BONCOMPAGNI-JÚNIOR, O.; NORMANDO, F. T.; BRITO, M. F. G.; BAZZOLI, N. Reproductive biology of *Prochilodus argenteus* Agassiz, 1829 (Pisces: Prochilodontidae) in São Francisco River, Brazil. **Journal of. Appl. Ichthyol.** v. 29, p. 132–138. 2013.

BOUGEARD S.; DRAY S. Supervised Multiblock Analysis in R with the ade4 Package. **Journal of Statistical Software**, v. 86, n. 1, p. 1-17. 2018. doi: 10.18637/jss.v086.i01 Disponível em: https://doi.org/10.18637/jss.v086.i01. Acesso em: 02 Jan. 2019

BRAGA, C. F. C. **Modelagem de preferências e consenso na gestão de recursos hídricos.** 2008. Tese (Doutorado) – Programa Institucional de Doutorado Temático em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2008.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Coletânea de legislação de direito ambiental. 6 ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2007.

BRASIL. **Decreto nº 4.854, de 8 de outubro de 2003**. Dispõe sobre a composição, estruturação, competências e funcionamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável - CONDRAF, e dá outras providências. Brasília, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa MMA/SEAP nº 07, de 28 de abril de 2005**. Dispões sobre diretrizes para implantação dos parques e áreas aquícolas. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/aquiculturapesca/arquivos/InstruoNormativaInterministerialn07de28.4.2005.pdf. Acesso em: 3 ago. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459. Acesso em: 3 ago. 2015.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. Portaria IBAMA nº 50, de 5 de novembro de 2007**. Dispõe sobre as normas de pesca para o período de proteção à reprodução natural dos peixes, na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2007/p_ibama_50_2007_normasperiodoreproducaopeixes_revoga_p_48_2005.pdf. Acesso em 3 ago. 2015.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Portaria nº 18, de 11 de junho de 2008**. Dispõe sobre normas e padrões para a gestão do uso

sustentável dos recursos pesqueiros. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/documentos-recursos-pesqueiros/legislacao. Acesso em: 3 ago. 2015.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.959, de 29 de junho de 2009**. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca. 2009. Disponível em: http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/817808/lei-11959-09. Acesso em: 3 ago. 2015.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Resolução nº. 833, de 05 de dezembro de 2011.** Estabelece as condições gerais para os atos de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União. Disponível em: http:// arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2011/833-2011.pdf. Acesso em: 10 abr. 2012.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura**. MPA, 2011. Disponível em: http://www.pescamadora.com.br/2013/09/ministerio-da-pesca-divulga-censo-aquicola-2012/. Acesso em: 05 ago. 2016.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim do registro geral da atividade pesqueiro.** MPA, 2012 Disponível em: http://www.pescamadora.com.br/2/ministerio- da-pesca-divulga-censo-aquicola-2012/. Acesso em: 05 ago./2015.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Governo Federal amplia semiárido para apoiar mais municípios que sofrem com seca**. 2017. Disponível em: http://mi.gov.br/web/guest/ultimas-noticias/-/asset_publisher/ZSVIyvx09vib/content/ governo-federal-amplia-semiarido-brasileiro-para-apoiar-mais-municipios-que-sofrem-com-se-1?. Acesso em: 30 jul. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 454 de 01 de novembro de 2012.** Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693. Acesso em: 2 mai. 2017.

BRASIL, J.; ATTAYDE, J. L.; VASCONCELOS, F. R.; DANTAS, D. D. F.; HUSZAR, V. L. M. Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. **Hydrobiologia.** v. 770, p. 145–164, 2016. doi:10.1007/s10750-015-2578-5.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Instrução Normativa Nº 17, de 11 de agosto de 2014**. 2017. Disponível em: http://www.lex.com.br/legis_25830625_I.aspx. Acesso em: 19 dez. 2017.

BRIAND, J. F.; ROBILLOT, C.; QUIBLIER-LLOBÉRAS, C.; HUMBERT, J. F.; COUTÉ, A.; BERNARD, C. Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. **Water Research**, v. 36, n. 13, p. 3183-3192. 2002. doi: 10.1016/S0043-1354(02)00016-7.

BRITTON, J. R.; ORSI, M.L. Non-native fish in aquaculture and sport fishing in Brazil: economic benefits versus risks to fish diversity in the upper River Paraná Basin. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, Online First, v. 22, n. 3, pp 555–565, 2012. doi:10.1007/s11160-012-9254-x

BROECKER, T.; ÖZGEN, I.; MATTA, E.; CABRAL, J.; CANDEIAS, A. L.; HINKELMANN, R. Simulation of flow and transport processes in a Brazilian reservoir. *In*:

INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROSCIENCE & ENGINEERING, 11., 2014, Hamburg. **Proceedings […]**. Hamburg: ICHE, 2014. p. 151-158.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A.; LLOYD, C. **Principles of Geographical Information Systems**. 3. ed. New York: Oxford University Press, 2105. p. 171-200.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a Ciência da geoinformação.** São José dos Campos, SP: INPE, 2001. p. 57. (INPE-10506-RPQ/249).

CAMINO, V. R.; MÜLLER, S. **Sostenibilidad de La agricultura y los recursos naturales:** bases para estabelecer indicadores. San José: IICA, 1993. n. 38, 134p.

CARDOSO, S. V.; MARWELL, D. T. B.; SOBRAL, M. C; MELO, G. L.; CASÉ, M. C. C. Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro. **Eng. Sanit. Ambient**. Rio de Janeiro, v. 22 n. 2. 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016146707. Acesso em: 08 jul. 2019.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limmol. Oceanogr**, v. 22, p. 361-80, 1977.

CARVALHO, R.. M. C. M. de O. **Avaliação dos perímetros de irrigação na perspectiva da sustentabilidade da agricultura familiar no semiárido pernambucano**. 2009. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2009. 251f

CASSINI, P. S. **Aplicação do modelo EPA aquatox à Baía de Vitória (ES).** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2011. 123 f.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025**. Salvador: CBHSF, 2016. 327p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Determinação de clorofila *a* e feofitina *a***: método espectrofotométrico. São Paulo, CETESB, 2014a. 14p. (Cadernos da Norma técnica L5.306).

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas superficiais.** São Paulo, CETESB, 2014b, 46p. (Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade).

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. **Sistema de geração**. Recife: CHESF, 2015. Disponível em: http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf_portal/paginas/sistema_chesf/sistema_chesf_geracao/conteiner_geracao?p_name=8A2EEABD3BE1D002E0430A803301D002. Acesso em: 25 ago. 2015.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. **Relatório de apresentação**. Brasília: CODEVASF, 2017. Disponível em: https://www.codevasf.gov.br/acesso-a-informacao/governanca/relatorio-de-apresentacao-institucional/arquivos/relatorio-de-apresentacao_2017-07.pdf. Acesso em: 08 jul. 2019.

COSTA, I. A. S.; CUNHA, S. R. S.; PANOSSO, R.; ARAÚJO, M. F. F.; MELO, J. L. S.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte. O**ecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 2, p. 382-401. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Dimensão socioeconômica da tilapicultura no Brasil**. Renata Melon Barroso et al., Brasília, DF: EMBRAPA PESCA E AQUICULTURA, 2018. 110 p. ISBN 978 -85-7035-773-1.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Discussão sobre a regularização da piscicultura brasileira:** da produção à comercialização. Renata Melon Barroso et al. (ed.). Palmas,TO: EMBRAPA PESCA E AQUICULTURA, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Editor Técnico Fábio Cesar da Silva . Brasília-DF: EMBRAPA, 2009. 627 p. ISBN 978-85-7383-430-7.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The State of World Fisheries and Aquaculture. **Contributing to food security and nutrition for all**. Roma, IT: FAO, 2016. Disponível em: http://www.fao.org/3/a-i5798e.pdf. Acesso em: 12 dez. 2018

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The State of World Fisheries and Aquaculture. **Meeting the sustainable development goals**. Rome, IT: FAO, 2018. Disponível em: https://www.fao.org/3/i9540en/I9540EN.pdf. Acesso em: 12 dez. 2018.

FERREIRA JÚNIOR, M. G. **Uso de modelagem na avaliação da capacidade de suporte de reservatórios com projetos de aquicultura, tendo o fósforo como fator limitante**. 2011. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

FERREIRA JÚNIOR, M. G.; VALLADÃO, A. L. R.; GUIMARÃES, L. G. S. Uso de modelagem computacional na avaliação da capacidade de suporte de reservatórios com projetos de aquicultura. *In*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves-RS. **Anais […]**. Rio Grande do Sul: ABRH; SBRH, 2013. p. 13.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2011. 826 p.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 144p

FRAGA, A. P. C; HUGO, D. R. L; PRYSTHON, A.; DAPPER, C. G. **Monitoramento participativo da atividade pesqueira na área de influência dos blocos BM-CAL-04 e BAS-97, no litoral do Baixo-Sul da Bahia.** *In*: RIO OIL & GAS EXPO AND CONFERENCE, 8., 2008, Rio de Janeiro-RJ. **Proceedings […]**. Rio de Janeiro, 2008. v. 1. 78p.

FRANK, E.; HARRELL, JR. **Hmisc:** harrell miscellaneous**.** R package version 4.2-0. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc. Acesso em: 30 jul. 2019.

GANEM, R. S. **Conservação da biodiversidade legislação e políticas públicas.** 2011. Disponível em: http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/images/conservacao.pdf. Acesso em: 30 jul. 2016.

GASTALDINI, M. do C. C.; PAZ, M. F.; KRAEMER, M. C. N.; PAIVA, E. M. C. D. de; PAIVA, J. B. D. Modelagem matemática da qualidade das águas do reservatório do Arroio Vacacaí-Mirim**.** *In:* CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENÍERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, CANCÚN. **Proceedings** […]. Cancún-MEX, 2002.

GASTALHO, S.; SILVA, G.J. da; RAMOS, F. Uso de antibióticos em aquacultura e resistência bacteriana: impacto em saúde pública. **Acta Farmacêutica Portuguesa**, v. 3, n.1, p.29-45, 2014.

GUNKEL, G.; SOBRAL, M. C. Re-oligotrophication as a challenge for tropical reservoir management with reference to Itaparica Reservoir, Sao Francisco, Brazil. **Water Science and Technology** . v. 67, n. 4, p. 708-714. 2013.

GUNKEL, G.; MATTA, E.; SELGE, F.; SILVA, G. M. N.; SOBRAL, M. C. Carrying capacity limits of net cage aquaculture for Brazilian reservoirs. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 36. p. 128-144. 2015.

GUNKEL, G.; SELGE, F.; KEITEL, J.; LIMA, D.; CALADO, S.; SOBRAL, M.; RODRIGUEZ, M.; MATTA, E.; HINKELMANN, R.; CASPER, P.; HUPFER, M. Water management and aquatic ecosystem services of a tropical reservoir (Itaparica, São Francisco, Brazil). **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 7, p. 1913-1925, 2018.

HERVOUET, J. M. **Hydrodynamics of free surface flows**: modelling with the finite element method**.** New Jersey: Wiley, 2007. 360 p.

HINKELMANN, R. **Efficient Numerical Methods and Information-Processing Techniques for Modeling Hydro- and Environmental Systems**. Heidelberg, DE: Springer-Verlag, 2005. v. 21, 306 p. ISBN 978-3-540-32379-2

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Espécies exóticas invasoras**. Brasília: IBAMA, 2019. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/especies-exoticas-invasoras/mexilhao-dourado Acesso em: 16 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades@. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang= Acesso em: 03 jan. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**: pesquisa da pecuária municipal. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940. Acesso em: 03 jun. 2019.

IGARASHI, M. A. **Piscicultura**. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar. Curitiba, PR: CREA, 2011. 41 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014**: impacts, adaptation and vulnerability, summary for policymakers. Genebra-SWI, IPCC: 2014. Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf. Acesso em: 01 set. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Evolução da piscicultura no Brasil:** diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia**.** Texto para discussão. Brasília-DF: IPEA, 2017. ISSN 1415-4765.

JOHANSSON, T.; NORDVARG, L. Empirical mass balance models calibrated for freshwater fish farm emissions. **Aquaculture,** v. 212, p.191-211, 2002.

JORGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, R. A. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos, princípios para o gerenciamento de lagos.** São Carlos: ILEC; IIE; UNEP, 2000. 184p.

JOURIEH, A. **Multi-dimensional numerical simulation of hydrodynamics and transport processes in surface water systems in Berlin**. 2015. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) - Technische Universität Berlin, Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt, 2015.

KALIKOSKI, D. C.; SEIXAS, C. S.; ALMUDI, T. Shared and community management of fisheries in Brazil: progress and challenges. **Ambiente Soc,** v.12, n.1, 2018. p.151-172. doi: 10.1590/S1414-753X2011000100003. 2009. Acesso em: 15 jun. 2018.

KARN, U.; JHA, S. **Functions to perform exploratory analysis with any dataframe**. R package version 0.2.2019. Disponível em: http://github.com/ujwlkarn/xda. Acesso em: 4 abr. 2019.

KOLAR, B.; ARNUS, L.; JERETIN, B; GUTMAHER, A.; DROBNE, D.; DURJAVA, M. K.; The toxic effect of oxytetracycline and trimethoprim in the aquatic environment. **Chemosphere**. v. 115, p. 75-80, 2014.

KROETZ, C. E. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao Dimensionamento e Estimativa de Custos de Aterros Sanitários em Trincheiras para Municípios de Pequeno Porte.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 174 f.

KUBITZA, F. Para onde segue a produção de tilápias no Brasil?. **Panorama da Aquicultura,** p. 14-25, 2010.

LEITE, M. A. **Análise do aporte, taxa de sedimentação e da concentração de metais na água, plâncton e sedimento do Reservatório de Salto Grande, Americana–SP**. 2002. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Estadual de São Paulo, São Carlos-SP, 2002. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-14032003-144635/pt-br.php. Acesso em: 4 nov. 2018. 175p.

LIMA, E. L. do R. **Qualidade da água e dos efluentes em viveiros de reprodução de *Astyanax lacustris* (Reinhardt, 1874) na estação de piscicultura de Paulo Afonso - BA.** 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010. 64p. Disponível em: http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/6290. Acesso em: 4 nov. 2018

LIMA, D. M. B. **The role of water level fluctuations in the promotion of phytoplankton and macrophyte pioneer species in a tropical reservoir in the Brazilian semiarid.** 2018. Thesis (Doktor der Naturwissenschaften) - Faculty of Process Sciences, Berlin University of Technology, Berlin, 2018. 133p. Disponível em: https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/7705/4/lima_debora.pdf. Acesso em: 4 abr. 2018.

LIZAMA, M. A. P.; TAKEMOTO, R. M.; RANZANI-PAIVA, M. J. T.; AYROZA, L. M. da S.; PAVANELLI, G. C.. Relação parasito-hospedeiro em peixes de pisciculturas da região de Assis, Estado de São Paulo, Brasil. 1. *Oreochromis niloticus (*Linnaeus, 1757). **Acta Scientiarum Biological Sciences**. v. 29, n. 2, p.223-231, 2007.

MAGALHÃES, A.; ALI B.; SALLA, M. R.; FILHO, J. E. A. **Manual do Usuário QUALI-TOOL:** uma ferramenta gráfica-interativa para simulação da qualidade da água em ambientes lóticos. Uberlandia: Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

MAHGOUB, M.; HINKELMANN, R. Three-dimensional non-hydrostatic simulation of gravity currents using TELEMAC-3D and comparison of results to experimental data Mohamed Mahgoub and Reinhard Hinkelmann Michele La Rocca. Prog**. Comput. Fluid Dyn**. v. 15, p 56-67, 2015.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, R. L.; MELO. C. R. D. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p 793-804, 2011.

MALLASEN, M.; CARMO, C. F.; TUCCI, A.; BARROS, H. P.; ROJAS, N. E. T.; FONSECA, F. S.; YAMASHITA, E. Y. Qualidade da água em sistema de piscicultura em tanques-rede no reservatório de Ilha Solteira, SP. **Boletim do instituto de pesca**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 15-30, 2012. Disponível em: https://www.pesca.sp.gov.br/38_1_15-30.pdf. Acesso em: 1 abr. 2016.

MARINHO FILHO, G. M.; ANDRADE, R. S.; ZUKOWSKI, J. C.; MAGALHÃES, L. L. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicações**. Revista de Ciências Ambientais**, v. 6 n. 2, p. 35-47, 2012. Disponível em: ttps://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/268. Acesso em: 1 jul. 2016.

MARISCO, N. **Gráficos vetoriais escaláveis (SVG) para disseminar mapas para web interativos e dinâmicos**. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26., 2014, Gramado, RS. **Anais […]**. Rio Grande do Sul: CBC, 2014. Disponível em: http://www.cartografia.org.br/cbc/anais.html. Acesso em: 1 jul. 2017.

MARQUES, E. A. T.; SOBRAL, M. C.; CUNHA, M. C. C.; MELO, M. G. S. Análise dos procedimentos de regularização ambiental da atividade aquícola em Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 36, 2015. ISSN eletrônico 2176-9478.

MASSUKADO, L. M. **Sistema de apoio à decisão: validação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2004. 230 f.

MATTA, E. **Simulation of wind-induced flow in Icó Mandantes Bay, Brazil.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) - Technische Universität Berlin and Politecnico Di Torino, Italy. 2013.

MATTA, E., KOCH, H., SELGE F.; SIMSHÄUSER, M. N.; ROSSITER, K.; NOGUEIRA DA SILVA, G. M.; GUNKEL, G.; HINKELMANN; R. 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,** 25 July 2018. Disponível em: doi 10.2166/wcc.2018.254. Acesso em: 25 jan. 2019.

MELO, G. L. **Estudo da qualidade da água do reservatório de Itaparica localizado na bacia do rio São Francisco.** 2007. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2007.

MELO JR, J. B. de.; CANDEIAS, A. L. B. SIG e sua interoperabilidade utilizando servidores de WEB. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia-GO, 2005. São Paulo: INPE, 2004. p. 2273-2280. Disponível em: http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.19 .57/doc/2273.pdf. Acesso em: 20 dez. 2018.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo:** métodos de análises. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.

MORAIS, M. M. ; SOBRAL, M. C.; SILVA, H.; MELO, G. L.; PEDRO, A.; CABRAL, J.; SARMENTO, P. Qualidade de água em reservatórios de regiões com escassez hídrica: Estudos de caso na região Mediterânica de Portugal e região semiárida do Brasil. *In:* GALVÃO, C. O.; CIRILO, J. A.; CABRAL, J.; AGRA DE MEDEIROS, M. G. **Recursos hídricos para a convivência com o semiárido**: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina. 1 ed., Porto Alegre: ABRH, v. 1, p. 301-330, 2011.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

MOURA, R. S. T.; LOPES, Y. V. A.; HENRY-SILVA, G. G. Sedimentação de nutrientes e material particulado em reservatório sob influência de atividades de piscicultura no semiárido do Rio Grande do Norte. **Quim. Nova**, v. 37, n. 8, p.1283-1288, 2014.

MUÑOZ, A.E.P.; FLORES, R.V.; RODRIGUES, A.P.O. et al. **Aquicultura:** atividade em ascensão. Boletim Ativos da Aquicultura. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, ano 1, 2015.

NOGUEIRA DA SILVA, G.M.; CARVALHO, R.M.C.M.O.; El-Deir, A.C.A. et al. Artisanal fisheries of the Itaparica reservoir, São Francisco River, Brazil: socioeconomic profile, environmental dynamics, and management recommendations. **Regional Environmental Change.** v.1, p.1-11, 2018.

NUSCH, E.A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. **Arch. Hydrobiol. Beih**. (Ergebn. Limnol.), n. 14, p.14-36, 1980.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H.; SZOECS, E.; WAGNER, H. **Vegan:** community ecology package. R package version 2.5-5. 2019. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=vegan. Acesso em: 25 jul. 2019.

PAES, R.F.C. **Gestão ambiental de reservatórios com auxílio de ferramentas de geoprocessamento.** 2011. Monografia (Especialização) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB, 2011.

PAULA, L. M. **Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Rio Jordão, Araguari (MG)**. 2011. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2011.

PERNAMBUCO. Governo do Estado de Pernambuco. **Lei nº 14.922, de 18 de março de 2013**. Institui a Política Estadual de Convivência com o Semiárido. Disponível em: http:// legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=7274&tipo. Acesso em: 16 mai. 2018.

PESTANA, D.; OSTRENSKY, A.; TSCHÁ, M . A.; BOEGER, W. A. Prospecção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) nos principais corpos hídricos do estado do Paraná, Brasil. **Pap. Avulsos Zool.** v. 50, n. 34. 2010. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0031-10492010003400001. Acesso em: 28 abr. 2018.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. Rio de Janeiro: COPPE; PBMC; UFRJ, 2014. 464 p. 2014.

PETERSON, B. G.; CARL, P. **Performance analytics:** econometric tools for performance and risk analysis**.** R package version 1.5.2. 2018. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=PerformanceAnalytics. Acesso em: 28 jan. 2019.

PETRERE, M. Fisheries in large tropical reservoir in South America. **Lakes & Reservoir**: Research and Management. v. 2, p. 111-133. 1996. Review Article

PRIMAVERA, J.H. **A** critical review of shrimp pond culture in the Philippines. **Reviews in Fisheries Science**, v. 1, n. 2, p. 151-201, 1993.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. Instituto Internacional de Ecologia. **Planejamento e gerenciamento de lagos e represas:** uma abordagem integrada ao problema de eutrofização. São Carlos: UNEP-IETC, 2001. 385 p. (edição em português).

R Core Team: **A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em: 22 jun. 2019.

RIBEIRO, M. R. F.; SANTOS, J. P.; SILVA, E. M.; PEREIRA-JÚNIOR, E. A.; TENÓRIO, M. A. L. S.; LINI e SILVA, I. L.; WEHBI, M. D.; LOPES, J. P.; TENÓRIO, R. A. A piscicultura nos reservatórios hidrelétricos do submédio e baixo São Francisco, região semiárida do nordeste do Brasil. **Acta Fish. Aquat. Res**., v. 3, n. 1, p. 91-108 2015. Doi 10.2312/ActaFish.2015.3.1.91-108.

RIZZOLI, A. E.; DAVIS, J. R.; ABEL, D. J. Model and data integration and reuse in environmental decision support systems. **Decision support systems**, v. 24, n. 2, p. 127-144, 1998.

ROCHA, D. O. **Geotecnologias aplicadas à estruturação de um sistema de informação geográfica da piscicultura no Estado de Rondônia**. 2015. Monografia (Graduação) - Engenharia de Pesca, Fundação Universidade Federal de Rondônia. 2015. 57f.

RODRIGUES, L. L.; SANT'ANNA, C.L.; TUCCI, A. Chlorophyceae das represas Billings (Braço Taquacetuba) e Guarapiranga, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, p. 247-264. 2010.

SALLA, M. R.; ARQUIOLA, J. P.; SOLERA, A. ANDREU ÁLVAREZ, J. A.; PEREIRA, C. E.; ALAMY FILHO, J. E.; OLIVEIRA, A. L. Sistema de suporte à decisão em recursos

hídricos na bacia hidrográfica do rio Uberabinha, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p.189-204, mar. 2014. Disponível em: https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n1.p189-204. Acesso em: 05 jan. 2019.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental:** conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SCHINDLER, D. W.; HECKY, R. E.; FINDLAY, D. L.; STAINTON, M. P.; PARKER, B. R.; PATERSON, M. J.; BEATY, K. G.; LYNG, M.; KASIAN S. E. M. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: results of a 37-year whole-ecosystem experiment**.** 2008. **PNAS**, v. 105, n. 32, p.11254-11258. Disponível em: https://www.pnas.org/content/105/32/11254. Acesso em: 05 jan. 2019.

SCORVO-FILHO, J. D. O agronegócio da aquicultura: perspectivas e tendências. *In:* CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 6., 2004, Brasília, DF. **Anais** [...]. Brasília: ZOOTEC, 2004.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. AGRONEGÓCIO. **Aquicultura no Brasil**. Série Estudos Mercadológicos. Brasília-DF: SEBRAE, 2015. 76p.

SILVA, R. M. A. **Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido:** transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento. 2006. Tese (Doutorado) - Centro de desenvolvimento sustentável, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2006. 15pp.

SILVA, F. L de. **Estrutura e composição da ictiofauna do reservatório de Itaparica, bacia do rio São Francisco, Pernambuco, Brasil**. 2011. Monografia (Graduação) - Departamento de Pesca e Aquicultura, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011. 41f.

SILVA, G. M. N. **Avaliação do período reprodutivo de peixes nativos de importância econômica em reservatório do semiárido brasileiro**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2015.

SIQUEIRA, E. S. **Indicações de eutrofização por fósforo em um sistema fluvio-lacustre na região norte do Rio de Janeiro**. 2006. Monografia (Graduação) - Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. p.21-28.

SOARES, M.C.S.; MARINHO, M.M.; HUSZAR, V.L.M.; BRANCO, C.W.C.; AZEVEDO, S.M.F.O. The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brasil. **Lakes & Reservoir**: Research and Management, Richmond, v. 13, p. 257-269, 2008.

SOBRAL, M. C. et al. Reflexões sobre riscos ambientais e manejo de reservatórios de múltiplos usos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande-MS. **Anais** [...]. Campo Grande-MS: SBRH, 2009. 5p.

SOUZA, M.P. **Instrumentos de gestão ambiental:** fundamentos e prática. São Carlos: Editora Riani Costa, 2000.

TROCA, D. F. A.; VIEIRA, J. P. Potencial invasor dos peixes não nativos cultivados na região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Bol. Inst. Pesca**, v. 38, n. 2, p. 109-120, 2012.

STRASKRABA, M. Lake and reservoir management. **Verh. Internat. Verein. Limnol**., v. 27, p.193-209, 1996.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

ULRICH, J. **TTR**: technical trading rules. R package version 0.23-4. 2018. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=TTR. Acesso em: 05 jan. 2019.

VALENTI, W.C.; POLI, C.R.; PEREIRA, J. A. et al. **Aquicultura no Brasil:** bases para um desenvolvimento sustentável. Brasília: CNPq/MCT, 2000. p.25-32.

VASCONCELOS, M.; DIEGUES; A. C. S. A.; SALES, R. R. Limites e possibilidades na gestão da pesca artesanal costeira. *In*: COSTA, A. L. (Org.) **Nas redes da pesca artesanal**. Brasília: IBAMA; MMA, 2007. p.15-83.

VIANNA, G. R.; OLIVEIRA, T. M.; TEIXEIRA, E. A.; NICOLINO, R. R.; BOSCOLO, W. R.; SILVA, M. X.; HADDAD, J. P. A. Biosseguridade para sistemas de produção de peixes em tanque-rede em função da colmatação agravada por *Limnoperna fortunei*. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec**., v. 71, n. 1, p.314-322, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352019000100314. Acesso em: 29 jan. 2019.

VÖLCKER, C. M.; SCOTT, P. SIG e sensoriamento remoto para a determinação do potencial da aquicultura no baixo São João – RJ. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v.3, n. 3, p.196-215, 2008.

ZANIBONI FILHO, E. *et al.* Cultivo de peixes em tanques-rede e impactos ambientais**.** *In*: SEMINÁRIO CULTIVO DE PEIXES EM TANQUES-REDE: desafios e oportunidades para um desenvolvimento sustentável, 2005, Belo Horizonte-MG. **Anais** [...]. Belo Horizonte, MG: EPAMIG, 2005. 104p.

WEI T.; SIMKO, V. **R package "corrplot":** Visualization of a correlation matrix (version 0.84). 2017. Disponível em: https://github.com/taiyun/corrplot. Acesso em: 29 jan. 2019.

WICKHAM. H. **Ggplot2:** elegant graphics for data analysis. New York: Springer, 2016.

WICKHAM, H.; FRANÇOIS R.; HENRY, L.; MÜLLER, K. **dplyr**: a grammar of data manipulation**.** 2019. R package version 0.8.1. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=dplyr. Acesso em: 01 jun. 2019

WICKHAM, H.; HENRY L. **Tidyr:** easily tidy data with 'spread()' and 'gather()' functions. r package version 0.8.3. 2019. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=tidyr. Acesso em: 29 jan. 2019.

WICKHAM H.; HESTER, J.; CHANG, W. **Devtools:** tools to make developing r packages easier. r package version 2.1.0. 2019. Disponível em: https://CRAN.Rroject.org/package=devtools. Acesso em: 29 jan. 2019.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological Analyses**. New York: Springer Verlag, 1991. 429p.

APÊNDICE A - APRESENTAÇÃO DA AUTORA

A autora possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2011), realizando iniciação científica no Departamento de Pesca e Aquicultura (DEPAq/UFRPE), onde iniciou seus estudos na bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Obteve segunda graduação como Tecnóloga em Gestão ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), resultando no Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Zoneamento da pesca artesanal no reservatório de Itaparica, rio São Francisco, Brasil", simultaneamente à dissertação de Mestrado, intitulada "Avaliação do período reprodutivo de peixes nativos de importância econômica em reservatório do semiárido brasileiro", pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFRPE (2015).

Por meio destes estudos prévios, recomendações para avaliação dos impactos oriundos da atividade de piscicultura sob a pesca artesanal e a qualidade da água no reservatório Itaparica, subsidiaram o projeto de doutoramento, que foi contemplado com recursos do Projeto "Sistema de Apoio à Decisão para Gestão Ambiental do Arranjo Produtivo da Piscicultura em Reservatórios no Semiárido de Pernambuco" pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), processo nº 1248_3.07/15.

O percurso formativo despertou o interesse em investigar os impactos da piscicultura, atividade em crescente expansão, sob os efeitos das circunstâncias climáticas do semiárido, propondo recomendações de gestão ambiental, visando contribuir para a mediação de conflitos, sustentabilidade da atividade e ferramentas de apoio a tomada de decisão.

Em 2015 realizou doutorado sanduíche na Technische Universität Berlin, atuando com modelagem hidrológica e qualidade de água. A bolsa do doutorado sanduíche vinculada ao Projeto de Cooperação Internacional Innovate (*Interplay between the multiple use of water reservoirs via innovative coupling of substance cycles in aquatic and terrestrial ecosystem*) possibilitou a obtenção de resultados parciais da tese e a publicação de dois artigos científicos em cooperação com os supervisores Dr. Reinhard Hinkelmann e Dr. Günter Gunkel. Além destes, outros três artigos foram publicados resultantes da tese e um capítulo de livro.

Além de pesquisadora, a autora realiza consultorias na área de avaliação de impactos ambientais, gestão ambiental e qualidade de água. E atualmente está vinculada como professora substituta no Instituto Federal do Sertão Pernambucano, campus Serra Talhada.

APÊNDICE B - PRODUÇÕES CIENTÍFICAS RESULTANTES DA TESE

Apêndice A1: NOGUEIRA DA SILVA, G. M.; MARQUES, E. A. T.; CARDOSO, A. S.; SOBRAL, M. C.; WILLIAM, S. Piscicultura e Sustentabilidade em reservatório no semiárido. In: Arlindo Philipp e Maria do Carmo Sobral. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade**. 1ed. Barueri: Manole, 2019, v. 1, 1136p.

24 | Piscicultura e sustentabilidade em reservatórios no semiárido

Gérsica Moraes Nogueira da Silva
Bióloga, UFPE

Érika Alves Tavares Marques
Bióloga, UFPE

Ariane Silva Cardoso
Bióloga, Uneb

Maria do Carmo Sobral
Engenheira civil, UFPE

William Severi
Engenheiro de pesca, UFRPE

INTRODUÇÃO

A piscicultura é uma atividade designada para produção de peixes, considerada um segmento da aquicultura que é praticada em todos os estados brasileiros. Além da piscicultura, outras modalidades são praticadas no Brasil como: carcinicultura (camarões), ranicultura (rãs), malacocultura (moluscos: ostras, mexilhões, *escargots*) e a algicultura (algas), esta última praticada em menor escala (Scorvo-Filho, 2004).

Aquicultura define-se como atividade de cultivo de organismos cujo ciclo de vida em condições naturais se dá total ou parcialmente em meio aquático, implicando a propriedade do estoque sob cultivo, equiparada à atividade agropecuária conforme o Art. 2º da Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, Lei n. 11.959, de 29 de junho de 2009 (Brasil, 2009).

Comparada à atividade agropecuária, a produção de pescados é dividida entre pesca extrativa e aquicultura. A pesca é a atividade que se baseia na retirada de recursos pesqueiros do ambiente natural, e a aquicultura é o cultivo, normalmente em um espaço confinado e controlado, de organismos aquáticos com interesse econômico produtivo (IPEA, 2017).

A produção de organismos aquáticos é uma prática mundial, frente à demanda crescente da população, que encontra na piscicultura contribuição para atingir alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pelos países-membros da ONU desde 2015, relevantes como: a erradicação da pobreza (ODS-1) e erradicação da fome (ODS-2), contribuin-

Apêndice A2: NOGUEIRA DA SILVA, G. M.; CARVALHO, R. M. C. M. O.; EL-DEIR, A. C. A.; SOBRAL, M. C; SIEGMUND-SCHULTZE, M. Artisanal fisheries of the Itaparica reservoir, São Francisco River, Brazil: socioeconomic profile, environmental dynamics, and management recommendations. **Regional Environmental Change**[JCR], v. 1, p. 1-11, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10113-018-1293-y

Regional Environmental Change (2018) 18:1889–1899
https://doi.org/10.1007/s10113-018-1293-y

ORIGINAL ARTICLE

Artisanal fisheries of the Itaparica reservoir, São Francisco River, Brazil: socioeconomic profile, environmental dynamics, and management recommendations

Gérsica Moraes Nogueira da Silva[1] · Renata Maria C. M. de Oliveira Carvalho[2] · Ana Carla Asfora El-Deir[3] · Maria do Carmo Martins Sobral[1] · Marianna Siegmund-Schultze[4]

Received: 7 November 2016 / Accepted: 3 August 2017 / Published online: 10 March 2018
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2018

Abstract
Currently, artisanal fisheries in fresh water reservoirs have been losing ground to commercial fish farming and a great deal of fishery resources are being threatened by human interventions, such as reservoir management and increasing net-cage aquaculture. This study aims to understand the impacts of environmental changes on fishery resources and analyse the migratory fish breeding season as a missing link for fishery management in the semi-arid area of the São Francisco River Basin. Among the 870 fishermen operating in the Pernambuco part of the Itaparica Reservoir, 10% were interviewed and affirmed that fish stocks have been compromised due to the closed fishing period's incoherence, exotic species insertion, and changes to the river flow caused by reservoir construction and operation. A significant correlation was observed between the Reproductive Activity Index (RAI) and precipitation ($p = 0.745$) as well as between the RAI and the river's flow ($p = -0.909$). This shows how important it is to consider both the semi-arid climate setting and reservoir operation in determining the closed period which should safeguard fish reproduction. Monitoring the fish reproduction period and research on the reproductive biology of native fish species is needed in the São Francisco River Basin's different stretches in order to guarantee valuable fish stocks and fisheries maintenance. Integrated action between the fish resource users, civil society, and federal bodies/agencies is essential in order to mitigate impacts and improve fish production systems, not only in Brazil, but in other regions experiencing a similar scenario.

Keywords Fishing communities · Reservoir · Multiple uses of water · Closed fishing period · Aquaculture

Introduction

Artisanal fishery undertaken by riverside communities throughout Brazil is characterised by its technological simplicity and low production costs, but also poor profitability (Vasconcelos et al. 2007). After irrigated farming, artisanal fishery constitutes the second main activity for the municipalities' economies surrounding the Itaparica reservoir. The river also historically has high relevance as an important source of fish, which supports riverside households in the São Francisco River Basin.

✉ Gérsica Moraes Nogueira da Silva
gersica.silva@ufpe.br

Renata Maria C. M. de Oliveira Carvalho
ren.carvalho@hotmail.com

Ana Carla Asfora El-Deir
anacarla@db.ufrpe.br

Maria do Carmo Martins Sobral
msobral@ufpe.br

Marianna Siegmund-Schultze
m.siegmund-schultze@tu-berlin.de

[1] Department of Civil Engineering, Federal University of Pernambuco, Prof. Moraes Rego Avenue 1235, Cidade Universitária, Recife 50670-901, Brazil

[2] Department of Environmental, Health and Safety, Federal Institute of Education, Science and Technology of Pernambuco, Prof Luiz Freire Avenue 500, Recife, Brazil

[3] Department of Biology, Federal Rural University of Pernambuco, Dom Manoel de Medeiros Street, Dois Irmãos, Recife, Brazil

[4] Environmental Assessment and Planning Research Group, Technische Universitat Berlin, Straße des 17. Juni 145, 10623 Berlin, Germany

Apêndice A3: MATTA, ELENA; KOCH, HAGEN; SELGE, FLORIAN; SIMSHÄUSER, MAX NINO; ROSSITER, KARINA; DA SILVA, GÉRSICA MORAES NOGUEIRA; GUNKEL, GÜNTER; HINKELMANN, REINHARD. 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**[JCR], v. 1, p. 1-14, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.2166/wcc.2018.254

Journal of
Water & Climate Change

Article Navigation

RESEARCH ARTICLE | JULY 25 2018

Modeling the impacts of climate extremes and multiple water uses to support water management in the Icó-Mandantes Bay, Northeast Brazil

Elena Matta; Hagen Koch; Florian Selge; Max Nino Simshäuser; Karina Rossiter; Gérsica Moraes Nogueira da Silva; Günter Gunkel; Reinhard Hinkelmann

Journal of Water and Climate Change jwc2018254.
https://doi.org/10.2166/wcc.2018.254 **Article history**

Share Tools

Abstract

The hydropower production, water supply and aquaculture services of the Itaparica Reservoir are of immense importance for the Brazilian Northeast. Uncontrolled water resources consumption (e.g. irrigation, water supply), climate and land use change effects deteriorated the water quantity and quality in the reservoir, leading to socio-economic and environmental problems. In this work, a depth-averaged shallow water model was set up for the Icó-Mandantes Bay, one major branch of the reservoir, using the open TELEMAC-MASCARET system. The aim was to assess the impacts of the newly built water diversion channel, as well as the effects of a flood and tracer transport from an intermittent tributary, both located in the bay. An alternative approach to estimate the water retention times was additionally implemented. The simulations showed that though the diversion channel did not significantly influence the hydrodynamics of the bay, it is necessary to continuously monitor water quality parameters in the withdrawal, especially during rainy periods after droughts, because of the nutrient inputs from the tributary and the overflows of the nearby drainage systems. Management measures adapting to the continuously changing natural conditions and anthropogenic impacts are thus indispensable and the model presented can be a valuable supporting tool for this purpose.

Ski

Keywords: Itaparica Reservoir, multiple uses of water, semi-arid, TELEMAC-2D, water diversion project, water residence time

Apêndice A4: MARQUES, ÉRIKA ALVES TAVARES; DA SILVA, GÉRSICA MORAES NOGUEIRA; DE OLIVEIRA, CLÁUDIA RICARDO; CUNHA, MARISTELA CASÉ COSTA; SOBRAL, MARIA DO CARMO. Assessing the negative impact of an aquaculture farm on effluent water quality in Itacuruba, Pernambuco, Brazilian semiarid region. **Water Science And Technology**[JCR], v. 78, p. 1438-1447, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.2166/wst.2018.417

Water Science & Technology

Article Navigation

RESEARCH ARTICLE | SEPTEMBER 26 2018

Assessing the negative impact of an aquaculture farm on effluent water quality in Itacuruba, Pernambuco, Brazilian semiarid region

Érika Alves Tavares Marques; Gérsica Moraes Nogueira da Silva; Cláudia Ricardo de Oliveira; Maristela Casé Costa Cunha; Maria do Carmo Sobral

Water Sci Technol (2018) 78 (7): 1438-1447.

https://doi.org/10.2166/wst.2018.417 **Article history**

Share Tools

Abstract

This study was conducted at a fish farm in Itacuruba, located in the Brazilian semiarid region. Its objective was to quantify the impacts of aquaculture on water quality by comparing effluent and inlet water, particularly in relation to CONAMA Resolution 430 (2011) limits. Regarding the effluent, electrical conductivity, total phosphorus (TP) and total nitrogen presented values above the limits, other parameters complied with the mentioned legislation. During the dry period, the effluent's TP values were 447% higher than the inlet water and 473% above the Resolution limit. During the wet period, TP concentration in the inlet water increased 1,000% while the effluent exceeded legislation limits by 1,175%. Based on these results, treatment of effluent from fish farms in accordance with legislation prior to its release into the receiving water body is recommended, thereby minimizing eutrophication risk for the local population, guaranteeing food security, reducing impacts to public health and aquatic biota and favoring the sustainability of the enterprise. Due to limited water resources, it is especially necessary to adopt better management practices that minimize the negative impacts of aquaculture activities.

Keywords: aquaculture, eutrophication, Sub-Middle São Francisco, water quality

Apêndice A5: ALVES TAVARES MARQUES, ERIKA; RICARDO DE OLIVEIRA, CLÁUDIA; MORAES NOGUEIRA DA SILVA, GÉRSICA; SILVA CARDOSO, ARIANE; DO CARMO SOBRAL, MARIA. Desafios para a sustentabilidade da piscicultura na bacia hidrográfica do rio são francisco. **Sustentare**, v. 2, p. 14-29, 2018. Disponível em: http://dx.doi.org/10.5892/st.v0i0.5214

Sustentare
Periódico da Universidade Vale do Rio Verde
ISSN: 2526-690X
Edição especial | II SBHSF | 2018

SBHSF

Erika Alves Tavares Marques
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/DECIV Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE, Brazil, CEP 50740-550,
erikatmbio@gmail.com

Cláudia Ricardo de Oliveira
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/DECIV Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE, Brazil, CEP 50740-550,
cacaldeoliveir@hotmail.com

Gérsica Moraes Nogueira da Silva
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/DECIV Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE, Brazil, CEP 50740-550,
gersicamns@hotmail.com

Ariane Silva Cardoso
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/DECIV Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE, Brazil, CEP 50740-550,
arianecardoso8@gmail.com

Maria do Carmo Sobral
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/DECIV Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE, Brazil, CEP 50740-550,
mariadocarmo.sobral@gmail.com

DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE DA PISCICULTURA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Resumo: A piscicultura tem sido implantada em açudes, reservatórios e perímetros irrigados na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, localizado no Nordeste brasileiro, como uma alternativa de subsistência e renda para a população. O objetivo desse estudo é avaliar os desafios da sustentabilidade da atividade econômica da piscicultura na Bacia Hidrográfica do São Francisco e propor ações alternativas. Apesar dos benefícios sociais e econômicos, a atividade causa impactos ambientais em corpos d'água quando não é bem manejada. Além disso, problemas como conflitos entre os usos múltiplos da água, dificuldade de obter a licença ambiental devido à burocracia, lançamento de quantidades substanciais de rações, fertilizantes e medicamentos veterinários que podem resultar em eutrofização como consequência do aumento de nutrientes e alta produtividade de algas, mortalidade de peixes devido à abertura dos vertedouros dos reservatórios, escassez de água relacionada a uma severa seca que afetou a região desde 2012 foram relacionados à Bacia do Rio São Francisco. Há muitos desafios para a sustentabilidade da atividade econômica na região. Apesar do potencial produtivo da Bacia do Rio São Francisco, a produção ainda permanece abaixo do esperado. É necessário fortalecer as associações e cooperativas de pequenos produtores por meio de financiamento, capacitação técnica, melhoria da infraestrutura, investimentos públicos e privados, fornecimento de alevinos, custo de transporte mais barato, melhores estradas, entre outras ações.

Palavras-chave: Aquicultura. Semiárido. Impactos. Conflitos. governança.

Abstract: Fish farming has been implanted in dams, reservoirs and irrigation perimeters in the São Francisco River Basin, located in Brazilian Northeast, as an alternative of subsistence and income to the population. The objective of this study is to evaluate the challenges for the sustainability of the economic activity of fish farming in the São Francisco River Basin and propose alternative actions. Despite the social and economic benefits, the activity causes environmental impacts to water bodies when not well managed. Also, problems like conflicts between the multiple users of the water, difficulty to obtain environmental licensing due to bureaucracy, release of substantial amounts of feed, fertilizers and veterinary drug products that can result in eutrophication as consequence of increased nutrients and high algae productivity, fish mortality due to the opening of the spillways of the reservoirs, water scarcity related to a severe drought that affected the region since 2012 were related to the São Francisco River Basin. There are many challenges for the sustainability of the economic activity in the region. Despite the productive potential of the São Francisco River Basin, production still remains below the expected. It is necessary to strengthen the associations and

Apêndice A6: GUNKEL, G.; MATTA, E.; SELGE, F.; NOGUEIRA DA SILVA, G. M.; SOBRAL, M. C. Carrying capacity limits of net cage aquaculture in brazilian reservoirs. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), p. 128-144, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.5327/Z2176-947820151008

ABES RBCiamb

Revista Brasileira de Ciências Ambientais

ISSN Eletrônico 2176-9478 Junho de 2015 Nº 36

CARRYING CAPACITY LIMITS OF NET CAGE AQUACULTURE IN BRAZILIAN RESERVOIRS

LIMITES DA CAPACIDADE DE SUPORTE DA AQUICULTURA EM TANQUES-REDE EM RESERVATÓRIOS BRASILEIROS

Günter Gunkel

Ass. Professor of Limnology, Chair Water Quality Control, Berlin University of Technology, Berlin, Germany
guenter.gunkel@tu-berlin.de

Elena Matta

PhD program of Civil Engineering, Berlin University of Technology, Berlin, Germany
elena.matta@wahyd.tu-berlin.de

Florian Selge

PhD program of Environmental Technology, Berlin University of Technology, Berlin, Germany
Florian.Selge@tu-berlin.de

Gérsica Moraes Nogueira da Silva

PhD program of Civil Engineering, Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil
gersicamns@hotmail.com

Maria do Carmo Sobral

Professor of Civil Engineering, Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil
msobral@ufpe.br

ABSTRACT

Finfish aquaculture in net cages is widely used in Brazilian reservoirs, mainly for tilapia production. There is a large and increasing potential for production in the São Francisco river basin, and particularly the Itaparica reservoir. Tilapia production amounts to 24.000 t y^{-1}, with a licensed amount of 43.267 t y^{-1}. This intensive fish production in net cages is responsible for a significant biological oxygen demand, and phosphorus and nitrogen load on the reservoir, which promotes eutrophication. Particulate organic matter released from the net cages accumulates beneath the net cages, and a minimum water depth beneath the net cages of 10 m is required to limit the sediment increase to a few millimetre per year. Modelling of Icó-Mandantes bay has identified a reduced water exchange within the bay. Modelling of the effect of net cage aquaculture within the Icó-Mandantes bay points out clearly the significant increase in dissolved phosphorus and the accumulation inside the bay area. The carrying capacity of the reservoir was determined using the P load model, with a critical P concentration based on the phosphorus use efficiency. The critical P concentration amounts 25 µg L^{-1}, and the critical P load of the reservoir amounts 2,84 g m^{-2} y^{-1}; the actual load is already 3.30 g m^{-2} y^{-1}, such the reservoir is already overcharged by nutrients. A sustainable "green" aquaculture must be implemented based on use of advanced systems, species selection, fish feed and linked production systems.

Keywords: Net cageculture, green aquaculture, tilapia, Oreochromis niloticus, Itaparica, São Francisco

RESUMO

A aquicultura de peixe em tanques-rede é amplamente utilizada em reservatórios brasileiros, principalmente para produção de tilápia. Os reservatórios presentes na bacia do rio São Francisco são vistos como tendo um elevado e crescente potencial de produção, principalmente o reservatório Itaparica. A produção de tilápia ascende a 24.000 toneladas por ano, com um licenciamento de 43.267 toneladas por ano. Esta produção intensiva de pescado em tanques-rede é responsável por uma carga significativa de fósforo, nitrogênio e demanda biológica de oxigênio, promovendo o processo de eutrofização no reservatório de Itaparica. A matéria orgânica particulada lançada é acumulada sob os tanques-rede, e uma profundidade mínima de 10 metros é requerida como limite de água abaixo dos tanques-rede, necessário para limitar o aumento de sedimentos em alguns milímetros por ano. A modelagem da baía Icó-Mandantes tem identificado uma troca reduzida de água no interior da baía. A modelagem também aponta claramente o efeito da aquicultura em tanques-rede, através do incremento significativo de fósforo dissolvido e seu acúmulo no interior da área da baía. A capacidade de carga do reservatório é calculada usando o modelo de carga de P e uma concentração crítica de P, baseado na eficiência do uso de fósforo. A concentração crítica total de P 25 µg L^{-1}, e a carga crítica de P do reservatório de 2,84 g m-2 y^{-1}; a carga real é de 3.30 g m^{-2} y^{-1}, estando o reservatório já sobrecarregado por nutrientes. A aquicultura sustentável "verde" deve ser implementada com base na utilização de sistemas avançados, seleção de espécies, sistemas de produção e alimentação de peixes interligados.

Palavras-chave: tanques-rede, aquicultura, tilápia, Oreochromis niloticus, Itaparica, São Francisco